



FESI-DOKUMENT A4 FESI DOCUMENT A4

Bauakustik Acoustics in buildings

Juli 2013, 1. überarbeitete Version *July 2013, 1st revised edition*



EiiF - European Industrial Insulation Foundation Mr. Andreas Gürtler Avenue du Mont-Blanc 33 1196 Gland, Switzerland

1196 Gland, Switzerland Tel.: 0041 22 99 500 70 e-mail: andreas.guertler@eiif.org







Akustik in Gebäuden Acoustics in buildings

Inhalt	Contents				
A4-0	Absicht	4			
A4-0	Intention	4			
A4-1	Einleitung				
A4-1	Introduction4				
A4-2	Luftschalldämmung zwischen Räumen				
A4-2	Airborne sound insulation between rooms6				
A4-2.1	Allgemeines				
A4-2.1	General	6			
A4-2.2	Begriffe und Definitionen				
A4-2.2	Terms and definitions				
A4-2.2.1	Allgemeine Grundsätze	7			
A4-2.2.1	General principles				
A4-2.2.2	Frequenzabhängige Schalldämmindizes				
A4-2.2.2	Acoustic insulation indices depending on frequency				
A4-2.2.2.1	Verhältnis zwischen den verschiedenen Kriterien der Schalldämmung zwischen Räumen				
A4-2.2.2.1	Relations between the different criteria of acoustic insulation between rooms				
A4-2.2.2.2	Verhältnis der Schalldämmung zwischen Räumen und dem Schalldämmmaß der Trennwand	10			
A4-2.2.2.2	Relations between the acoustic insulation between rooms and the sound reduction index of the	4.0			
A4-2.2.3	separating wall				
A4-2.2.3 A4-2.2.3	Einzahlwert				
A4-2.3	Die direkte Schallübertragung durch die Trennwand				
A4-2.3	The direct sound transmission through the separating wall	19			
A4-2.3.1	Der Einfluss der Abmessungen des Empfangsraumes				
A4-2.3.1	The influence of the dimensions of the reception room				
A4-2.3.2	Der Einfluss des Schalldämmmaßes der Trennwand				
A4-2.3.2	The influence of the sound reduction index of the separating wall				
A4-2.4	Die Übertragung durch seitliche Wände				
A4-2.4	The transmission by lateral walls				
A4-2.4.1	Vereinfachte Methode: Statistische Bewertung des Schalldämmverlustes als Ergebnis seitlicher				
	Übertragungen	15			
A4-2.4.1	Simplified method: Statistical evaluation of the sound reduction loss resulting from lateral				
A 4 0 4 0	transmissions	15			
A4-2.4.2 A4-2.4.2	Die Grenzen der vereinfachten Methode				
A4-2.4.2 A4-2.4.3	The limits of the simplified method Berechnung der Flankenübertragungen				
A4-2.4.3 A4-2.4.3	Calculation of flanking transmissions				
A4-2.4.4					
A4-2.4.4	Sonderfall leichter zweischaliger Trennwände				
A4-2.5	Special case of light double-partition walls				
A4-2.5	Storende übertragungen				
A4-2.5.1	Erwartete störende Übertragungen				
A4-2.5.1	Expected parasitic transmissions				
A4-2.5.2	Zufällige störende (unerwünschte) Übertragungen				
A4-2.5.2	Accidental parasitic (spurious) transmissions				
A4-2.5.3	Welche Vorkehrungen können getroffen werden?				
A4-2.5.3	Which precautions to take?				
A4-2.6	Schalldämmung zwischen Räumen, die durch eine Wand mit verschiedenen Oberflächenelementen				
A 4 O O	getrennt sind				
A4-2.6	Acoustic insulation between rooms divided by a wall of different surface elements				
A4-2.6.1 A4-2.6.1	Vorhersagemethode für das Schalldämmmaß von uneinheitlichen Wänden				
A4-2.6.2	Method of pre-calculation of the sound reduction index of composite walls				
714 2.0.2	Elementen	28			
A4-2.6.2	Sound reduction index limit of a composite separating wall of two different elements				
A4-2.6.3	Schalldämmung zwischen zwei Räumen, die durch eine Wand mit einer Öffnung getrennt sind				
A4-2.6.3	Acoustic insulation between two rooms separated by a wall with an opening				
A4-2.6.4	Einige Überlegungen zu Türen				
A4-2.6.4	Some considerations on doors				
A4-3	Schalldämmung gegen Außengeräusche	32			
A4-3	Acoustic insulation against outside noise	32			
A4-3.1	Allgemeines	32			
A4-3.1	General				
A4-3.2	Direkte Schallübertragung durch eine Fassade				
A4-3.2	Direct noise transmission through a façade				
A4-3.3	Flankenübertragungen bei Fassaden				
A4-3.3	Flanking transmissions in case of facades				
A4-3.4	Störende Übertragungen bei Fassaden				
A4-3.4	Parasitic transmissions in case of facades				
A4-3.4.1	Die erwarteten störenden Übertragungen				
A4-3.4.1	The expected parasitic transmissions	34			

A4-3.4.2	Zufällige störende (unerwünschte) Übertragungen	35		
A4-3.4.2	Accidental parasitic (spurious) transmissions	35		
A4-3.4.3	Einige Überlegungen zu Fenstern			
A4-3.4.3 A4-3.4.3	Some considerations on windows			
A4-3.4.3 A4-4	Übertragung von Schall aus Räumen nach Außen – Umweltschutz			
	Obertragung von Schall aus Raumen nach Ausen – Omweitschutz	39		
A4-4 A4-4.1	Transmission of noise created in a room to the outside – Environment protection	39		
A4-4.1	General			
A4-4.2	Allgemeine Grundsätze			
A4-4.2	General principles			
A4-4.3	Bestimmung der repräsentativen Punktquellen	39		
A4-4.3	Determination of the representative point sources	39		
A4-4.4	Berechnung des Schallleistungspegels einer repräsentativen Punktquelle	40		
A4-4.4	Calculation of the sound power level of a representative point source	40		
A4-4.4.1	Der Fall eines Abschnitts, der aus den Strukturelementen der Gebäudehülle besteht (Gruppe der			
	ebenen Strahler)	40		
A4-4.4.1	The case of a segment consisting of structural elements of the building envelope (group of plane	40		
A 4 4 4 0	radiators)	40		
A4-4.4.2	Für einen offenen Abschnitt ("große Öffnungen" werden im Kapitel A4-4.3 besprochen)			
A4-4.4.2	For an open segment ("great openings" are given in chapter A4-4.3)	41		
A4-4.5	Bestimmung der Korrektur der Richtwirkung einer repräsentativen Punktquelle	41		
A4-4.5	Determination of the correction of the directivity of a representative point source			
A4-4.6	Anwendungsbeispiel			
A4-4.6	Example for application			
A4-5	Trittschalldämmung			
A4-5	Impact sound insulation			
A4-5.1	Allgemeines			
A4-5.1	General			
A4-5.2	Grundsätze			
A4-5.2	Principles			
A4-5.3	Der Trittschallpegel			
A4-5.3	The level of impact sound			
A4-5.3.1	Verwendete Terminologie	49		
A4-5.3.1	Terminology to be used	49		
A4-5.3.2	Wirksamkeit von Bodenbelägen			
A4-5.3.2	Efficiency of floor coverings	50		
A4-5.4	Die Vorhersage von Trittschallpegeln	50		
A4-5.4	The prediction of impact sound pressure levels	50		
A4-5.4.1	Seitliche Übertragungen			
A4-5.4.1	Lateral transmissions			
A4-5.4.2	Einfluss der Raumabmessungen			
A4-5.4.2	Effect of the room dimensions	51		
A4-5.4.3	Trittschallverhalten nackter Böden	51		
A4-5.4.3	Behaviour of naked floors regarding impact sound			
A4-5.4.4	Bodenbeläge			
A4-5.4.4	Floor coverings			
A4-5.4.4.1	Dünne Bodenbeläge			
A4-5.4.4.1	Thin floor coverings			
A4-5.4.4.2	Harte Beläge, unmittelbar auf einer weichen Unterlage	53		
A4-5.4.4.2	Hard coverings directly placed on top of a soft under-layer	53		
A4-5.4.4.3	Schwimmende Böden			
A4-5.4.4.3	Floating floors			
A4-5.4.5	Anwendungsbeispiel der Vorhersagemethode	56		
A4-5.4.5	Example for the application of the prediction method.	56		
A4-5.5	Verbesserung der Trittschalldämmung	57		
A4-5.5	Improvement of the impact sound insulation	57		
A4-5.6	Horizontale oder diagonale Übertragungen von Trittschall	58		
A4-5.6	Horizontal or diagonal transmissions of impact noise			
A4-6	Geräuschpegel der Haustechnik	59		
A4-6	Noise levels of building equipment			
A4-6.1	Maximaler Schalldruckpegel im Empfangsbereich			
A4-6.1	Maximum sound pressure level at the reception area			
A4-6.2	Die verschiedenen zu betrachtenden Arten der Energieübertragung			
A4-6.2	The different types of energy transmission to be considered			
A4-6.2.1	Luftschallübertragung durch die Gebäudestruktur			
A4-6.2.1	Transmission of airborne sound by the structure of the building			
A4-6.2.2	Luftschallübertragung längs oder quer zu Schächten			
A4-6.2.2	Transmission of airborne sound by or across ducts			
A4-6.2.3	Übertragung von Körperschall			
A4-6.2.3	Transmission of structure-borne sound			
A4-6.3	Die wichtigsten Teile der Haustechnik und die Übertragungsarten, die sie hervorrufen			
A4-6.3	The main equipment parts of a building and the types of transmission which they produce			
A4-6.3.1	Belüftungssysteme			
A4-6.3.1	Ventilation systems			
A4-6.3.2	Heizungsanlagen			
A4-6.3.2	Heating installations			
A4-6.3.3	Die Installationen der Wasserversorgung			
A4-6.3.3	The installations of water supply	64		

A4-6.4	Einige grundsätzliche Vorkehrungen zur Begrenzung von Schallemissionen von bestimmten Einrichtungen	65
A4-6.4	Some principal precautions to take to limit the noise of certain installations	
A4-6.4.1	Außenseitig angebrachte Haustechnik	65
A4-6.4.1	Equipment installed at the outside	65
A4-6.4.2	Heizungssysteme in bewohnten Räumen	66
A4-6.4.2	Heating systems in occupied places	66
A4-6.4.3	Heizungssysteme im Keller	66
A4-6.4.3	Basement heating stations	66
A4-6.4.4	Elektrische Transformatoreinrichtungen	67
A4-6.4.4	Electrical transformation installations	
A4-7	Symbole, Größen, Einheiten	68
A4-7	Symbols, quantities, units	68
A4-8	Normen und Bibliografie	70
A4-8	Standards and bibliography	

A4-0 Absicht

Δ2

Das FESI-Dokument A4 "Akustik in Gebäuden" gehört zu einer Serie von sechs Dokumenten zu akustischen Gebäudeproblemen und deren Lösung.

Die gesamte Gruppe von akustischen Dokumenten wird folgende Titel umfassen:

Grundlagen der Akustik" – 4 überarheitete Auflage

/ \Z	"Oranalagen der Alkablik	Tabolalbolloto / tallago,
	Juli 2013	
A3	"Eigenschaften von Baust	offen – Schalldämmung,

A3 "Eigenschaften von Baustoffen – Schalldämmung, Absorption, Dämpfung" – 1.überarbeitete Auflage, Juli 2013

A4 "Gebäudeakustik"- 1.überarbeitete Auflage, Juli 2013
 A5 "Akustik in Räumen" -1.überarbeitete Auflage, Juli 2013

A6 "Akustik in der Industrie" – 3. überarbeitete Auflage, Juli2013

A7 "Guidance through FESI Documents A2 through A6"
- 1.überarbeitete Auflage, Juli 2013

Ziel dieser Dokumente ist die Darlegung der theoretischen Basis und der daraus folgenden praktischen Anwendungen für Designer. Die Dokumente enthalten vielfältige Tabellen mit nützlichen Eigenschaften, die ansonsten in der Fachliteratur weit verstreut gefunden werden.

A4-1 Einleitung

Im Fall von Luftschall breiten sich die Schallwellen von der Quelle weg aus. Wenn sie auf ein Hindernis treffen, eine Wand, eine Decke, eine Trennung, eine Fassade, wird ein Teil der antreibenden Energie von dem Hindernis reflektiert, ein anderer Teil versetzt das Hindernis in Vibration und wird teilweise absorbiert. Der Rest wird durch das Hindernis in Form von Luftschall abgestrahlt, insbesondere in den Raum auf der anderen Seite des Hindernisses, gegenüber dem Ort der Schallquelle.

Was mit der Energie geschieht, die auf der Seite der Quelle bleibt, wurde im Dokument A5 dargelegt. Dieses Dokument behandelt die Vibration des Hindernisses und deren Konsequenzen für die Energie, die es in den von der Quelle abgewandten Raum überträgt. Dies ist in der Tat das Phänomen, welches alle Probleme im Zusammenhang mit der Dämmung von Luftschall zwischen Räumen beherrscht (Schalldämmung zwischen zwei Räumen eines Gebäudes), der Dämmung zwischen der Umgebung und einem Raum (Dämmung der Fassade) und zwischen einem Raum und der Umgebung (Schutz des Umfelds gegen in Gebäuden erzeugten Schall).

Die Trennungen innerhalb eines Gebäudes werden nicht nur durch Luftschallwellen angeregt. Sie können auch durch Körperschall angeregt werden (solcher, der durch begangene Fußböden, fallende Gegenstände, das Rücken von Stühlen) erzeugt wird. In der Nähe des Stoßes wird eine relativ hohe Energie auf einen Teil der Trennung übertragen. Dieses Problem wird im Zusammenhang mit Trittschalldämmung besonders untersteht.

Es gibt auch Quellen, die Luftschall in dem Raum erzeugen, in dem sie sich befinden und die zusätzlich direkte Energie an die Trennwände abgeben, an denen sie angebracht sind. Dies gilt insbesondere für die Haustechnik.

Nationale Regelungen bzw. Normen enthalten die Anforderungen, die mit diesen Problemen im Zusammenhang stehen. Die Anforderungen können in zwei verschiedenen Formen auftreten, die den unterschiedlichen Ansätzen der folgenden beiden unterschiedlichen Vorgehensweisen entsprechen:

A4-0 Intention

The FESI document A4 "Acoustics in buildings" is one of a series of six papers on acoustical building problems together with their solutions

The total block of acoustical documents will comprise the following titles:

A2 "Basics of acoustics" - Rev.4, July 2013

A3 "Product characteristics – Acoustic insulation, absorption, attenuation" – Rev.1, July 2013

A4 "Acoustics in buildings" - Rev.1, July 2013

A5 "Acoustics in rooms" – Rev.1, July 2013

A6 "Industrial acoustics" - Rev. 3, July 2013

A7 "Guidance through FESI Documents A2 through A6" - Rev.1, July 2013

It is the aim of these documents to provide the theoretical basis and the consequential practical applications for designers. Numerous tables with useful characteristics are given which are normally widely dispersed in the related literature.

A4-1 Introduction

In case of airborne sound, the sound waves travel away from the source. When they hit an obstacle, a wall, a ceiling, a partition, a façade, part of the energy driving it is reflected by the obstacle, another part sets the obstacle into vibration and is partially absorbed. The rest is radiated from the obstacle in the form of airborne sound, especially to the space on the other side of the obstacle, opposite the location of the source.

What happens to the energy which stays on the side of the source has been presented in document A5. This document deals with the vibration of the obstacle and its consequence for the energy it transmits on the side opposite to the side of the source. Actually, this is the phenomenon governing the problems associated with the acoustic insulation of airborne sound between rooms (the sound insulation between two rooms in one building), the insulation between the exterior and the room (insulation of the façade) and between a room and the outside area (protection of the environment against noise produced in a building).

The partitions in a building are not only excited by airborne sound waves. They can also be excited by impact sound (that which is produced by walking on a floor, falling objects, the movement of chairs). In the vicinity of the impact, a relatively strong energy is transmitted to one point of the partition. This is the problem which is especially examined in the area of impact sound insulation.

There are also sources that produce airborne sound in a room where they are located and which in addition send direct energy to the partitions on which they are mounted. This is especially the case with building equipment.

National regulations, respectively standards give the requirements related to these different problems. The requirements can take two different forms which correspond to the approaches following these different philosophies:

- Entweder haben die Anforderungen die Form der Verpflichtung, besondere Materialien zu benutzen; Eigenschaften der Wände, der Beläge oder des benutzten Materials mit der anschließenden Beschreibung der Techniken, die benutzt werden sollen, wenn diese Elemente mit den daran anschließenden Bauteilen verknüpft werden. Diese Art der Anforderung ist am besten illustriert mit der deutschen Norm DIN 4109.
- oder, alternativ hierzu, werden die Anforderungen in der Form von verlangten Ergebnissen dargestellt: Man verlangt z. B., dass die Schalldämmung zwischen zwei Räumen (zwei Wohnungen, zwei Klassenräumen, zwei Hoteloder Krankenhausräumen) einen bestimmten Mindestwert erreichen muss. In diesem Fall muss der Bauausführende entscheiden, welche Mittel das geforderte Ergebnis erreichen können, was messtechnisch überprüft werden kann, wenn die Arbeit beendet ist und was zu Gewährleistungsverpflichtungen im Fall der Nichterfüllung führt. Diese Anforderungen werden am besten mit den französischen Regelungen zur akustischen Qualität von Gebäuden illustriert.

Für diese zweite Form der Anforderung muss der Designer, aber auch der Bauausführende die akustischen Grundlagen von Gebäuden kennen, der erste, um die Lösungen zu finden, die mit größter Wahrscheinlichkeit das benötigte Ergebnis erreichen, der letzte, um zu erkennen, was von ihm gefordert wird und um die Lösung zu optimieren, was in manchen Fällen als überflüssig erscheinen könnte. In allen Verträgen muss darauf geachtet werden, dass die schriftlich niedergelegten Forderungen nicht gleichzeitig für dasselbe Problem die Forderung bestimmter Ergebnisse enthalten und die Forderung nach der Benutzung bestimmter Materialien. Wenn die beschriebenen Mittel kläglich unzureichend sind, ist stets der Bauausführende für schlechte Messergebnisse verantwortlich.

Die Regeln betreffen in den meisten Fällen neue Gebäude. Für bestehende Gebäude, in denen sich akustische Probleme herausgestellt haben, ist es nötig, eine Diagnose der herrschenden Situation zu machen, um zu entscheiden, welches die vorherrschenden akustischen Übertragungswege sind. Auf diesem Gebiet wäre eine Improvisation uneffektiv und teuer. Dies wird das letzte Kapitel in diesem Dokument sein.

Drei Serien verschiedener Normentypen existieren in Europa:

- ISO 717, die Einzahlwerte zur Beschreibung der akustischen Eigenschaften von Bauteilen enthält,
- ISO 140, die mit frequenzabhängigen Messungen befasst ist (Terzbänder oder Oktavbänder),
- EN 12354, die mit der Vorhersage akustischer Dämmergebnisse befasst ist, die durch verschiedene Maßnahmen erwartet werden können.

Die europäische Harmonisierung hat für bestimmte Länder eine Anpassung ihrer Regelungen, Techniken und Maßnahmen erforderlich gemacht, die im Vokabular angegeben sind. Seit dem 01.01.2000 ist es erforderlich, die Regelungen gemäß der Norm ISO 717 zu benutzen. Insbesondere scheinen manche der zu benutzenden Symbole ziemlich komplex. Zum Beispiel wird das Symbol DnTeAtr benutzt, um die Schalldämmung eines Lufteinlasses in einen Raum zu beschreiben. Das Symbol D entspricht der Differenz der Schalldruckpegel, "nT" deutet an, dass dieser Pegelunterschied standardisiert ist, was bedeutet, dass er kalkuliert ist für einen Raum mit einem Bezugswert für die Nachhallzeit, "e" deutet an, dass dies die Leistung eines Bauteils (des Lufteinlasses) ist, "A" drückt die Dämmung durch einen Einzahlwert aus, der die A-bewertete Geräuschmessung benutzt, und "tr" definiert den zu benutzenden Schallemissionsbereich, in diesem Fall das konventionelle Verkehrsgeräusch.

Dass der Schlüssel zu diesen Symbolen bekannt ist, trägt nicht zu ihrer Vereinfachung bei, erlaubt stattdessen jedoch, die Bedeutung der betrachteten Werte einfach zu bestimmen.

- Either the requirements take the form of the obligation to use certain materials; performance of walls, of coverings or of the equipment to be used, with finally the description of techniques to be used in combining these elements with bordering building elements. This type of requirement is best illustrated by the German standard DIN 4109.
- or, alternatively, the requirements are given in the form of demanded results: One demands e. g. that the acoustic insulation between two places (two flats, two classrooms, two hotel or hospital rooms) must at least reach a certain value. In this case, it is for the contractor to decide the means able to reach this demanded result which can be checked by measuring at the end of the work and leads to liabilities in case of non-conformity. This type of requirements is best illustrated by the French regulations regarding the acoustic quality of buildings.

For this second form of requirement, the designer, but also the contractor need to know the acoustic fundamentals of buildings, the former to determine the solutions most likely to meet the required results, the latter to understand that what is demanded of him and to optimise the solution which might appear in certain cases to be superfluous. In all contracts, the contractors must make sure that the written demands do not hold for the same problem both an obligation to obtain certain results and the obligation to use certain means. In case their means described are sadly insufficient, it is nevertheless the contractor who is held responsible for measured bad results.

The regulations concern themselves most frequently with new buildings. For existing buildings, in which acoustic problems had been proven, it is necessary to make a diagnosis of the existing situation to be able to decide, which are the predominant acoustical transmission paths. In this area, an improvisation could be ineffective and costly. This is going to be the final chapter of this document.

Three series of different kinds of standards exist in Europe:

- ISO 717, containing single-number values to characterise the acoustic properties of building components,
- ISO 140, dealing with measurements by frequency (thirdoctave band or octave band).
- EN 12354, dealing with the prediction of the acoustic insulation results to be expected from different measurements.

The European harmonisation has necessitated for certain countries an adaptation of their regulations, techniques and measures, which is given in the vocabulary. From 01.01.2000, it is compulsory to use the regulations defined in the standard ISO 717. Particularly, certain symbols which need to be used might seem very complex. For example, to characterise the acoustic insulation given by an air intake in a room, one uses the symbol $D_{n\mathsf{TeA},tr}.$ The symbol D corresponds to a difference in the acoustic pressure level, "nT" indicates that this difference is standardised, which means to say calculated for a room where the reverberation time has a reference value, "e" to signify that this is the performance of an element (the air opening), "A" to express the isolation by a single-number value using the Aweighted noise measurement and "tr" to define the range of emission noise to be used, in this case the noise of conventional traffic.

That the key of the symbols to be used is known does not simplify these symbols, but instead it is allowed to simply determine the meaning of the considered values.

Part 6:

Schließlich könnte man noch erklären, dass die Gebäudeakustik durch eine Serie von Normen beschrieben wird: EN 12354 "Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den akustischen Bauteileigenschaften":

Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie Teil 5: Geräusche aus haustechnischen Anlagen Schallabsorption in Räumen Teil 6:

Diese Normen geben die derzeit vorhandenen Möglichkeiten zur Voraussage einer Leistung, sie sind jedoch für Bauausführende, die keine Akustiker sind, zu theoretisch, Im Dokument A4 wurde versucht, die brauchbaren Elemente aus diesen Normen herauszuziehen und vereinfachte Methoden für die Vorausberechnung anzugeben, einschließlich der Grenzen dieser Methoden. Im Zweifelsfall oder bei besonderen Problemen muss auf den jeweiligen Teil der Norm zurückgegriffen werden. Die nachfolgenden Kapitel enthalten viele praktische Beispiele.

Das gesamte Gebiet der Gebäudeakustik hat verschiedene Interaktionen. Es ist nicht möglich, mit einem dieser Phänomene umzugehen, ohne die Konsequenzen, günstig oder ungünstig, für andere zu berücksichtigen. Ebenso darf man nicht mit akustischen Problemen umgehen, ohne auch die Abhängigkeiten von Lösungen zu anderen Gebäudefunktionen zu beachten: Standfestigkeit des Gebäudes, Wärmedämmung, Belüftung, Brandschutz. Die Einflüsse einer Funktion auf die anderen Funktionen zu untersuchen, ist der Ausgangspunkt für jedwede Optimierung.

A4-2 Luftschalldämmung zwischen Räumen

A4-2.1 **Allgemeines**

Bild 1 wiederholt Bild 19 aus Kapitel 8 des Dokuments A2.

Wenn eine akustische Welle eine Wand trifft, wird ein Teil der Energie reflektiert, ein anderer Teil wird durch die Wand absorbiert und ein dritter Teil wird auf die andere Seite des Hindernisses, von der Quelle weg, übertragen, wie wir in der Einleitung wiederholt haben (Bild 1).

Finally, one could declare that acoustics in buildings is treated by a series of standards EN 12354 "Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements":

Part 1: Airborne sound insulation between rooms Part 2: Impact sound insulation between rooms Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound Part 4: Transmission of indoor sound to the outside Part 5: Sound levels due to service equipment

Sound absorption in enclosed spaces These standards give the current possibilities to forecast a performance, but in a slightly too theoretical form for contractors which are not acousticians. In document A4, we tried to extract from these standards the useful elements and to give simplified methods of pre-calculation including the limits of their utilisation. In case of doubt or specific problems, one must take recourse to the appropriate part of the standard. Many practical examples will be given in the subsequent chapters.

The entire area of acoustics in buildings has several interactions. It is not possible to deal with one of these phenomena without considering the consequences, favourable or unfavourable, for the others. Equally, one must not deal with acoustical problems without also considering the interactions of solutions with the other functions of a building: stability of the building, thermal insulation, ventilation, fire protection. To examine the influences of one function on the other functions is the starting point for an optimisation of solutions.

A4-2 Airborne sound insulation between rooms

A4-2.1 General

Figure 1 repeats figure 19 from chapter 8 of document A2.

When an acoustic wave hits a wall, as we have recalled in the Introduction, part of its energy is reflected, another part absorbed by the wall and a third part is transmitted to the other side of the obstacle away from the source (Figure 1).

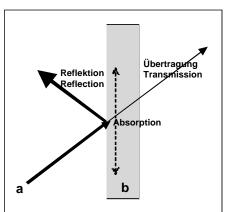


Bild 1: Reflektion, Absorption und Übertragung von Energie, die von einer Quelle a kommt und auf die Trennwand b trifft

Die Trennwand wird durch drei Koeffizienten charakterisiert: r, Reflektionskoeffizient, der Teil der auftreffenden Energie, der reflektiert wird, α, Absorptionskoeffizient, der Teil der Energie, der absorbiert wird und τ , Übertragungskoeffizient, der Teil der Energie, der durch die Trennwand hindurch tritt. Man kann auch schreiben " $r + \alpha + \tau = 1$ ", da die gesamte Energie, die das Hindernis trifft, in reflektierte Energie, absorbierte und übertragene Energie aufgeteilt wird.

Reflection, absorption and transmission of Figure 1: the energy coming from a source a and hitting a partition b

The partition is characterised by three coefficients: r, reflection coefficient, which is the proportion of the energy reflected to the incoming energy, α , absorption coefficient, which is the proportion of the energy absorbed and τ , transmission coefficient, which is the proportion of the energy transmitted by the partition. One can also write " $r + \alpha + \tau = 1$ ", since the total amount of energy hitting the wall is transformed into reflected energy, absorbed or transmitted energy.

Im Zusammenhang mit der Dämmung von Luftschall zwischen Räumen ist es der Übertragungskoeffizient τ, der uns interessiert. Er drückt sich in der Messung des Schalldämmmaßes R einer Wand aus:

In the context of acoustic insulation of airborne sound between rooms, it is the transmission coefficient τ which interests us. This is materialised by the measurement of the sound reduction index R of a wall:

$$R = 10 \log (1/\tau) = -10 \log (\tau) dB$$
.

Dies ist die besondere Eigenschaft einer Wand, die aus einem oder verschiedenen Materialien besteht, die in bestimmter Weise kombiniert sind. Man spricht von Schalldämmmaß einer 16 cm Betonwand, einer 98/48 Ständerwand mit Mineralwolle, usw.

This is the special characteristic of a wall made of one or several materials composed in a certain manner. One speaks of the sound reduction index of a 16 cm concrete wall, of a double 98/48 wall with mineral wool, etc.

Dies ist die Übertragung akustischer Energie als ein Ergebnis der Vibration der Wand, zu welcher die Wand durch die von der Quelle kommenden Schallwellen angeregt worden ist.

This is the transmission of acoustic energy as a result of the vibration of the partition to which it has been excited by the sound waves arriving from the source.

A4-2.2 **Begriffe und Definitionen**

A4-2.2.1 Allgemeine Grundsätze

Wenn ein Schall durch eine Quelle in einem Raum, genannt "Senderaum", erzeugt wurde, treffen die Schallwellen die Trennwände, die dann in Vibration geraten und so ihrerseits Schallquellen für den benachbarten Raum werden, den man "Empfangsraum" nennt. Man benutzt normalerweise den Index 1 für die akustischen Werte, die den Senderaum beschreiben

und den Index 2 für diejenigen in dem Empfangsraum.

Im Senderaum werden sämtliche Wände in Vibration versetzt, insbesondere die Trennwände zwischen den Räumen und die Seitenwände, die die beiden Räume häufig gemeinsam haben. Dadurch ist der Schallpegel L2 im Empfangsraum aus der direkten Übertragung durch die Trennwand zusammengesetzt. beschrieben durch das Schalldämmmaß R, und durch die Übertragung über die Seitenwände. Besonders wo eine Seitenwand mit der Trennwand verbunden ist und wo sie beiden Räumen gemeinsam ist, wird die Vibration der Seitenwand im Senderaum teilweise auf die Seitenwand im Empfangsraum übertragen und teilweise auf die Trennwand, mit der die Seitenwand verbunden ist. Gleichermaßen wird die Vibration der Trennwand teilweise auf die Seitenwand im Empfangsraum übertragen. Auf diese Weise ergeben sich drei Übertragungswege an der Verbindung der Seitenwand mit der Trennwand. Normalerweise gibt es vier Seitenwände, was zu $4 \cdot 3 = 12$ seitlichen Übertragungswegen führt, zu denen die direkte Übertragung durch die Trennwand hinzugezählt werden muss, was zu 13 Übertragungswegen zwischen zwei Räumen führt (Bild 2).

A4-2.2 Terms and definitions

A4-2.2.1 General principles

Once a noise is produced by a source in a room, called "emission room", the acoustic waves hit the partitions which are then set into vibration, thus becoming noise sources in the neighbouring room, called "reception room". One uses normally the index 1 for the acoustic values characterising the emission and the index 2 for those in the reception room.

In the emission room, all the walls of the room are set into vibration, especially the walls dividing the rooms and the lateral walls, which the two rooms have frequently in common. Thus, the sound level L2 in the reception room is composed of the direct transmission through the separating wall, characterised by its sound reduction index R, but also by the transmission by the lateral walls. Especially where a lateral wall is linked to the partition wall and is common to both rooms, the vibration of the lateral wall in the emission room is partially transmitted to the lateral wall in the reception room and partially to the separating wall to which it is linked. Equally, the vibration of the separating wall is partially transmitted to the lateral wall of the reception room. Thus, there are three paths of transmission at the junction of one lateral wall and one separating wall. Generally, there are four lateral walls, which gives $4 \cdot 3 = 12$ paths of lateral transmission to which the direct transmission through the separating wall must be added, gives 13 paths of transmission between two rooms (Figure 2).

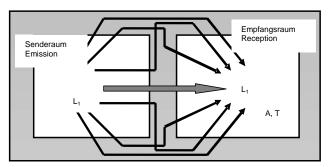


Bild 2: Direkte Übertragung durch die Trennwand und die Übertragungswege durch die Seitenwände. An jeder Verbindung der Trennwand mit den Seitenwänden gibt es drei seitliche Übertragungswege, was bei einer Gesamtheit von vier Seitenwänden zwischen zwei Räumen zu 12 Übertragungswegen führt

Die direkten und seitlichen Übertragungswege werden manchmal durch störende Übertragungswege ergänzt, die durch Öffnungen in den Trennwänden, Dichtigkeitsmängeln an den Wandverbindungen oder den Durchgängen von Rohren und Kanälen erzeugt werden.

Direct transmission through the separating Figure 2: wall and the transmission paths by the lateral walls. At each connection of the separating wall with the lateral walls, there are three paths of transmission, which gives 12 paths at a total of four lateral walls between two rooms

The direct and lateral transmission paths are sometimes augmented by parasitic transmission paths due to openings in the separating wall, to defaults of tightness of junctions between the walls, to crossing through passages of pipes and ducts.

Es ist festzustellen, dass die akustische Energie alle möglichen Übertragungswege auszunutzen versucht, um vom Senderaum zum Empfangsraum zu gelangen. Die Trennwand darf keinesfalls der einzige Bereich sein, den man berücksichtigt, um Schalldämmung zwischen zwei Räumen sicherzustellen. Dies führt dazu, dass, so bald die Schalldämmung zwischen zwei Räumen nicht ausreicht, es nicht genügt, sich auf die Verbesserung der akustischen Qualität der Trennwand zu konzentrieren. Zusätzlich ist es erforderlich, die Größenordnung der einzelnen Übertragungswege zu ermitteln und dann den wichtigsten von ihnen zu behandeln. Auf diesem Gebiet sind Improvisationen häufig nutzlos und kostspielig.

Die gesamte Energie, die über den direkten Übertragungsweg, die seitlichen und die störenden Übertragungswege übertragen wird, wird mehr oder weniger schnell durch die absorbierenden Materialien im Empfangsraum aufgenommen. Der Pegel L_2 im Empfangsraum ist damit von den Wänden dieses Raumes abhängig, von ihren möglichen Mängeln oder von Mängeln ihrer Verbindungen und von den Absorptionseigenschaften des Raumes. Diese Absorptionseigenschaften hängen meistens von dem Mobiliar oder der Dekoration des Raumes ab, damit von Faktoren, die vom Bewohner abhängen und nicht vom Bauherrn.

Um die Dämmungsvorgaben des Designers zu ermitteln und um die Leistung der Dämmung zwischen zwei Räumen in einem Gebäude mit denjenigen in einem anderen Gebäude vergleichen zu können, muss man die Faktoren außerhalb des Verantwortungsbereiches des Designers neutralisieren. Deswegen enthalten die Normen für Definitionen und Messverfahren Korrekturwerte, die zu benutzen sind, um die Dämmwerte zu berechnen, die man erreichen würde, wenn in den Empfangsräumen Referenzabsorptionsbedingungen herrschen würden. Die benutzten Kriterien sind entweder die äquivalente Absorptionsfläche oder die Nachhallzeit.

A4-2.2.2 Frequenzabhängige Schalldämmindizes

Die Schalldämmung zwischen Räumen entspricht der Differenz zwischen dem Schalldruckpegel L_1 im Senderaum und dem Schalldruckpegel L_2 im Empfangsraum.

Man unterscheidet drei Arten von Dämmung zwischen Räumen (siehe ISO 140-4/1998):

Die Schallpegeldifferenz D zwischen den Räumen:

$$D = L_1 - L_2 \text{ in dB}$$
 (1)

Diese Dämmung hängt von den Eigenschaften im Empfangsraum ab. Hierzu kann man sowohl die äquivalente Absorptionsfläche A (m^2) betrachten als auch die Nachhallzeit T (s) des Empfangsraumes.

Die Norm-Schallpegeldifferenz D_n zwischen zwei Räumen benutzt eine Korrekturfunktion für die äquivalente Absorptionsfläche:

One notes that the acoustic energy tries to exploit all possible transmission paths to travel from the emission room to the reception room. The separating wall is by no means the only one to be considered to ascertain acoustic insulation between two rooms. A consequence is that if the acoustic insulation existing between two rooms is not sufficient, one must not concentrate on the improvement of the acoustic quality of the separating wall, but it is necessary to make an analysis to establish the hierarchy between the transmission paths and then treat the most important ones. In this area, improvisation is frequently misleading and costly.

All the energy transported by the direct transmission, the lateral and the parasitic transmission paths is consumed more or less rapidly by the absorbing materials contained in the reception room. The level L_2 in the reception room is thus dependent on the walls forming the room, on the possible shortcomings of these walls or of their connections and the absorption characteristics of the room. These absorption characteristics depend most frequently on the furniture and decoration of the room, factors dependent on the occupant and not on the builder.

To be able to identify the insulation aims of the designer and to be able to compare the performance of the insulation between two rooms of one building or between different buildings, it is necessary to neutralize the factors that are outside the responsibility of the designer. It is thus that the standards for definitions and measurements provide corrective terms to use in order to calculate the insulation performances which would be obtained in case the reception rooms have reference absorption characteristics. The characteristics used are either the equivalent absorption area, either the reverberation time.

A4-2.2.2 Acoustic insulation indices depending on frequency

The acoustic insulation between rooms corresponds to the difference between the sound pressure level L_1 in the emission room and the sound pressure level L_2 in the reception room.

One discerns three types of insulation between rooms (see ISO 140-4/1998):

The level difference D between rooms:

This insulation depends on the characteristics of the reception room. For this, one might as well consider the equivalent absorption area A (m²) of the room or the reverberation time T (s).

The normalised level difference D_n between two rooms uses a corrective function for the equivalent absorption area:

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \log (A / A_0)$$
 in dB (2)

A ist die äquivalente Absorptionsfläche in m^2 , die im Empfangsraum während des Tests festgestellt wird. A_0 ist die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche, die gleichmäßig mit 10 m^2 festgesetzt wird, wenn in Vorschriften oder Verträgen nichts anderes festgelegt ist.

Der benutzte Korrekturfaktor entspricht der Bewertung des Unterschieds des Pegels L_2 , wenn die äquivalente Absorptionsfläche sich von A nach A_0 verändert (bei diesem Ansatz passt sich das konstante R in dem Raum der äquivalenten Absorptionsfläche an (siehe auch Dokument A5)).

A is the equivalent absorption area in m^2 established in the reception room during the test. A_0 is a reference equivalent absorption area, set equally at 10 m^2 , if nothing else has been stated in a regulation or in a contract.

The correction term used corresponds to an evaluation of the difference of the level L_2 if the equivalent absorption area changes from A to A_0 (in this approach, the constant R of a room assimilate to the equivalent absorption area (see also document A5)).

Sie wird unter Benutzung der Sabine-Formel $(T = 0.16 \frac{V}{A})$

bestimmt, nachdem die Nachhallzeit im Empfangsraum gemessen wurde.

Die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} zwischen zwei Räumen benutzt einen Korrekturfaktor für die Nachhallzeit im EmpfangsIt is determined by using the Sabine formula $(T = 0.16 \frac{V}{A})$ after having measured the reverberation time in the reception room.

The standardised level difference D_{nT} between two rooms uses a correction factor for the reverberation time in the reception

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log (T/T_0)$$
 (3)

T ist die Nachhallzeit in Sekunden, die im Empfangsraum während des Tests ermittelt wird. To ist die Bezugs-Nachhallzeit, gleichmäßig mit 0,5 Sekunden angesetzt, es sei denn, der Vertrag sieht etwas anderes vor.

Anmerkung:

In einigen europäischen Ländern wurde bis zum 01.01.2002 die Standard-Schalldämmung als "Norm-Schalldämmung" bezeichnet. Die neuerdings benutzte Terminologie ist eine Folge der europäischen Harmonisierung.

Man darf die Schalldämmung zwischen zwei Räumen nicht mit dem Schalldämmmaß R der Trennwand verwechseln, wie es im Labor ermittelt wird. Die tatsächliche Dämmung spiegelt die direkte Übertragung durch die Trennwand und die Übertragung durch die Seitenwände wider, die beiden Räumen gemeinsam sind. Die Pegelminderung einer Wand wird gemessen, wenn die Wand zwischen zwei Räumen angeordnet wird und seitliche Übertragungen ausgeschlossen sind (Bild 3).

T is the reverberation time in seconds, established in the reception room during the test. To is a reference reverberation time, set equally at 0,5 seconds, unless a different statement is made in the contract.

In some European countries, up to 01.01.2002, this Note: standardised insulation was called "normalised acoustic insulation". The new terminology in use is a consequence of European harmonisation.

One must not confuse the acoustic insulation between two rooms with the sound reduction index R of the separating wall as measured in a laboratory. The actual insulation reflects the direct transmission through the separating wall and the transmissions by the lateral walls, which both rooms have in common. The sound reduction index of a wall is measured when that wall is placed between two rooms designed so that no lateral transmission occur (Figure 3).

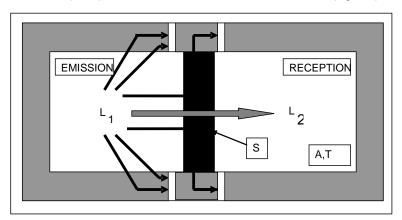


Bild 3: Für die Labormessung des Schalldämmmaßes gungswege ausgeschaltet sein

einer Wand müssen die seitlichen Übertra-

Das Schalldämmmaß einer Wand ergibt den Schallübertragungsfaktor τ dieser isolierten Wand R = 10 log (1/ τ).

Die Gleichung für den Index R erhält man dadurch, dass die durch eine Wand, die diesem Faktor entspricht, übertragene Energie durch die Absorption im Empfangsraum aufgenommen wird.

Figure 3: For the laboratory measurement of the sound reduction index of a wall, the lateral transmission paths are neutralised

The sound reduction index of a wall renders the sound transmission factor τ of that isolated wall R = 10 log (1/ τ).

The formula for the index R is obtained by writing that the energy transmitted through the separating wall conditioned by this factor is consumed by the absorption in the reception room.

$$R = L_1 - L_2 - 10 \log (A/S)$$
 in dB (4)

wobei L_1 und L_2 die Schalldruckpegel in dB im Sende- bzw. Empfangsraum sind. A ist die äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum (m²). S ist die Oberfläche der Trennwand (m²).

Man kann dieses Schalldämmmaß in vorhandenen Konstruktionen stets benutzen, selbst wenn zusätzlich zur direkten Übertragung seitliche Übertragungswege bestehen. Es liegt dann jedoch ein Bau-Schalldämmmaß R' der Trennwand vor. Wie bei allen akustischen Werten deutet der Strich an, dass es auch noch seitliche Übertragungen gibt. Die Norm ISO 140-4 gibt eine Definition dieses "scheinbaren" Index.

where L_1 and L_2 are the sound pressure levels in dB in the emission, respectively in the reception room. A is the equivalent absorption area in the reception room (m2). S is the surface of the separating wall (m²).

It is always possible to use this sound reduction index in a construction in place, even if there are lateral transmissions on top of the direct transmission. But then one has to deal with an apparent sound reduction index R' of the separating wall. As with all acoustic values, the dash indicates that there are also lateral transmissions. The standard ISO 140-4 gives a definition of that "apparent" index.

$$R' = L_1 - L_2 - 10 \log (A/S)$$
 in dB (5)

Das Schalldämmmaß im Labor gemessen, wo es keine seitlichen Übertragungen gibt, kann wie folgt ausgedrückt werden:

The sound reduction index measured in a laboratory, where no lateral transmissions occur, could be written as:

$$R = 10 \log (W_1/W_2)$$

wobei W₁ die akustische Energie ist, die auf der Sendeseite auf die Wand trifft und W2 die akustische Energie, die durch die Trennwand hindurch tritt $(W_1/W_2 = 1/\tau)$. In einer tatsächlich vorhandenen Konstruktion, bei Anwesenheit von seitlichen Übertragungen, kann das Bau-Schalldämmmaß wie folgt geschrieben werden:

where W₁ is the acoustic energy hitting the wall on the emission side, and W2 the acoustic energy transmitted by the separating wall $(W_1/W_2 = 1/\tau)$. In an actual construction, in the presence of lateral transmissions, the apparent sound reduction index could be written as follows:

$$R = 10 \log (W_1/(W_2 + W_3))$$

wobei W₃ die akustische Energie ist, die durch alle Teile außer der Trennwand übertragen wird.

where W₃ is the acoustic energy transmitted by all the elements outside the separating wall.

Verhältnis zwischen den verschiedenen Krite-A4-2.2.2.1 rien der Schalldämmung zwischen Räumen

Man könnte die Standard-Dämmung D_{nT} und die Norm-Dämmung D_n vergleichen: In beiden Fällen ist der unverarbeitete Unterschied $L_1 - L_2$ gleich. Hieraus könnte, wenn man die Sabine-Formel benutzt und 10 m2 und 0,5 Sekunden als Referenzwerte für die äquivalente Absorptionsfläche und Nachhallzeit benutzt, geschlossen werden, dass:

Relations between the different criteria of A4-2.2.2.1 acoustic insulation between rooms

One could compare the standardised insulation D_{nT} and the normalised insulation D_n: In both cases, the unprocessed difference $L_1 - L_2$ is the same, and from this it could be deduced, using the Sabine formula and taking 10 m2 and 0,5 seconds as reference values for the equivalent absorption area and the reverberation time, that:

$$D_{nT} = D_n + 10 \log (V / V_0)$$
 in dB (6

wobei V das Volumen des Empfangsraumes ist und Vo das Referenzvolumen, was stets auf 31,5 m³ gesetzt wird, gerundet auf 30 m³, was einer normalen Schlafzimmergröße entspricht.

In gleicher Weise, wiederum unter Benutzung der Sabine-Formel und der Tatsache, dass in allen Fällen die Pegel im Sende- und Empfangsraum die gleichen sind, könnte man die folgende Beziehung ableiten:

where V is the volume of the reception room and Vo the reference volume set equally at 31,5 m³, rounded to 30 m³, which is the size of a normal bedroom.

Equally, using the Sabine formula and the fact that in all cases the levels at the emission and the reception rooms are the same, one could deduce the following relation:

$$D_n = R' - 10 \log (S / A_0)$$
 in dB (7)

wobei S die Fläche der beiden Räumen gemeinsamen Trennwand ist (m²).

where S is the surface of the separating wall, common to both rooms (m2).

oder / or
$$D_n = R'-10 \log (S/10)$$
 in dB, wenn / if $A_0 = 10 \text{ m}^2$ (8)
 $D_{nT} = R'+10 \log (0.16 \text{ V}/(S T_0))$ (9)

gemeinsam haben und V das Volumen des Empfangsraumes in

Wiederum ist S die Fläche der Trennwand, die beide Räume S being the surface of the separating wall common to both rooms and V the volume of the reception room in m³.

oder / or
$$D_{nT} = R' + 10 \log (0.32 \text{ V/S}) \text{ wenn / } if T0 = 0.5 \text{ s}$$
 (10)

A4-2.2.2.2 Verhältnis der Schalldämmung zwischen Räumen und dem Schalldämmmaß der **Trennwand**

Im ersten Schritt geht man von der Hypothese aus, dass es keine seitlichen oder störenden Übertragungen gäbe. In diesem Fall bliebe nichts außer der direkten Übertragung durch die Trennwand und man könnte ihr Schalldämmmaß messen. In den drei Gleichungen für R, D_n und D_{nT} ist die Differenz L₁ - L₂ gleich, wodurch es möglich ist, mit den nachfolgenden Gleichungen fortzufahren, die dem Wert der direkten Übertragung durch die Trennwand mit ihrem Schalldämmmaß R entsprechen.

A4-2.2.2.2 Relations between the acoustic insulation between rooms and the sound reduction index of the separating wall

For a first step, one works with the hypothesis that there were no flanking or parasitic transmissions. In this case, nothing would remain, but the direct transmission through the separating wall and one could measure its sound reduction index. In the three equations for R, D_n and D_{nT} , the difference $L_1 - L_2$ is the same, which allows to continue with the following equations which correspond to the value of direct transmission through the separating wall with its sound reduction index R.

Die Standard-Schalldämmung D_{nT} und das Schalldämmmaß R der Trennwand werden durch folgende Gleichung verknüpft:

The standardised acoustic insulation D_{nT} and the sound reduction index R of the separating wall are linked by the equation:

$$D_{nT} = R + 10 \log (0.32 \text{ V/S}) dB$$
 (11)

wobei V das Volumen des Empfangsraumes ist und S die Fläche der Trennwand, die beiden Räumen gemeinsam ist.

where V is the volume in the reception room and S the surface of the separating wall which the two rooms have in common.

Die Norm-Schalldämmung D_n und das Schalldämmmaß der Trennwand werden verbunden durch:

The normalised acoustic insulation D_n and the sound reduction index R of the separating wall are linked by:

$$D_n = R - 10 \log (S/10) dB$$
 (12)

wobei S die Fläche der Trennwand ist, die beide Räume gemeinsam haben.

where S is the surface of the separating wall which both rooms have in common.

In einem zweiten Schritt gelangt man zu der tatsächlichen Situation dadurch, dass man zur Kenntnis nimmt, dass bei tatsächlichen akustischen Dämmungen Flankenübertragungen vorhanden sind. Diese Flankenübertragungen führen zu einer Erhöhung des Schalldruckpegels im Empfangsraum L_2 und dadurch zu einem Abnehmen der Schalldämmung verglichen mit derjenigen durch die direkte Übertragung allein. Zwei Ansätze sind möglich:

In a second step, one arrives at the real situation in taking note of the fact that in case of actual acoustic insulation, flanking transmissions do exist. These flanking transmissions cause an increase of the sound pressure level in the reception room L_2 and as a consequence a diminishing acoustic insulation compared to that associated with the direct transmission. Two approaches can be chosen:

 Entweder man drückt den Dämmverlust, der durch seitliche Übertragungswege entsteht, dadurch aus, dass man einen bestimmten Wert in dB von den ermittelten Werten für D_{nT} und D_n abzieht. Either one expresses the insulation loss caused through lateral transmissions by taking off a certain quantity of dB from the D_{nT} and the D_{n} obtained.

$$D_{nT} = R + 10 \log (0.32 \text{ V/S}) - T_f \text{ dB}$$
 (13)
und / and $D_n = R - 10 \log (S/10) - T_f \text{ dB}$ (14)

Es gilt auch $R' = R - T_f$.

wobei T_f der abgeschätzte Dämmverlust ist, der durch Flankenübertragungen entsteht. Er repräsentiert in jedem Fall den Pegel der seitlichen Übertragungen.

In gleicher Weise könnte man ausdrücken:

Also, $R' = R - T_f$.

where $T_{\rm f}$ is the assessed loss of acoustic insulation caused by flanking transmissions. And in any case it represents the level of lateral transmissions.

Equally, one could express:

$$\begin{split} &D_{nT} = R' + 10 \; log \; (0,\!32 \; V \; / \; S) \\ &und \; / \; and \; \; D_n = R' - 10 \; log \; (S \; / \; 10) \end{split}$$

Note:

Oder man könnte die 13 Übertragungswege zwischen den zwei Räumen berechnen, indem man die Schalldämmmaße aller Wände berücksichtigt, die die beiden Räume gemeinsam haben und die Übertragungskoeffizienten an den Verbindungen zwischen der Trennwand und den seitlichen Wänden, die für die Dämmung von Vibrationen zwischen der Wand im Senderaum und der Wand im Empfangsraum maßgeblich sind. Diese Abschätzungen sind jedoch sehr kompliziert und es ist vorzuziehen, die auf der europäischen Norm EN 12354-1 beruhende Software zu benutzen.

Or one could calculate each of the 13 transmission paths between the two rooms by taking into account the sound reduction indices of all walls which the two rooms have in common and the transmission coefficients at the junctions between the separating wall and the lateral walls associated with the insulation of vibrations between the wall in the emission room and the wall in the reception room. But these assessments become very complicated and it is preferable to use calculation software based on the European standard EN 12354-1.

Gegenwärtig gibt es zwei Programme, die beide auf der o. g. Norm beruhen. Eines davon, BASTIAN (durch G+H Deutschland vorgeschlagen), entspricht der Anwendung der Norm mit ihren informativen Anhängen und insbesondere den Modellen, die als Beispiele für Vibrationsdämmung an Verbindungen angegeben werden. Das andere, ACOUBAT (erstellt durch CSTB in Frankreich), benutzt die Norm insoweit, als sie der Entwicklung einer Bestimmungsmethode nach einer Anpassung der Modelle im informativen Teil dient, es benutzt dabei vielfältige Messungen von Vibrationsdämmungen an Verbindungen. Durch diese Anpassung bringt der zweite logische Ansatz Ergebnisse hervor, die sehr nah an denjenigen liegen, die man durch Messungen vor Ort erhält.

Actually, two software packages are available, both based on the application of the standard cited above: the one, BASTIAN (proposed by G+H in Germany), corresponds to the application of the standard with its informative annexes and especially to the models given as examples for the vibration insulation at the junctions. The other, ACOUBAT (made by CSTB in France), uses the standard in so far as it concerns the development of a determination method after an adaptation of the models in the informative part, using numerous measurements of the vibration insulation at the junctions. Due to this adaptation, the second logical approach gives results very near to those one could obtain through measurements in place.

Anmerkung:

In einigen europäischen Ländern verlangen die akustischen Vorschriften vom Designer Ergebnisse auf dem Gebiet der Schalldämmung zwischen Räumen. Es ist dann seine Verantwortung, eine Konstruktion zu errichten die diese Ergebnisse aufweist, und häufig wird später nachgemessen, um die Übereinstimmung mit der Vorschrift nachzuweisen.

In some European countries, acoustic regulation obliges the designer to achieve results in the area of acoustic insulation between rooms. It is his responsibility to establish a construction which allows for these results and measurements afterwards are frequently executed to verify the conformity to the regulation.

Diese Programme erlauben – zusätzlich, wenn das verlangt wird – eine relativ genaue Berechnung des Wertes des Schalldämmverlustes $T_{\rm f}$, der oben erwähnt wurde.

These software packages allow for – additionally, if this is needed – a calculation in a relatively exact fashion of the value of acoustic insulation loss $T_{\rm f}$ mentioned above.

In diesem Kapitel wurden nur direkte und Flankenübertragungen erörtert. Störende Übertragungen werden im Kapitel A4-2.5 vorgestellt.

A4-2.2.3 Einzahlwert

Die europäische Richtlinie für Bauprodukte verlangt, die Leistungen von Produkten und von Konstruktionen durch Einzahlwerte zu beschreiben. Diese werden in der Norm EN ISO 717 beschrieben

Bereits vor Veröffentlichung dieser Norm haben die meisten europäischen Länder ihre akustischen Dämmergebnisse durch Einzahlwerte ausgedrückt. Unglücklicherweise waren die benutzten Kriterien nicht identisch und es gab keine offensichtliche Verbindung zwischen den verschiedenen Methoden.

Zwei grundsätzliche Ansätze standen in Konkurrenz: Der eine, der – wie in Frankreich – darin besteht, den Gesamtpegel in dB(A) im Sende- und Empfangsraum auszudrücken und die Differenz zu ermitteln. Der andere besteht darin, die Pegeldifferenzkurven oder das Schalldämmmaß als eine Funktion der Frequenz und einer Referenzkurve zu vergleichen.

Für die europäische Harmonisierung wurde die Methode mit der Referenzkurve berücksichtigt. So müssen jetzt alle Länder diese Methode benutzen, unabhängig von ihren früheren Traditionen. Glücklicherweise haben die europäischen Normen bestimmte Anpassungsregeln entwickelt, die es erlauben, eine Verbindung zwischen beiden Methoden herzustellen.

Die Unterschiede werden noch schwerwiegender, wenn man zur Kenntnis nimmt, dass die Analysen mittels Frequenzintervallen – in Frankreich bis zum 01.01.2000 in Benutzung – und die europäischen Analysen nicht denselben Frequenzbereich benutzen. In Frankreich wurden die Labormessungen in Terzbändern durchgeführt, von der Terz mit 100 Hz als Zentrum bis zur Terz mit 5000 Hz als Zentrum, was sechs Oktavintervalle von 125 Hz bis 4000 Hz bedeutet. In Europa ist es seit 01.01.2000 erforderlich, die Analysen zwischen 100 Hz und 3150 Hz in Terzen zu machen und zwischen 125 Hz und 2000 Hz in Oktaven. Dies wirkt sich auf die globalen Einzahlwerte aus.

Dieselben Regeln müssen benutzt werden, um das Schalldämmmaß auszudrücken: Die R-Werte für Rosarauschen oder Verkehrsgeräusch in dB(A), die in Frankreich benutzt werden, sind nicht mehr gültig und müssen ersetzt werden durch $R_{\rm W}\left(C\,;C_{tr}\right)$ in dB

für Rosarauschen am Ausgangsort, $R_A=R_W+C$ in dB für Verkehrsgeräusch auf Straßen am Ausgangsort, $R_{A,tr}=R_W+C_{tr}$ in dB.

Abschätzung der Standard-Schallpegeldifferenz zwischen zwei Räumen

 $D_{nTA} = D_{nT,w} + C = R_A + 10 \log (0.32 \text{ V/S}) - T_f \text{ dB}$

Abschätzung der Norm-Schalldämmung zwischen zwei Räumen

rooms

 $D_{nA} = D_{n,w} + C = R_A - 10 \log (S/10) - T_f dB$ (16)

Anmerkung: Die Berechnung von C und als eine Konsequenz daraus von D_{nTA} und D_{nA} werden unter Berücksichtigung der A-Bewertung vorgenommen. Andererseits werden die Ergebnisse in dB angegeben und nicht in dB(A).

In this chapter, only direct and flanking transmissions have been discussed. Parasitic transmissions will be presented in chapter A4-2.5.

A4-2.2.3 Single-number values

The European directive regarding building products demands to characterise the performance of products and of constructions by single-number values. These are defined in the standard EN ISO 717.

Before the publication of this standard, already most European countries expressed their results of acoustic insulation by using single-number values. Disadvantageously, the criteria used were not identical and there was no obvious link between the different methods.

Two principal methods competed with each other: The one, which consists, as in France, in expressing the overall level in dB(A) in the emission and the reception room and finding the difference, and the other, which consist of a comparison of the level difference curve or the sound reduction index, as a function of the frequency, and a reference curve.

For European harmonisation it is the method with the reference curve which was retained. Thus, regardless of their earlier traditions, all countries must now use this method. Luckily, the European standards have established certain terms of adaptation which allow to form a bridge between the two methods.

The differences are even aggravated when one realises that the analyses by frequency intervals, in use in France up to 01.01.2000, and the European analyses do not use the same frequency range. In France, the laboratory measurements have been realised with third-octave bands from the third-octave centred on 100 Hz to the third-octave centred on 5000 Hz, which means six octave intervals from 125 Hz up to 4000 Hz. In Europe, from 01.01.2000 onward, it is required to make analyses between 100 Hz and 3150 Hz in third-octaves and between 125 Hz and 2000 Hz in octaves. This has consequences for the global single-number values.

The same rules must be used to express the sound reduction indices: The R pink or road traffic in dB(A) used in France are invalid and replaced by the R_{w} (C; C_{tr}) in dB

for pink noise at the emission, R_W (C; C_{tr}) in dB for traffic noise on roads at the emission, $R_{A,tr}=R_W+C_{tr}$ in dB.

Assessment of a standardised acoustic level difference be-

Assessment of a normalised acoustic insulation between two

(15)

Note: The calculation of C and as a consequence of D_{nTA} and D_{nA} are realised taking into account the Aweighting. On the other hand, the results are given in

dB and not in dB(A).

tween two rooms

A4-2.3 Die direkte Schallübertragung durch die Trennwand

Bei all diesen Methoden, gleichgültig ob vereinfacht oder vollständig, ist die Ausdrucksweise für die direkte Schallübertragung von einem Raum in einen benachbarten Raum identisch (siehe Kapitel A4-2.2.3).

Wenn man die Norm-Schalldämmung benutzt: D_n (direkt) = $R - 10 \log (S/10) dB$.

Wenn man die Standard-Schalldämmung benutzt: D_{nT} (direkt) = R + 10 log (0,32 V / S) dB .

A4-2.3.1 Der Einfluss der Abmessungen des Empfangsraumes

Für die Norm-Schalldämmung ist es die Fläche der Trennwand, die beiden Räumen gemeinsam ist, die zählt.

Andererseits ist es für die Standard-Schalldämmung das Verhältnis V/S des Volumens V im Empfangsraum in m³ zur Fläche S der Trennwand beider Räume in m². Wenn die Räume genau benachbart oder übereinander angeordnet sind, ist das Verhältnis V/S direkt mit der Tiefe des Empfangsraumes verbunden, senkrecht von der Trennwand aus gemessen.

Beispiel: Bild 4 zeigt einen senkrechten Schnitt durch ein Gebäude, in dem nur die Größe der Räume variert. Die Trennwände und die Seitenwände sind für

alle Räume gleich

A4-2.3 The direct sound transmission through the separating wall

In all these methods, regardless whether simplified or complete, the expression of the direct transmission of noise from one room to the neighbouring room is the same (see chapter A4-2.2.3).

If one uses the notion of the normalised acoustic insulation: D_n (direct) = $R - 10 \log (S/10) dB$.

If one uses the notion of the standardised acoustic insulation: D_{nT} (direkt) = R + 10 log (0,32 V/S) dB.

A4-2.3.1 The influence of the dimensions of the reception room

For the normalised acoustic insulation it is the surface of the separating wall, which the two rooms have in common, that is important.

On the other hand, for the standardised acoustic insulation, it is the ratio V/S of the volume V of the reception room in m³ to the surface S of the separating wall common to both rooms in m². Where the rooms are exactly adjacent or above one another, the ratio V/S is directly related to the depth of the reception room, taking perpendicularly from the separating wall.

Example:

Figure 4 represents a vertical cut through a building where only the size of the rooms varies. The separating walls and the lateral walls are the same for all the rooms.

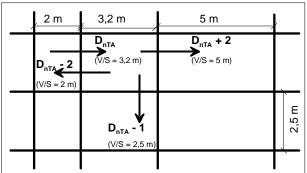


Bild 4: Standard-Pegeldifferenz (D_{nTA}) als eine Funktion der Abmessungen des Empfangsraumes. Im Prinzip hängt er vom Verhältnis des Volumens zur Oberfläche der Trennwand, die beide Räume gemeinsam haben, ab (V/S)

Das Beispiel zeigt, dass die Standard-Schalldämmung D_{nTA} sich um 4 dB unterscheiden kann, wenn man entweder den kleinsten oder den größten der möglichen Empfangsräume betrachtet.

Andererseits ist die Norm-Schalldämmung dieselbe, wenn man die waagerechte Dämmung (die Flächen der Trennwände sind identisch) betrachtet und sie unterscheiden sich um 4 dB, wenn man die vertikale Schalldämmung betrachtet (Bild 5).

Figure 4: Standardised level difference (D_{nTA}) as a function of the dimensions of the reception room. It depends principally on the surface of the separating wall between the two rooms (V/S)

The example shows that the standardised acoustic insulation D_{nTA} can vary by 4 dB when one considers the smallest possible or, respectively the largest possible reception room.

On the other hand, the normalised acoustic insulation is the same when one considers the horizontal insulation (the surfaces of the separating walls are identical) and vary by 4 dB if one considers the vertical acoustic insulation (Figure 5).

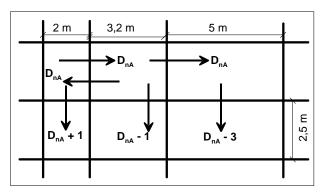


Figure 5:

Bild 5: Norm-Pegeldifferenz (D_{nA}) als eine Funktion der Abmessungen des Empfangsraumes. Sie hängt im Prinzip von der Fläche der Trennwände zwischen den beiden Räumen ab

tion of the dimensions of the reception room. It depends principally on the surface of the separating wall between the two rooms

Normalised level difference (D_{nA}) as a func-

Diese Abweichung der direkten Übertragung durch die Trennwände in Abhängigkeit von den Abmessungen des Empfangsraumes muss für eine rasche Überprüfung benutzt werden, wenn es darum geht, ob die durch eine Vorschrift oder einen Vertrag in einem Gebäude verlangte Schalldämmung durch die Planungsleistungen der Trennwand erreicht werden kann.

This variation of the direct transmission through the separating wall with the dimensions of the reception room must be used for the rapid verification, whether in a building the acoustic insulation required by the regulation or by the contract could be obtained with the design performance of the separating walls.

Für ein vorgegebenes Ziel der Norm-Schalldämmung ermittelt man, ob es durch eine Trennwand mit größtmöglicher Oberfläche erreicht werden kann. For eine Zielvorstellung in der Standard-Schalldämmung benutzt man die theoretische Leistung des Empfangsraumes mit der kleinsten Tiefe (V/S ist Minimum).

For a given objective of normalised acoustic insulation, one verifies whether it could be obtained by a separating wall of the largest possible surface. For an objective in standardised acoustic insulation, one uses the theoretical performance of the reception room of the smallest depth (V/S at a minimum).

Man könnte die Abweichung der Dämmung als eine Funktion der Abmessungen des Empfangsraumes auch benutzen, indem man die Leistungssteigerung durch Berücksichtigung der relativen Position des Sende- zum Empfangsraum benutzt.

One could also use the variation of the insulation as a function of the dimensions of the reception room by increasing the performance with a consideration of the relative position of the emission and reception rooms to each other.

Das nachfolgende Beispiel zeigt, was passiert, wenn die Räume verschoben werden.

The following example demonstrates what happens when the rooms are shifted.

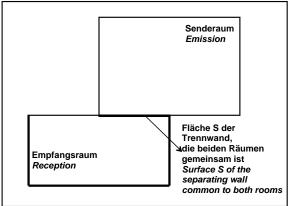


Bild 6:

Für "verschobene" Räume ist die Fläche S der Trennwand kleiner als die gesamte Wandfläche im Empfangsraum. Das Verhältnis V/S des Volumens im Empfangsraum zur Fläche der Trennwand, die beiden Räumen gemeinsam ist, ist größer als die Tiefe des Raumes. Die Standard- oder Norm-Dämmung zwischen den beiden Räumen ist größer, als wenn diese Räume direkt benachbart oder übereinander angeordnet wären

Figure 6:

For the rooms "shifted", the surface S of the separating wall is smaller than the total wall surface in the reception room. The relation V/S of the volume of the reception room to the surface of the separating wall, common to both rooms, is superior to the depth of the room. The standardised or normalised insulation between the two rooms is higher than in case of these two rooms being either adjacent to or directly on top of each other

A4-2.3.2 Der Einfluss des Schalldämmmaßes der Trennwand

A4-2.3.2 The influence of the sound reduction index of the separating wall

Zur Bestimmung dieses Schalldämmmaßes ist es nützlich, zum Kapitel A3-3 zurückzukehren.

To determine this sound reduction index, it is useful to return to chapter A3-3.

In diesem Dokument werden die Möglichkeiten angegeben, die Schalldämmmaße R einfacher Wände (durch Einbauelement gebildet wie Wände oder Böden aus Beton, Wände aus Blöcken oder Ziegelsteinen, Trennungen aus Putzelementen oder Zementsteinen), von Doppelwänden (aus mehreren einfachen Wänden gebildet, die durch Luftspalte oder Füllmaterialien getrennt sind) und Wände, die verkleidet sind, zu bestimmen, wobei die Ergebnisse mehr oder weniger günstig sind für die akustische Leistung von Wänden mit Verkleidung davor.

In this document, we give the possibilities to determine the sound reduction indices R of simple walls (formed by a single element such as the walls or floors of concrete, walls of blocks or bricks, the separations of plaster elements or of plaster bricks), double walls (formed by several simple walls separated by air cavities or by soft materials) and walls equipped with a lining complex, with the consequences more or less favourable for the acoustic performance of the wall with the lining in front.

A4-2.4 Die Übertragung durch seitliche Wände

A4-2.4 The transmission by lateral walls

Wenn man die Abmessungen der Räume kennt (aus der Zeichnung zu entnehmen) und die Natur der Trennwände (Baubeschreibung), kann man die direkte Übertragung zwischen den Räumen bestimmen.

Knowing the dimensions of the rooms (study of the drawings) and the nature of the separating walls (see the description), one has the means to determine the direct transmission between the rooms.

Als nächstes muss man die seitliche Übertragung bestimmen, die, wie wir uns erinnern, einem Dutzend Übertragungswegen entspricht, da es drei Übertragungswege pro Verbindung gibt.

Eine Vorhersagemethode, die alle Übertragungswege berücksichtigen würde, war das Ziel einer kürzlich durchgeführten Studie, die in der europäischen Norm EN 12354-1 niedergelegt

Wegen der Komplexität des Problems, das für Nichtspezialisten schwer zu meistern ist, erschien es notwendig, einen praktischen Ansatz zu entwickeln, der ausreichend einfach wäre, um durch Designer mit einer zumindest fundamentalen Kenntnis akustischer Zusammenhänge benutzt zu werden.

Was tat man vor der Einführung von Computerprogrammen?

Man besaß eine vereinfachte Methode, die auf der statistischen Bewertung von Messergebnissen beruhte. Diese Methode könnte weiterhin benutzt werden, wenn sichergestellt wäre, dass die zu untersuchenden Raumbedingungen dieselben wären wie diejenigen, die zur Entwicklung dieser vereinfachten Methode benutzt wurden.

Vereinfachte Methode: Statistische Bewertung A4-2.4.1 des Schalldämmverlustes als Ergebnis seitlicher Übertragungen

Diese Methode wurde in den 60ern für Wohngebäude entwickelt, zu einer Zeit also, als traditionell zu isolierende Räume durch einfache und schwere Wände getrennt waren, die keine akustischen Beschichtungen hatten und die starr mit den Seitenwänden verbunden waren, diese ihrerseits entweder einfach oder doppelt, schwer oder leicht, mit Beschichtungen bedeckt oder nicht.

Die Gleichungen, die man benutzt, um die Schalldämmung abzuschätzen, sind diejenigen aus Kapitel A4-2.2.3.

$$D_{nA} = R_A - 10 \log (S/10) - T_f$$
 in dB

$$R'_A = R_A - T_f$$
 in dB

des Massegesetzes (siehe Kapitel A3-3 in Dokument A3). Bezüglich des Dämmverlustes wegen der Flankenübertragungen T_f hat die Bewertung einer großen Zahl von Messergebnis-

sen die folgende Einschätzung ermöglicht:

Wenn die Trennwände einfach und schwer sind mit einem

Flächengewicht m., bewertet man ihr Schalldämmmaß mit Hilfe

- Wenn die seitlichen Wände schwer sind: T_f = 5 dB (die Flankenübertragungen sind zweimal so wichtig wie die direkte Übertragungen).
- Wenn die seitlichen Wände leicht und starr sind, wie z. B. Wände aus Zementblöcken oder dünnen Ziegeln, verbunden mit der Trennwand, muss man den Dämmverlust von 1 dB für jeweils 10 m² solcher Wände hinzufügen.

 $T_f = 5 + S_r / 10$,

wobei S_r die Fläche in m² der leichten und starren seitlichen Wand ist, die im Empfangsraum mit der Trennwand verbunden

Mit der Trennwand verbundene Wabenwände führen zu keinerlei Dämmverlust und können bei der Kalkulation von S, unberücksichtigt bleiben.

Wenn die seitliche Wand mit einem akustisch wirkungslosen Material beschichtet ist, wie z. B. EPS, XPS oder Polyurethan-Hartschaum, wird die Oberfläche dieser Beschichtung berücksichtigt, um Sr in der vorangegangenen Gleichung zu ermitteln.

One now needs to examine the lateral transmissions which, let us remember, correspond to a dozen transmission paths as a result of three paths per junction.

The prediction methods envisaging the calculation of all transmission paths have been the aim of a recent study which was laid down in the European standard EN 12354-1.

Due to the complexity of the problem, which is difficult to master for people not specialised on building acoustics, it appeared to be necessary to develop a practical approach sufficiently simple for the use by designers having at least a basic knowledge of acoustics.

How did one do before the introduction of computer software?

One possessed a simplified method, based on the statistical exploitation of measurement results. This method could still be used on the condition that the room configurations to be studied would be the same as those which allowed for their establishment.

A4-2.4.1 Simplified method: Statistical evaluation of the sound reduction loss resulting from lateral transmissions

This method has been established in the 60s for residential buildings, in an era when the buildings traditionally consisted of simple and heavy separating walls between rooms that needed isolation, not covered by acoustic reinforcement and rigidly linked to lateral walls, being either simple or double, heavy or light, covered or not with linings.

The equations used to appreciate the acoustic insulation are those given in chapter A4-2.2.3.

$$D_{nTA} = R_A + 10 \log (0.32 \text{ V/S}) - T_f \text{ in dB}$$
 (17)

$$D_{nA} = R_A - 10 \log (S/10) - T_f \text{ in dB}$$
 (18)

$$R_A - T_f$$
 in dB (19)

The separating walls being simple and heavy of a surface weight m, one evaluates their sound reduction index with the aid of the law of mass (see chapter A3-3 of document A3).

Regarding the insulation loss T_f due to flanking transmissions, the exploitation of a great number of measurement results has allowed for the following assessment:

- If the lateral walls are heavy: $T_f = 5 \text{ dB}$ (the flanking transmissions are two times as important as the direct transmissions).
- If the lateral walls are light and rigid, such as walls linked to the separating wall made of plaster blocks or thin bricks, one needs to add an insulation loss of 1 dB per 10 m2 of such walls.

where S_r is the surface in m² of the light and rigid wall linked to the separating wall in the reception room.

Honeycomb walls linked to the separating wall do not create any insulation loss and are disregarded when calculating S_r.

In case a lateral wall is coated by a material which is acoustically ineffective, such as EPS, XPS or polyurethane rigid foam, the surface of the coating is taken into account when calculating S_r in the preceding equation.

Wenn die seitliche Wand mit einer Beschichtung versehen ist, die ihr Schalldämmmaß verbessert, wie z. B. eine Kombination aus Mineralwolle oder elastischem Polystyrolschaum mit einer Gipsplatte, wird der seitliche Dämmverlust um N dB gemindert, wobei N die Zahl der Seitenwände ist, die von diesen Kombinationen bedeckt ist.

In case the lateral wall is covered by a lining improving the sound reduction index of its support, such as a composite with mineral wool or elastified polystyrene foam and a gypsum coat, the lateral insulation loss is decreased by N dB, N being the number of the lateral walls covered by these composites.

Das führt zu einer allgemeinen Gleichung, die offenbar mehr ein praktisches Rezept als eine wissenschaftliche Berechnung darstellt: This leads to a general equation which is apparently more a practical recipe than a scientific calculation:

$$T_f = 5 + S_r / 10 - N$$
 in dB

Nachstehend geben wir Beispiele für die Benutzung dieser Gleichung und machen auf die Grenzen ihrer Aussagekraft aufmerksam.

Below we are giving examples of the use of this equation and we demonstrate the limits of its validity.

A4-2.4.2 Die Grenzen der vereinfachten Methode

Diese Grenzen zeigen sich bereits durch die Betrachtung des folgenden Beispiels:

A4-2.4.2 The limits of the simplified method

These limits will reveal themselves through the study of the following examples:

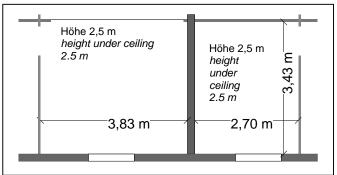


Bild 7: Zeichnung von zwei benachbarten Räumen in verschiedenen Wohnungen

Figure 7: Sketch of two adjacent rooms of different flats

In diesem Fall sollte man die Standard-Pegeldifferenz zwischen den Wohnungen mit 50 dB ermittelt haben, was den akustischen Vorschriften zurzeit der Errichtung entspricht.

schen Vorschriften zurzeit der Errichtung entspricht.

Hier sind zwei benachbarte Räume, getrennt durch eine 20 cm dicke Ziegelwand, auf beiden Seiten mit Putz bedeckt. Die

die Innenwände der Wohnung, die mit der Trennwand verbunden sind, aus 5 cm Hohlziegeln gemacht, die Böden sind 14 cm Beton.

Diese allgemeine Beschreibung gibt den Konstruktionstyp

wieder, der als Basis für die Entwicklung der oben stehenden

Fassade ist ebenfalls 20 cm Ziegel. In beiden Wohnungen sind

Um dieses Beispiel einfach zu machen, berechnen wir nur die Standard-Pegeldifferenz.

In this operation, one should have obtained a standardised level difference between the flats of 50 dB, to be in conformity with the acoustic regulations at the time of that construction.

These are two adjacent rooms, separated by a brick wall of 20 cm thickness, covered by plaster on both sides. The façade is also of 20 cm bricks. In each of these flats, the internal wall of the flat linked to the separating wall are made of thin hollow bricks of 5 cm, the floors are of 14 cm concrete.

This general description reflects well the type of construction that has served as the basis for the establishment of the equation above.

In order to make this example easy, we calculate only the standardised level difference.

$$D_{nTA} = R_A + 10 \log(0.32 \text{ V/S}) - T_f \text{ in dB mit / with } T_f = 5 + S_f / 10 - N \text{ in dB}$$
 (20)

Um das Schalldämmmaß $R_{\rm A}$ der Trennwand zu erhalten, benutzen wir das Massegesetz.

 $R_A = (40 \log m) - 47$, mit $m = 0.20 \cdot 1250 = 250 \text{ kg/m}^2$ (das Volumengewicht der Ziegel ist 1250 kg/m³).

Also,
$$R_A = 49 \text{ dB}$$
.

Gleichung gedient hat.

Auf der Zeichnung im Bild 7 entspricht das Verhältnis V/S der Tiefe d des Empfangsraumes, da die Räume genau benachbart sind ($V = S \cdot d$). Die Schalldämmung ist umso höher, je stärker sich die Raumtiefe auswirkt. Der ungünstigste Fall ist derjenige mit dem kleinstmöglichen Raum, für den das Verhältnis V/S gleich 2,7 m ist.

Für diesen erschließt sich aus 10 log (0,32 V/S) = -0,6 dB.

To obtain the sound reduction index R_{A} of the separating wall, we use the mass law.

 $R_A = (40 \log m) - 47$, with $m = 0.20 \cdot 1250 = 250 \text{ kg/m}^2$ (the weight per volume of the bricks is 1250 kg/m³).

Thus,
$$R_A = 49 \text{ dB}$$
.

On the sketch in Figure 7, the relation V/S equals the depth d of the reception room, since the rooms are exactly adjacent to each other ($V=S\cdot d$). The acoustic insulation is the higher, the more important the depth of the room is. We consider the least favourable case, that of the smallest possible room for which V/S is equal to 2,7 m.

For this one deduces $10 \log (0.32 \text{ V/S}) = -0.6 \text{ dB}$.

Es gibt keine Seitenwände, die mit der Abdeckung auf Mineralwollebasis verkleidet sind. Deswegen N=0.

Ganz im Gegenteil, im Empfangsraum ist eine leichte und starre Ziegelwand mit der Trennwand verbunden: Eine innere Wand aus Zementsteinen mit einer Oberfläche von $2.7 \cdot 2.5 \text{ m}^2$, was $S_r/10 = 0.7 \text{ m}^2$ ergibt.

Die vorhersagbare Standard-Pegeldifferenz ist dann wie folgt:

There are no lateral walls covered by a composite on the basis of mineral wool. Therefore, N=0.

On the contrary, in the reception room there is a light and rigid masonry wall linked to the separating wall: An internal wall of plaster bricks with a surface of $2.7 \cdot 2.5 \text{ m}^2$, which gives $S_r/10 = 0.7 \text{ m}^2$.

The foreseeable standardised level difference is then the following:

$$D_{nTA} = 49 - 0.6 - 5 - 0.7 + 0 = 42.7 \text{ dB}$$
, gerundet auf / rounded to 43 dB (21)

Das Ergebnis der Messung nach Bild 8 entspricht einem Einzahlwert für die Standard-Schalldämmung von 42 dB, ein Wert sehr in der Nähe der Voraussage, aber weit von dem erwarteten Wert entfernt.

The result of the measurement given in Figure 8 corresponds to a single-number value of standardised acoustic insulation of 42 dB, a value quite near to the forecast, but far from the expected value

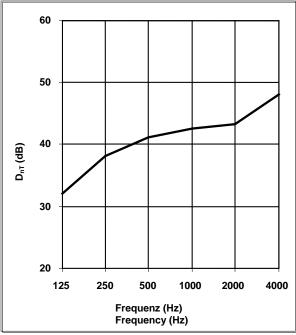


Bild 8: Ergebnis der gemessenen Standard-Pegeldifferenz D_{nT} als Funktion der Frequenz

Figure 8: Result of the measured standardised level difference D_{nT} as a function of the frequency

Der Designer hätte vor Arbeitsbeginn feststellen müssen, dass die vorhersehbare Leistung zu einer schwerwiegenden Abweichung führte. Unglücklicherweise hat niemand die Berechnung durchgeführt, die wir gerade gezeigt haben.

Unabhängig vom Grund war es nötig, die Dämmung zu verbessern. Um dies zu erreichen, hat der Designer in der Annahme, er könne das Problem so lösen, eine Verbundabdeckung auf die Zwischenwand gebracht, die aus 5 cm Mineralwolle und einer Gipskartonplatte bestand.

Die Bewertung der Effektivität eines solchen Systems ließ die Annahme einer Verbesserung zu.

The designer should have stated before starting the work that the performance foreseen led to a grave non-conformity. Sadly, nobody made the calculation which we did just perform.

Whatever the reason, it was necessary to improve the insulation. To do this, the designer, believing he could master the problem in this way, put a composite coverage on the separating wall, which was composed of 5 cm mineral wool and a plaster board.

The evaluation of the efficiency of such system allowed to hope for an improvement.

$$\Delta R = 30 - R_A / 2 = 30 - 24,5 = 5,5 \text{ dB}$$
 (siehe auch Tabelle 3 in Dokument A3 / see also Table 3 in document A3) (22)

Das Ergebnis der Messung mit einer Standard-Pegeldifferenz von 45 dB war dagegen enttäuschend. Es wurde deswegen entschieden, die erste Wandauflage durch einen Prozess zu ersetzen, den man für wirkungsvoller hielt, bestehend aus einer Gipskartonplatte auf einem Metallrahmen, ohne Verbindung zur Wand und mit 80 mm Mineralwolle. In diesem Fall, $\Delta R = 35 - R_{\text{A}} \, / \, 2 = 10,5 \, \text{dB}$. Das Ergebnis war 46 dB!

But the result of the measurement had been disappointing with a standardised level difference of 45 dB. It has therefore been decided to replace the first cover by a process thought more effective, composed by a plaster board mounted on a metallic frame, disconnected from the wall, and 80 mm of mineral wool. In this case, $\Delta R = 35 - R_A / 2 = 10.5$ dB . The result was 46 dB!

Wenn man jedoch die Voraussageformel benutzt, hätte eine Dämmung von 51 dB erreicht werden müssen. Tatsächlich aber wird in dieser Gleichung nur das Schalldämmmaß der Trennwand durch die Auflage verändert. Der Ausdruck V/S ändert sich nicht, da die Bedeckung in dem größeren der beiden Räume, dem Senderaum, angebracht worden war, veränderte sich die Seitenübertragung nicht, da die Fläche der leichten und starren Seitenwände gleich geblieben war. Die vorhersagbare Dämmung bei dieser Methode ist daher 42,7 + 10,5 = 53,2 dB , was eine Abweichung von 7,2 dB vom Ergebnis der Messung darstellt.

Diese Vorhersagemethode hätte tatsächlich nicht benutzt werden dürfen, da die Trennwand abgedeckt wurde.

Sie dennoch zu benutzen, beinhaltet die Annahme, dass die Abdeckung der Trennwand denselben Effekt auf die seitlichen Übertragungen haben würde wie auf die direkte Übertragung. Tatsächlich beeinflusst die Abdeckung der Trennwand nur einen der drei Seitenübertragungswege an jeder Verbindung (siehe Bild 9). Die beiden anderen bleiben unverändert.

However, if one uses the formula for prediction, an insulation of 51 dB has been achieved. In effect, in this formula, only the acoustic attenuation index of the separating wall is modified by the coverage. The term V/S is not changed, since the coverage had been placed in the larger of the two rooms, the emission room, the lateral transmissions had not changed since the surface of the light and rigid lateral wall had remained the same. The foreseeable insulation is therefore $42.7 + 10.5 = 53.2 \, \text{dB}$, which is a deviation of $7.2 \, \text{dB}$ from the result of the measurement.

In fact, this prediction method should not have been used since the separating wall was covered.

To use it nevertheless, amounts the presumption that the covering of the separating wall would have the same effect on the lateral transmissions as on the direct transmission. In reality, the coverage of the separating wall only affects one of the three lateral transmission paths at each junction (see Figure 9). The two others remain unchanged.

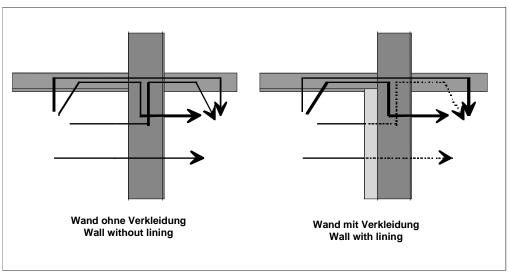


Bild 9:

Die Abdeckung der Trennwand beeinflusst nur einen von drei Übertragungswegen über die Seitenwände Figure 9: The coverage of the separating wall only influences one of the three transmission paths via the lateral wall

In diesem Fall entspricht die direkte Übertragung 48,4 dB (49 – 0,6) und der Übertragungsverlust durch Seitenübertragungen entspricht 5,7 dB.

Ein analytischer Ansatz bezüglich des vorhersagbaren Ergebnisses nach Abdeckung der Trennwand könnte möglicherweise wie folgt aussehen:

Die Schalldämmung vor der Abdeckung (42,7 dB) ist das Ergebnis einer direkten Schalldämmung $D_{\rm d}$ als Folge der Übertragung durch die Trennwand und die seitliche Schalldämmung $D_{\rm lat}$ als Folge der Summe der verschiedenen Übertragungen über die seitlichen Wände.

In this case, the direct transmission corresponds to 48,4 dB (49-0.6) and the loss due to lateral transmissions is equal to 5.7 dB.

An analytical approach to the foreseeable result after covering of the separating wall could possibly be the following:

The acoustic insulation before the coverage (42,7 dB) is the result of a combination of direct acoustic insulation D_d due to the transmission through the separating wall and a lateral acoustic insulation D_{lat} due to the sum of the different transmissions via the lateral walls.

$$D_d = R_A + 10 \log (0.32 \text{ V/S}) = 49 - 0.6 = 48.4 \text{ dB}$$
 (23)

$$D_{nTA} = -10 \log \left(10^{\left(-D_{lat}/10\right)} + 10^{\left(-D_{lat}/10\right)} \right) = 42,7 \text{ dB}$$
 (24)

(mit niedrigerem Ergebnis / expected value below)

Daher kann man Folgendes schließen:

$$D_{lat} = -10 log \left(10^{-4,27} - 10^{-4,84}\right) = 44 dB \ .$$

Thus, one deduces:
$$D_{lat} = -10 \log \left(10^{-4,27} - 10^{-4,84} \right) = 44 \text{ dB}$$
.

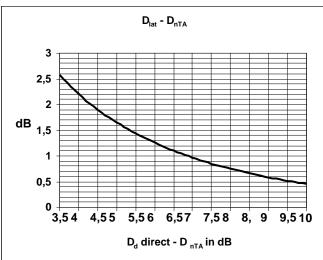


Bild 10: Bestimmung von D_{lat} (entspricht allen Flankenübertragungen), wenn D_d (direkter Pegelunterschied) und D_{nTA} (Endergebnis) bekannt sind

Die seitliche Dämmung ist eine Kombination von drei seitlichen Dämmungen (die drei Übertragungswege der Seitenübertragungen). Wenn man von der Hypothese ausgeht, dass die drei seitlichen Übertragungen identisch wären (das ist die einzig mögliche Hypothese, wenn man keine exakten Unterscheidungen treffen kann), dann wäre jede der seitlichen Übertragungen wie folgt:

Figure 10: Determination of D_{lat} (corresponding to all flanking transmissions) when D_d (direct level difference) and D_{nTA} (final result) are known

This lateral insulation is a combination of three lateral insulations (the three paths of flanking transmissions). If one forms the hypothesis that the three lateral insulations are identical (this is the only possible hypothesis without making exact calculations), each of the lateral insulations should be:

$$D_{lat1} = D_{lat2} = D_{lat3} = 44 + 10 \log 3 = 44 + 4.8 = 48.8 dB$$
 (25)

Wenn die Abdeckung auf der Trennwand das Schalldämmmaß um 5,5 dB erhöhen würde, wäre die gesamte Standard-Schalldämmung anschließend das Ergebnis einer Kombination der vier unten stehenden Dämmungen:

direkte Dämmung, $D_d + 5.5 = 53.9 dB$

Seitendämmung 1, $D_{lat1} = 48.8 + 5.5 = 54.3 \text{ dB}$

Seitendämmungen 2 und 3, durch die Abdeckung nicht geändert, $D_{lat2} = D_{lat3} = 48.8 \ dB$

Die Abschätzung der gesamten Standard-Schalldämmung nach Abdeckung der Trennwand ist daher:

$$D_{nTA} = -10 log \bigg(10^{-5,39} + 10^{-5,43} + 10^{-4,88} + 10^{-4,88} \bigg) = 44,7 \ dB \ ,$$

was nahe an den tatsächlich gemessenen 45 dB liegt.

If the coverage placed on the separating wall would increase the acoustic attenuation index by 5,5 dB, the overall standardised acoustic insulation is the result of a combination of the four insulations below:

direct insulation, $D_d + 5.5 = 53.9 dB$

lateral insulation 1, $D_{lat1} = 48.8 + 5.5 = 54.3 dB$

lateral insulations 2 and 3, not changed by the coverage, $D_{lat2} = D_{lat3} = 48.8 \text{ dB}$

The estimate of the overall standardised acoustic insulation after the coverage of the separating wall, therefore is:

$$D_{nTA} = -10 \log \left(10^{-5,39} + 10^{-5,43} + 10^{-4,88} + 10^{-4,88} \right) = 44,7 \text{ dB}$$
,

which is a value close to the 45 dB actually measured.

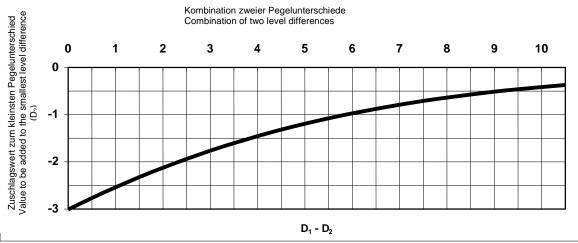


Bild 11: Zuschlagswert zum kleineren Pegelunterschied D_2 , wenn zwei Pegelunterschiede D_1 und D_2 kombiniert werden müssen

Figure 11:

Quantity to be added at the smaller level difference D_2 , when two level differences D_1 and D_2 have to be combined

Die Benutzung der oben erwähnten Computersoftware erlaubt es, eine relativ komplexe Berechnung zu vermeiden.

Nichtsdestoweniger, um das Problem logisch anzugehen, hat man auf jeden Fall Veranlassung, eine Übersicht der verschiedenen Übertragungswege, wie z. B. im Bild 9, anzufertigen.

Dieses Beispiel zeigt, dass die vereinfachte Methode Ergebnisse ganz in der Nähe der Messergebnisse gibt, so weit man auf dem Gebiet der Konstruktionen mit einschaligen, schweren, unbeschichteten Trennwänden zwischen akustisch zu isolierenden Räumen bleibt. Sobald die Trennwände zweischalige Wände sind oder Leichtbauwände, kann die vereinfachte Methode nicht mehr angewendet werden. Es ist gleichwohl erwähnenswert, dass ihr Anwendungsbereich mehr als 80 % der tatsächlich in Wohngebäuden oder Hotels vorkommenden Fälle abdeckt. In Schulgebäuden, Krankenhäusern oder Büros andererseits ist die erforderliche Schalldämmung oft minimal, die Böden und Fassaden sind häufig aus statischen Gründen schwer und die voraussehbare Schalldämmung ist häufig nahe der direkten Schalldämmung der Trennwand, deren Schalldämmmaß oft unterhalb desjenigen der Seitenwände liegt.

A4-2.4.3 Berechnung der Flankenübertragungen

Die Berechnungsmethode wird in der Norm EN 12354-1 beschrieben.

Um eine Vorstellung von der Schwierigkeit der benötigten Berechnungen zu geben, benutzen wir das Beispiel von seitlichen Übertragungen an einer Verbindung zwischen zwei schweren Wänden, die ein "T" oder ein "X" bilden.

In all diesen Fällen nimmt die normalisierte seitliche Dämmung $D_{n,i,j}$ die folgende Form an, wenn man die Flankenübertragungen der Wand i zu denjenigen der Wand j in Beziehung setzt:

$$D_{n,i,j} = (R_i + R_j)/2 + \Delta R_i + \Delta R_j + D_{v,i,j} - 10 \log (S_i S_j)^{1/2}/A_0$$
 (26)

wobei R_i und R_j die Schalldämmmaße der Wände i und j sind. ΔR_i und ΔR_j sind die Wirkungen der Abdeckungen, die auf den Übertragungswegen durch die Wände i und j angebracht wurden. $D_{v,ij}$ ist die Vibrationsdämmung an der Verbindung. S_i und S_j sind die Flächen der Wände i und j. A_0 ist äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche (10 m²).

Mit $D_{v,ij} = K_{ij} - 10 \log \left(I_{ij} / \left(S_i \ S_j \right)^{1/2} \right)$ in dB, wobei K_{ij} das Stoßstellendämmmaß an der Verbindung ist und I_{ij} die Länge der Verbindung in m.

The use of the computer software explained earlier allows to avoid a relatively complex calculation.

Nevertheless, to approach the problem logically, one has every reason to make a sketch of the different transmissions, such as the one in Figure 9.

This example shows that the simplified method gives results quite near to those actually measured, as long as one remains in the area of constructions with single, heavy and non-covered separating walls between the rooms which must be isolated. Once the separating walls are double walls or once they are light, the simplified method cannot be used. Let us nevertheless mention that its area of application covers more than 80% of the actual cases in residential buildings or hotels. On the other hand, in school buildings, hospitals and offices, the required acoustic insulation is frequently very light, the floors and facades are frequently heavy for structural reasons and the foreseeable acoustic insulation is frequently near the direct acoustic insulation in the separating wall, the acoustic attenuation index of which is frequently lower than the one of the lateral walls.

A4-2.4.3 Calculation of flanking transmissions

The calculation method is described in the standard EN 12354-1

In order to give an idea of the difficulty to the calculations needed, we give the case of lateral transmissions at a junction between two heavy walls, forming an "T" or an "X".

In all these cases, if one considers the flanking transmissions of the wall I versus the wall j, the normalised lateral insulation $D_{n,i,j}$ takes the form of:

where R_i and R_j are the sound reduction indices of the walls i and j. ΔR_i and ΔR_j are the efficiencies of the coverages met at the transmission path via the walls i and j. $D_{v,ij}$ is the vibration insulation at the junction. S_i and S_j are the surfaces of the walls i and j. A_0 is the reference equivalent absorption area (10 m²).

With $D_{v,ij} = K_{ij} - 10 \log \left(I_{ij} / \left(S_i \; S_j \right)^{1/2} \right)$ in dB, where K_{ij} is the vibration attenuation index at the junction and I_{ij} the length of the junction in m.

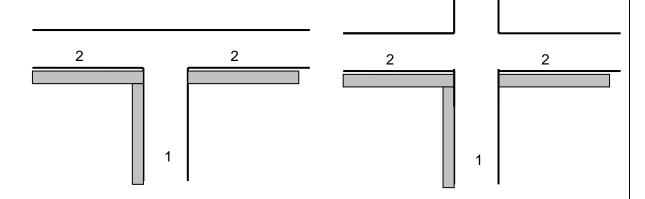


Bild 12: Typen von Wandverbindungen

Beispiel der "T"-Verbindung

 $K_{2,2}=6.7+14.1\,M+5.7\,M^2\,,$ wobei $\,M=\log{(m_1/m_2)}\,,\,\,m_1\,$ und $\,m_2$ sind die Flächengewichte der Wände 1 und 2 in $kg/m^2\,$ (Index 1 ist derjenige der Trennwand, senkrecht auf der Seitenwand).

Figure 12: Types of junctions

Example of the "T" junction

 $K_{2,2}=6.7+14.1\,M+5.7\,M^2$, where $M=log\,(m_1/m_2)$, m_1 and m_2 being the surfaces masses of the walls 1 and 2 in kg/m² (index 1 is the one of the separating wall, perpendicular to the lateral wall).

$$K_{1,2} = K_{2,1} = 6.7 + 5.7 \ M^2$$

Beispiel einer "X"-Verbindung

Example of an "X" junction

$$K_{2,2} = 8.7 + 17.1 M + 5.7 M^2$$

 $K_{1,2} = K_{2,1} = 8.7 + 5.7 M^2$

Note:

Anmerkung:

Im informativen Anhang E der Norm EN 12354-1 wird der Unterschied zwischen den konstanten Ausdrücken Kij für Verbindungen in "T"-Form oder für Verbindungen in "X"-Form mit 3 dB angegeben, obwohl er gemäß obiger Gleichungen nur 2 dB beträgt. Tatsächlich ist aber, wenn man alle Übertragungswege von akustischer Energie betrachtet, die vom Schalldruck im Senderaum benutzt werden, die Zahl der Übertragungswege in einer T-Verbindung gleich zwei Dritteln der Zahl der möglichen Übertragungswege in einer X-Verbindung. Dies würde einen Unterschied von 1,8 dB rechtfertigen (das ist 10 log von 3/2), was in der Nähe der 2 dB zwischen den beiden Stoßstellendämmmaßen liegt. Dieser Unterschied von 2 dB muss durch Messungen dieser Indizes bestätigt werden. Dies zeigt, dass man die Werte, die im informativen Anhang der Norm angegeben werden, als Bezugsgrößen, aber nicht als bestätigte Werte betrachten sollte

In the informative annex E of the standard EN 12354-1, the difference between the constant terms K_{ij} for the junctions in "T" form or in "X" form is 3 dB, despite the fact that in the above formulae it is only 2 dB. In effect, if one considers all the transmission paths for acoustic energy being used by the same sound pressure in the emission room, the number of transmission paths in a T junction is equal to two thirds of the number of possible transmission paths in an X junction. This would justify a difference of 1,8 dB (this being 10 log of 3/2) which is near the 2 dB between the two vibration attenuation indices. This difference of 2 dB has been confirmed by the measurement of these indices. This shows that one should consider the values given in the informative annex of the standard as reference values and not as certified values.

Wenn man die vier Verbindungen, die man normalerweise in der Realität antrifft, betrachtet, erkennt man, dass eine vollständige Berechnung der Schalldämmung lang und kompliziert ist. Aus diesem Grund scheint es vorteilhaft, einen Ansatz zu wählen, der eine schnelle und automatische Berechnung erlaubt. Eine der Bedingungen, die beide o. g. Ansätze respektieren, ist, dass die Summe der Eingangsgrößen dieser Gleichung nicht zu groß wird. Für diese Ansätze genügt es, die Abmessungen der Räume anzugeben (den Zeichnungen zu entnehmen) und die Dicke und den Aufbau der betroffenen Wände (der Baubeschreibung zu entnehmen). Die Basis für den Eingang dieser Elemente in die Gleichung reicht aus, um ca. 90 % der tatsächlich vorkommenden Fälle abzudecken. Für die verbleibenden 10 % ist es möglich, diese Berechnungsbasis zu komplettieren, indem man die Eigenschaften der fehlenden Elemente einträgt.

If one considers the four junctions normally found in reality, one realises that a complete calculation of acoustic insulation is long and cumbersome. This is why it appears to be preferable to use an approach which permits a fast and automatic calculation. One of the conditions respected by the two approaches cited above, is that the sum of entries for this formula is not too large. For these two approaches, it suffices to enter the dimensions of the rooms (see the design) and the nature and thickness of the walls considered (see the description of the construction). The basis for the entries of these elements into the formula is sufficient to cover about 90% of the cases actually occurring. For the remaining 10% it is possible to complete the basis of the calculation by the introduction of the characteristics of the missing elements.

Anders ausgedrückt, von großer Bedeutung für die Berechnung der 13 Übertragungswege zwischen zwei Räumen ist die Möglichkeit, eine Hierarchie zwischen diesen verschiedenen Wegen zu bilden und unmittelbar zu entscheiden, welche die Wesentlichen sind. Wenn die Schalldämmung als nicht ausreichend angesehen wird, ist es leicht zu entscheiden, welche der Wände verändert werden müssen.

Differently put, of great importance for the calculation of the 13 transmission paths between two rooms is the possibility to form a hierarchy between these different paths, and, immediately decide which of those are the most important ones. If the acoustic insulation foreseen is not sufficient, it is easy to determine which of the walls must be modified.

A4-2.4.4 Sonderfall leichter zweischaliger Trennwände

A4-2.4.4 Special case of light double-partition walls

Im Fall, dass die Trennwand eine leichte doppelschalige Wand ist, ist das Problem der Flankenübertragungen zwischen den Räumen komplizierter als im Fall einer schweren, einschaligen Trennwand. Bild 13 zeigt die verschiedenen Flankenübertragungswege, die gemessen werden müssen. Wenn die Seitenwände schlechtere Eigenschaften haben als die Trennwand, wird die Seitenübertragung vorherrschend und begrenzt die Schalldämmung.

In case the separating walls are double and light walls, the problem of flanking transmission between two rooms is more complex than in case of single and heavy separating walls. Figure 13 shows the different flanking transmission paths which need to be measured. If lateral walls have a weaker performance than the separating wall, the flanking transmission becomes preponderant and limits the acoustic insulation.

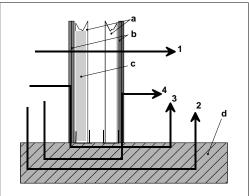


Bild 13: Verschiedene Übertragungswege bei zweischaligen Wänden

Die zweischalige Wand:

- a Rahmen
- b Gipskartonplatte
- c Mineralwolle

Die akustischen Übertragungen:

- 1 direkte Übertragung durch die Wand
- Übertragung in den Boden d auf der Sendeseite zu dem Boden auf der Empfangsseite
- Übertragung über den sendeseitigen Teil der Trennwand auf den Boden auf der Empfangsseite
- Übertragung vom Boden auf der Sendeseite zu dem empfangsseitigen Teil der Trennwand

In zwei Räumen mit einer Tiefe von 3,2 m zum Beispiel, die durch eine zweischalige Wand des Typs 160/110 getrennt sind (Index R_A oder R_W + C von 59 dB) und bei denen Boden und Decke aus 20 cm Beton und die Fassade aus 15 cm Beton mit einer Außendämmung bestehen (die keinerlei Einfluss auf die Schalldämmung zwischen den Räumen hat), entspricht die direkte Übertragung durch die Trennwand einer Standard-Schallpegeldifferenz von 59 dB, die Flankenübertragungen durch Decke, Boden und Fassade entsprechen einer Dämmung von 51,5 dB. Das führt zu einer gerundeten Schalldämmung von 51 dB. Der Ersatz der Trennwand durch eine bessere Wand, 200/150 (R_A = 64 dB), führt zu einer Schalldämmung von 52 dB. Wenn man die 200/150-Wand durch eine 240/190-Wand ersetzt, die ein Schalldämmmaß von 67 dB erlaubt, ergibt sich eine Gesamtdämmung von 52 dB. Tatsächlich bleiben die Flankenübertragungen gleich, wenn man das Schalldämmmaß der Trennwand durch Vergrößerung ihres Abstands verbessert, ohne jedoch die Elemente selbst zu ändern. Eine Verbesserung des gesamten Systems kann nur erreicht werden, wenn man sowohl die Leistung der Trennwand als auch diejenige der Seitenwände verbessert.

Auf diesem Gebiet ist eine Verbesserung des Systems nur möglich, wenn sehr komplexe Berechnungen angestellt werden oder durch Benutzung der mit den europäischen Vorhersagemethoden übereinstimmenden Ansätze.

A4-2.5 Störende Übertragungen

Wie oben erwähnt, such die akustische Energie alle Übertragungswege, die ihr erlauben, vom Sende- zum Empfangsraum zu gelangen. Wir haben die direkte Übertragung durch die Trennwand und die Seitenübertragung durch die Seitenwände, die die beiden akustisch voneinander zu trennenden Räume gemeinsam haben, betrachtet. Es gibt jedoch noch einen dritten Übertragungsweg. die störenden Übertragungen. Ein Beispiel dieser Übertragungsart ist das eines Lochs in der Trennwand. Selbst, wenn ein solches Loch nur 1/00000-tel der Wandfläche ausmacht, ist das Schalldämmmaß der durchbrochenen Wand auf 50 dB begrenzt und daher unvereinbar mit dem Versuch einer Schalldämmung zwischen den beiden Räumen von 53 dB oder 55 dB. Im Fall eines sichtbaren Durchbruchs ist die Lösung sehr einfach: Es genügt, das Loch so vollständig wie möglich zu verschließen.

ure 13: Different transmission paths with double walls

The double wall:

- a frame
- b gypsum board
- c mineral wool

The acoustic transmissions:

- 1 direct transmission through the wall
- 2 transmission in the floor d on the emission side to the floor on the reception side
- 3 transmission over the part of the separating wall on the side of the emission to the floor on the side of reception
- 4 transmission from the floor on the side of emission to the part of the separating wall facing the reception

For example, if two rooms of a depth of 3,2 m are divided by a separating wall on a double frame of the type 160/110 (index R_A or R_W + C of 59 dB) and if ceiling and floor are of 20 cm concrete and the façade is of 15 cm concrete with an outer insulation (which has no influence on the acoustic insulation between the rooms), the direct transmission through the separating wall corresponds to a standardised sound level difference of 59 dB, the flanking transmission through ceiling, floor and the facade to an insulation of 51,5 dB. This leads to a rounded acoustic insulation of 51 dB. The replacement of the separating wall by a wall of better performance 200/150 (R_A = 64 dB) leads to an acoustic insulation of 52 dB. If one replaces the wall 200/150 by a wall 240/190, which allows for a sound reduction index of 67 dB, the overall acoustic insulation is 52 dB. In effect, when improving the acoustic reduction index of the separating wall without changing the elements, but by increasing the gap between these elements, then the flanking transmission remains the same. An improvement of the entire system can only be achieved by improving the performance of both, the separating and the lateral walls.

In this area, the optimisation of systems cannot be achieved unless one makes a very complex calculation or by using the approaches conform with the European prevision methods.

A4-2.5 Parasitic transmissions

As we have said earlier, the acoustic energy seeks all the transmission paths allowing it to travel from the emission room to the reception room. We have examined the direct transmission through the separating wall and the lateral transmissions via the lateral walls which the two rooms to be isolated have in common. But there is a third type of transmission in existence: the parasitic transmissions. One example of this type of transmission is that of a hole in the separating wall. If this hole does represent only 1/1000000th of the wall, the acoustic attenuation index of the breached wall is limited to 50 dB, incompatible with the attempt of an acoustic insulation between the two rooms of 53 dB or 55 dB. In case of a visible breach, the solution is simple: It suffices to plug it as completely as possible.

Man kann zwei Typen von störenden Übertragungen unterscheiden:

Solche, die man voraussieht, wie durchgehende Rohre durch die Trennwand, Lüftungsschächte zwischen den Räumen verschiedener Wohnungen; Klimaanlagen an den Decken von Büros ohne akustische Sperre über der Trennwand nennt man "störende".

Solche, die unbeabsichtigt durch fehlende Sorgfalt oder unzureichende Aufmerksamkeit während der Bautätigkeit entstehen nennt man unerwünschte Übertragungen.

A4-2.5.1 Erwartete störende Übertragungen

Ein Beispiel für die Berechnung einer störenden Übertragung durch einen Kanal ist im Dokument A6 im Kapitel A6-2.3.5.1 beschrieben (siehe Bild 14).

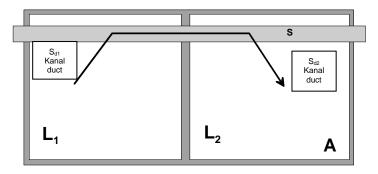
One can discern between two types of parasitic transmissions:

Those which are expected, such as passages of pipes through the separating wall, ventilation ducts between rooms of different flats; plenums at ceilings of offices without acoustic barriers over the separating walls are called "parasitic".

Those which are accidental through lacking precautions or through insufficient attention during the construction work are called spurious transmissions.

A4-2.5.1 Expected parasitic transmissions

One example for the calculation of a parasitic transmission by a duct is given in document A6 in chapter A6-2.3.5.1 (see Figure 14).



$$L_2 = L_1 - 2 R_d - 10 \log (S A / S_{d1} S_{d2}) - 3 + K_0$$
 (27)

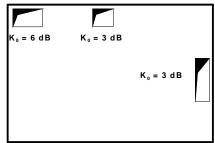


Bild 14: Die Konstante K₀ hängt von der Position des Kanals in der Trennwand ab

Figure 14:

The constant K₀ depends on the placement of the duct in the wall of the room

In diesem Beispiel führt die störende Übertragung durch den Kanal zu der folgenden Pegeldifferenz:

In this example, the parasitic transmission through the duct leads to the following level difference:

$$L_1 - L_2 = 2 R_d + 10 \log (S A/S_{d1} S_{d2}) + 3 - K_0$$
 (28)

Die Norm-Störpegeldifferenz ist

The normalised parasitic level difference is

$$D_{ne} = L_1 - L_2 - 10 log (A/10) = 2 R_d + 10 log (10 S/S_{d1} S_{d2}) + 3 - K_0$$

wobei L_2 der Abstrahlpegel durch den Kanal in den Empfangsraum ist, wenn ein Pegel L_1 im Senderaum abgestrahlt wird. R_d ist das Schalldämmmaß der Kanalwand (dB). S ist der Querschnitt des Kanals (m^2), A ist die äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum. S_{d1} und S_{d2} sind die Oberflächen des Kanals in den Räumen 1 und 2 (m^2). K_0 ist eine Konstante, die von der Länge des Kanals im Raum abhängt.

Nachdem diese Störpegeldifferenz bestimmt wurde, muss sie mit der Schalldämmung D_{n0} verknüpft werden, die ohne den Kanal herrschen würde. Die endgültige Schalldämmung D_n ergibt sich aus der nachstehenden Gleichung.

where L_2 is the level of radiation through the duct in the reception room in case a level L_1 is emitted in the emission room. R_d is the sound reduction index of the duct wall (dB). S is the cross-section of the duct (m²). A is the equivalent absorption area in the reception room. S_{d1} and S_{d2} are the surfaces of the duct in the rooms 1 and 2 (m²). K_0 is a constant which depends on the position of the duct in the room.

This parasitic level difference being determined, it needs to be combined with the acoustic insulation D_{n0} which would exist without the duct. The final acoustic insulation D_{n} is given by the subsequent equation.

$$D_{n} = -10 \log \left(10^{\left(-D_{n_{0}}/10\right)} + 10^{\left(-D_{n_{e}}/10\right)} \right) dB \tag{29}$$

Eine ähnliche Berechnung muss durchgeführt werden, wenn jeder der beiden akustisch zu isolierenden Räume ein Gitter oder eine Öffnung für Belüftungszwecke im selben Kanal aufweist (dieses Beispiel gilt z. B. bei Luftansaugöffnungen, um die Luft aus zwei übereinander gelagerten Küchen abzusaugen).

Die Norm-Schalldämmung durch die beiden Gitter wird im Labor gemessen. Die akustische Leistung ergibt sich dann in Form von D_ne .

A similar calculation is to be made once each of the rooms to be isolated has a grid or an opening for ventilation made in the same duct (this is e. g. the case with openings to extract the air of two kitchens placed on top of each other).

The normalised acoustic insulation via the two grids is measured in a laboratory. The acoustic performance is given in the form of $D_{\rm ne}$.

$$D_{ne} = L_1 - L_2 - 10 \log (A/10) dB$$
 (30)

Wenn man auf der Baustelle eine standardisierte Dämmung übernehmen muss, darf nicht übersehen werden, die "normierte" in eine "standardisierte" zu überführen.

Im Fall eines Empfangsraumes mit dem Volumen V (m³), ist $D_{nTe} = D_{ne} + 10 \log (V/30)$ dB (siehe Kapitel A4-2.2.3).

If on the site one needs to respect a standardised insulation, it must not be forgotten to make the transposition from "normalised" to "standardised".

In case of a reception room of the volume V (m³), $D_{nTe} = D_{ne} + 10 \log (V/30) dB$ (see chapter A4-2.2.3).

A4-2.5.2 Zufällige störende (unerwünschte) Übertragungen

Hiervon gibt es mehrere Beispiele, meistens durch Baumängel verursacht. Manche dieser unerwünschten Übertragungen sind schwer zu finden oder auch nur zu erahnen, wenn das Gebäude fertig ist.

Zu den häufigsten gehören Steckdosen, die Rücken an Rücken in der Trennwand angebracht sind, schlecht verschlossene Löcher der Stege zwischen den Schalungsbrettern bei gegossenen Betonwänden, fehlende Luftdichtigkeit zwischen Wänden und Fassade, Fehler, die bei Innendämmungen häufig durch Wärmedämmmaßnahmen verdeckt sind.

In all diesen Fällen werden die unerwünschten Übertragungen deutlich, wenn man die Ergebnisse von nach Fertigstellung erfolgten akustischen Messungen mit den erwarteten Werten der ursprünglichen Berechnung vergleicht. Ergeben sich Ergebnisse, die deutlich schlechter sind als die Vorhersagen, muss man zunächst die ursprüngliche Berechnung überprüfen, und wenn keine Fehler gefunden werden, muss man auf der Baustelle eine Diagnose stellen, um die Gründe für den Dämmverlust aufzudecken.

Um diese Überprüfung zu illustrieren, nehmen wir ein Beispiel, das die Notwendigkeit solcher Diagnosen unterstreicht.

Beispiel:

Zwei übereinander angeordnete Räume sind durch eine 16 cm Betondecke getrennt. Die Fassade ist aus vorgefertigten Betonteilen. Zwei der Wände dieser Räume sind aus Beton, die dritte ist aus Gipsblöcken (Bild 15).

A4-2.5.2 Accidental parasitic (spurious) transmissions

Of this, one finds several examples, most frequently due to building mistakes. Some of these spurious transmissions are difficult to find, even to imagine, once the construction is finished.

Amongst the most frequent, one could quote the electricity plugs positioned face to face in the separating wall, badly levelled out troughs of the distancers of the shuttering boards of a cast concrete wall, lacking air tightness between the wall and the façade, deficiencies which in case of internal insulations are frequently masked by thermal insulation.

In all these cases, the spurious transmissions become obvious of one compares the results of acoustical measurements after completion with the expected values from the initial calculation. If one finds results much worse than the previsions, one must verify the original calculation, and if no mistake is found, one needs to make a diagnosis on the site to find the reason for the loss of acoustic insulation.

To illustrate that investigation, we take a real example, showing the necessity of this diagnosis.

Example:

Figure 15:

Two rooms on top of each other are separated by a floor of 16 cm concrete. The façade is made of pre-fabricated concrete. Two of the walls of these rooms are made of concrete, the third is made of plaster blocks (Figure 15).

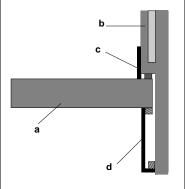


Bild 15: Senkrechter Schnitt durch die Verbindung der Fassade aus vorgefertigten Betonteilen mit integrierter Wärmedämmung und dem Boden

- a Boden aus 16 cm Beton
- b vorgefertigtes Fassadenelement
- c Abdeckung (Fußleiste)
- d Holzkasten, auf einem Rahmen montiert

Vertical cut of the junction of the façade of pre-fabricated concrete with integrated thermal insulation and a floor

- a floor of 16 cm concrete
- b panel of pre-fabricated facade
- c skirting (base board)
- d wooden box fixed on a frame

Berechnung der vorhersehbaren Schalldämmung

Da die Trennwand zwischen den beiden übereinander liegenden Räumen schwer, einschalig und nicht beschichtet ist, könnte man die vereinfachte Berechnungsmethode verwenden.

Das Schalldämmmaß des trennenden Bodens:

$$R_A = 40 \log (0.16 \cdot 2350) - 47 = 56 dB$$

Die vorgegebenen Abmessungen: V/S = 2,5 m, was zu $10 \log (0.32 \text{V/S}) = -1 \text{ führt.}$

Verluste durch Seitenübertragungen: $T_f=5+10/10=6\,dB$ (die rechtwinklige Nutzfläche im Empfangsraum, die mit der Trennschicht verbunden ist, beträgt $10\,m^2$).

 $D_{nTA} = 56 - 1 - 6 = 49 \ dB$, was bereits unterhalb der Zielgröße, die 50 dB war, liegt.

Die Messung ergab eine Standard-Schalldämmung von nur 42 dB

Die Messung der Schalldämmung wurde mit Hilfe einer Schallquelle und eines Sonometers durchgeführt. Das Sonometer wird durch einen Techniker bedient, der auch Ohren hat und also seinen Eindruck schildern kann. Während dieses Tests könnte der Techniker ganz deutlich wahrnehmen, dass das Geräusch von der über ihm liegenden Wohnung aus der Verbindung der Fassade mit der trennenden Decke zu kommen schien. Er entfernte den Holzkasten am oberen Teil des Fensters (dieser Kasten sollte über dem Fenster dieselbe Dicke haben wie die Fensterbreite) und fand heraus, dass zwischen dem Betonfassadenteil und dem Ende der trennenden Decke eine Lücke von mehr als 1 cm war. Nach Entfernung eines Teils der Fußleiste im oben liegenden Raum fand er heraus, dass der Raum zwischen den Haltepunkten der Fassadenkanäle und dem trennenden Boden offen war (das wurde während der Bauarbeiten vergessen). Auf diese Weise war ein Übertragungsweg für akustische Energie zwischen beiden Räumen, zwischen der Fassade und dem trennenden Boden geschaffen worden, dessen einzige Hindernisse durch die Fußleiste und den Holzkasten gebildet wurden. Bevor er diese wieder anbrachte, verstopfte er die Öffnung gut mit Mineralwolle. Eine erneute Messung, nachdem diese Verbesserung abgeschlossen war, ergab 48 dB. Das ist 1 dB unter der Vorhersage.

Dieses Beispiel enthält verschiedene Lehren:

- Eine gute Auswahl der Trennwände und der seitlichen Wände ist nicht genug. Zusätzlich muss man noch darauf achten, keine unerwünschten Übertragungswege zu schaffen.
- Eine akustische Verbesserung des trennenden Bodens wäre völlig zwecklos geblieben, da der Fehler in der Schalldämmung nichts mit irgendeiner Schwäche an dieser Stelle zu tun hatte.
- Da die Schalldämmung in Anbetracht der benutzten Materialien außerordentlich schwach war, war eine entsprechende Diagnose erforderlich, um die vorherrschenden Übertragungswege zu finden.
- Die statistische Vorhersagemethode gibt eine gute Einschätzung der Schalldämmung, da der trennende Boden einfach und schwer war. Jedoch wie bei allen Vorhersagemethoden könnten unerwartete Übertragungswege unmöglich mit einbezogen sein.
- Der Messtechniker muss seinen subjektiven Eindruck festhalten, da er sich mehrere Monate nach der Messung nicht mehr daran erinnern kann, was für einen Eindruck er gehabt hatte.

Wenn eine derartige Schwäche nicht lokalisiert werden kann, wie bei diesem einfachen Beispiel, dann kann eine Kombination aus akustischen und Vibrationsmessungen (Körperschallmessungen) helfen, unerwünschte Übertragungswege zu identifizieren.

Calculation of the foreseeable acoustic insulation

Since the separating wall between the two rooms on top of each other is heavy, simple and not coated, one could use the simplified calculation method.

The sound reduction index of the separating floor:

(31)

The given dimensions: V/S = 2,5 m, which leads to $10 \log (0.32 \text{V/S}) = -1$.

Losses by flanking transmissions: $T_f = 5 + 10/10 = 6 \text{ dB}$ (the rectangular surface of plaster in the reception room linked to the separating layer is 10 m²).

 $D_{nTA} = 56 - 1 - 6 = 49 \ dB$, which is already below the objective which was 50 dB.

The measurement has given a standardised acoustic insulation of only 42 dB.

The measurement of the acoustic insulation has been conducted with the help of a sound source and a sonometer. This one is operated by a technician who also has ears and he can use them to give his impression. During this test, the technician could quite clearly perceive that the noise from the flat above appeared to come from the junction of the façade and the separating floor. He removed the wooden box in the upper part of the window (this box was meant to have the same thickness over the window as the window breast), he found out that between the concrete façade panel and the end of the separating floor there was a gap of more than 1 cm. After having disassembled one part of the skirting in the room above, he found out that the space between the contact points of the façade panels and the separating floor was open (this is what had been forgotten during the construction work). This way, a path for the acoustic energy between the two rooms had been created between the façade and the separating floor, with the only barrier being constituted by the skirting and the wooden box. Before he put those back, he closed the opening with well stuffed mineral wool. The new test, after this reinforcement had been completed, gave a result of 48 dB, which was 1 dB below the forecast.

This example renders several lessons:

- It is not enough to make a good choice of separating walls and lateral walls. Additionally, attention must be paid to avoid creating spurious transmission paths.
- An acoustic reinforcement of the separating floor would have been totally useless, the deficiency in the acoustic insulation having nothing to do with any weakness on that
- Since the acoustic insulation was abnormally weak, considering the materials used, one needed to make a diagnosis with a view to find the predominant transmission paths.
- The statistical prevision method gives a good evaluation of the acoustic insulation, since the separating floor was simple and heavy. But as is the case with all prevision methods, it could not possibly take into account unexpected spurious transmission paths.
- The measuring technician must note his impression, because several months after the measurement he did not remember what he had felt.

If a weakness of this type cannot be localised as was the case in this simple example, then a combination of acoustic and vibration measurements (impact sound measurements) can help to identify the spurious transmission paths.

A4-2.5.3 Welche Vorkehrungen können getroffen werden?

Es ist erforderlich, die vorhergesehene Dämmung zwischen Räumen nicht durch unerwünschte Übertragungswege zu schwächen.

Wände aus einfachen oder hohlen Zementblöcken oder aus Ziegel oder Stein müssen mindestens auf einer Oberfläche beschichtet werden. Es ist unwichtig, ob die Abdeckung aus Gips oder Putz besteht, vorausgesetzt, die Wand ist dicht. Wenn es darum geht, das Flächengewicht zu erhöhen, sollte man Zement den Vorzug vor Gips geben.

Betonwände sollten homogen sein. Das ist das übergeordnete Prinzip. Dennoch muss man örtliche Schwächen hinnehmen, wie z. B. die Löcher für Steckdosen, die Bohrungen für Elektroleitungen, die Lampenaufhängungen, die Kanalisation in den Fußböden. Die einzuhaltende Regel ist, dass man sicherstellt, dass an Orten solcher Schwächen in der Oberfläche die halbe Dicke der Betonwand mindestens aufrechterhalten wird. Die Öffnung für eine Steckdose, z. B. in einer 16 cm Betonwand ist zulässig, so lange sie 8 cm Beton stehen lässt. Das bedeutet, dass man nicht zwei solcher Öffnungen Rücken an Rücken auf beiden Seiten der Wand anbringen kann.

Die Durchbrüche für Sanitärinstallationen in Wänden oder trennenden Böden sollte mit Hilfe eines Füllmaterials gleichen Flächengewichts verstopft werden. Wenn das nicht möglich ist, sollte das Schalldämmmaß der Schachtwände in den Räumen, die voneinander akustisch getrennt werden müssen, mindestens dem Schalldämmmaß der trennenden Wand minus 5 dB entsprechen.

Die Verbindungen zwischen den Ziegelwänden müssen dicht sein. Man muss unbedingt darauf achten, die schweren Trennwände an die schweren Seitenwände dicht anzuschließen. Dies erlaubt, den Energieverlust zu berücksichtigen, der durch die Vibration an den Anschlüssen entsteht. Hier droht ein Problem zu entstehen, wenn man die Wärmeverluste zu reduzieren versucht, die an dem Anschluss der Wand oder des Bodens an die Fassade entstehen. In diesem Fall muss die Wärmedämmung zwischen Wand und Fassade angeordnet werden (Bild 16).

Dieses Dämmmaterial hat zur Folge, dass die starre Verbindung zwischen "innerer Wand und Fassade" zerstört wird und dass die Seitenübertragungen über die Fassade stärker werden. Dies könnte vermieden werden durch Benutzung einer inneren Dämmlage in der laufenden Fassade, was auch akustische Vorteile hat (Mineralwolle oder flexibles Polystyrol). Andererseits kann die Dämmlage an der Verbindung von innerer Wand und Fassade eine störende (unerwünschte) Übertragung zur Folge haben, wenn ihre Dicke den verfügbaren Raum nicht ausfüllt oder wenn sie nicht zusammengepresst oder nicht dicht ist.

A4-2.5.3 Which precautions to take?

It is necessary that the isolation foreseen between rooms is not degraded by spurious transmissions.

Walls constructed of plane or hollow concrete blocks, of brick or of stone must be covered at least at one face. It is not important whether the coverage is of gypsum or cement, given that the tightness of the wall is assured. If one attempts to increase the surface mass, one should favour a cement cover instead of a cover made of gypsum.

Walls made of concrete should be homogeneous. This is the great principle. Nevertheless, one must accept certain local weaknesses, such as are constituted by the holes for electrical plugs, branches drilled for electrical circuits, hangers for lamps, canalisation into the floors. The rule to be observed is to guarantee that at the place of these deficiencies in the surface, the half thickness of the concrete wall be maintained. For example, a box for an electricity plug in a 16 cm concrete wall is admissible as long as it leaves 8 cm of concrete behind it. This means that one could not put two boxes on either side of the wall back to back

The plumbing shafts should be closed if possible in the walls or separating floors which they cross with the help of a filling in material with a surface mass equivalent to that of the separation crossed. If this cannot be done, the acoustic attenuation index of the shaft walls placed in the rooms to be isolated should at a minimum be equal to the sound reduction index of the separating wall minus 5 dB.

The junctions between masonry walls must be tight. One must absolutely be interested in tightly connecting the heavy partition walls and the heavy lateral walls. This allows to take advantage of the energy losses caused by the vibration occurring at the junctions. A problem threatens to arise here in case one seeks to reduce the thermal losses at the junction between a wall or a floor and the façade. In this case, a thermal insulant must be placed between the wall and the façade (Figure 16).

This insulating material has the consequence to destroy the rigid liaison between "internal wall and façade" and to increase the flanking transmission via the façade. This could be compensated by using an internal thermal insulation layer in the running façade which has also acoustical merits (mineral wool or elastic polystyrene). On the other hand, the thermal insulation layer at the junction of the internal wall and the façade could create a parasitic (spurious) transmission if it had a thickness below the space available or if it was not compressed and not tight.

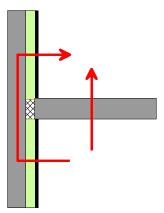


Bild 16: Position einer Dämmeinlage zwischen Wand und Fassade mit dem Ziel, die Wärmebrücke an diesem Anschluss zu verhindern

Figure 16:

Positioning of an insertion between a wall and a façade with the aim to limit the thermal bridge at the junction

A4-2.6 Schalldämmung zwischen Räumen, die durch eine Wand mit verschiedenen Oberflächenelementen getrennt sind

Im Vordergrund stehen Trennwände mit Türen, Fenstern, Bedienungsöffnungen oder anderen Elementen.

A4-2.6.1 Vorhersagemethode für das Schalldämmmaß von uneinheitlichen Wänden

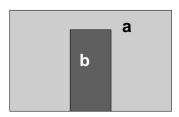
Die Fläche der betrachteten Wand besteht aus verschiedenen Elementen, die unterschiedliche Schalldämmmaße aufweisen (Bild 17). Das Problem ist zunächst die Bestimmung des Schalldämmmaßes dieser Kombination.

A4-2.6 Acoustic insulation between rooms divided by a wall of different surface elements

These are foremost separating walls with doors, windows, service openings or other elements.

A4-2.6.1 Method of pre-calculation of the sound reduction index of composite walls

The surface of the wall in question is composed of several elements which have different sound reduction indices (Figure 17). The problem is firstly the determination of the sound reduction index of the composition.



- a Zwischenwand aus Zementblöcken von 10 cm Dicke und 8 m² Oberfläche (S₁) mit einem Schalldämmmaß von 45 dB (R₁) partition of full concrete blocks of 10 cm thickness and 8 m² surface (S₁) and of an acoustic attenuation index of 45 dB (R₁)
- b Tür von 2 m² Fläche (S2) und mit einem Schalldämmmaß von door of 2 m2 surface (S2) and of an acoustic attenuation index of 20 dB (R₂)

Bild 17: Beispiel für eine Wand mit Tür

Jedes Element hat seinen akustischen Übertragungskoeffizienten τ. Im Senderaum ist der Schalldruck, der die Fläche S erreicht, gleich I.S., wobei die akustische Intensität dem Schalldruckpegel in diesem Raum entspricht. Nur der Teil τ gelangt in den Empfangsraum. Wenn man in dieser Weise alle Teile "i" betrachtet, die die Fläche der Trennwand bilden, erhält man den Gesamtübertragungsfaktor dieser uneinheitlichen Wand mit der folgenden Gleichung:

Figure 17: Example for a wall with a door

Each element has its acoustic transmission coefficient τ . In the emission room, the sound pressure reaching the surface S is equal to I.S, where the acoustic intensity corresponds to the sound pressure level in that room. It is no more than the part $\boldsymbol{\tau}$ which travels towards the reception room. In this way, if one considers all the elements "I" which compose the surface of the separating wall, one gets the overall transmission factor of the composite wall when using the following relation:

$$\tau \; S = \tau_1 \; S_1 + \tau_2 \; S_2 + ...$$

Da wir wissen, dass $R_i = 10 \log (1/\tau_i)$ ist, haben wir die Knowing that $R_i = 10 \log (1/\tau_i)$, one possesses the means Möglichkeit, das Gesamtschalldämmmaß der Wand zu berechnen, wenn wir die Schalldämmmaße und die Flächen jedes Einzelteils kennen.

to calculate the overall sound reduction index of the wall, provided one knows the sound reduction indices and the surfaces of each element.

$$R_{res} = -10 \cdot log_{10} \left(\frac{\sum_{i} 10^{(-R_i/10)} \cdot S_i}{\sum_{i} S_i} \right)$$
 (32)

Um diese Berechnung zu vermeiden, ist für das Verhältnis ein Basisabakus entwickelt worden. Dieser erlaubt die Verbindung dieser Elemente in Paaren. Wir schlagen den Abakus nach Bild 18 vor, der die Unterschiede (R1-R2) der Indizes zweier Elemente verbindet, das Flächenverhältnis S₁/S₂ dieser beiden Elemente und $(R_1 - R_{res})$, die Differenz des Schalldämmmaßes des am besten dämmenden Teils (R1) mit dem resultierenden Schalldämmmaß.

Ein Beispiel für die Anwendung: wie in Bild 17 gezeigt.

To avoid this calculation, a basic abacus has been established for that relation. It allows for the composition of these elements in pairs. We are proposing the abacus of Figure 18, which relates the differences (R₁-R₂) of the indices of two elements, the ratio of the surfaces S_1/S_2 of these two elements and $(\ensuremath{R_{1}} - \ensuremath{R_{res}})$, the difference of the sound reduction index of the best insulating element (R1) and the resulting index of sound reduction.

An example for application: the composition shown in Figure

Die waagerechte Linie von $R_1-R_2=25\,\text{dB}$ schneidet die senkrechte Linie für das Verhältnis $S_1/S_2=4$ auf der Kurve $R_1-R_{res}=18$. Da $R_1=45\,\text{dB}$, ergibt sich für $R_{res}=27\,\text{dB}$.

Man erkennt, anders als oft behauptet wird, dass das Gesamtschalldämmmaß nicht identisch ist mit dem Index des schwächsten Elements.

Wenn man das Ergebnis wie im obigen Beispiel für nicht ausreichend hält, kann man nicht auf eine Verbesserung hoffen, wenn man nur die Wand verbessert und nicht auch die Tür.

Lassen Sie uns annehmen, wir führen eine akustische Beschichtung der Wand mit Mineralwolle und einer Gipskartonplatte des Typs 60 + 10 aus. Das Schalldämmmaß kommt dann in die Nähe von 53 dB $\left(\Delta R_1=30-R_1/2\right)$.

In diesem Fall ist der neue Wert von $R_1-R_2=33\,\text{dB}$, S_1/S_2 ist unverändert und R_1-R_{res} ist 26 dB. Das führt zu einem $R_{res}=53-26=27\,\text{dB}$. Das ist der gleiche Wert wie vor der Verbesserung.

Tatsächlich hat man mit der ursprünglichen Konfiguration etwas erreicht, was man die Grenze des Schalldämmmaßes nennt, die nicht überschritten werden kann, ohne auch die Tür zu ändern.

The horizontal line from $R_1-R_2=25$ dB cut the vertical line for the relation $S_1/S_2=4$ on the curve $R_1-R_{res}=18$. As $R_1=45$ dB, $R_{res}=27$ dB.

One sees, contrary to what is often told, that the overall sound reduction index is not the same as the index of the weakest element.

If one thinks that the result obtained with the example above is not sufficient, one cannot hope for an improvement by improving the wall without also changing the door.

Let us suppose that one realises an acoustical coating for the wall of the mineral wool type with a gypsum board 60 + 10. The sound reduction index then comes near to 53 dB $\left(\Delta R_1=30-R_1/2\right)$.

In this case, the new value of R_1-R_2 is 33 dB, S_1/S_2 is unchanged and R_1-R_{res} is 26 dB. This leads to $R_{res}=53-26=27$ dB , which is the same value as before the reinforcement.

In fact, due to the initial configuration, one has achieved what is called the limit of the sound reduction index, which cannot be surpassed without changing also the door.

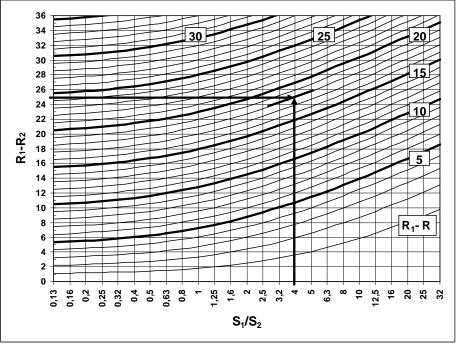


Bild 18: Bestimmung des Schalldämmmaßes $R_{\rm res}$, das aus einer Kombination vom Flächenelement S_1 mit einem Schalldämmmaß R_1 und dem Flächenelement S_2 mit einem Schalldämmmaß R_2 besteht

Figure 18: Determination of the sound reduction index R_{res} , resulting out of the combination of a surface element S_1 with a sound reduction index R_1 and of a surface element S_2 which has a sound reduction

A4-2.6.2 Grenze des Schalldämmmaßes einer uneinheitlichen Trennwand aus zwei verschiedenen Elementen

A4-2.6.2 Sound reduction index limit of a composite separating wall of two different elements

Wenn zwei Elemente vorliegen, wovon eines überhaupt nichts durchlässt (Übertragungsfaktor 0), wodurch nur die Übertragung durch das andere Element verbleibt, ergibt sich die Grenze des Schalldämmmaßes durch diese Gleichung.

If one has two elements, one of which does not let anything through (transmission factor 0), and only the transmission by the other element remains, then the limit acoustic attenuation index is given by this equation.

$$R_{lim} = R_2 - 10 \log (S_2 / S)$$
 (33)

wobei S die Gesamtfläche S₁ + S₂ ist.

where S is the overall surface $S_1 + S_2$.

index R₂

In unserem Beispiel kann man die ursprüngliche Tür, deren Schalldämmmaß 20 dB war, beibehalten, $R_{lim} = 20 - 10 \log{(2/10)} = 27 dB!$

Diese Betrachtung des Grenzwertes des Schalldämmmaßes (Bild 19) ist sehr wichtig und nützlich. Hier sind einige praktische Schlussfolgerungen:

Wenn man bestimmte Belüftungsprobleme in einem Raum zu lösen hat, sieht man Türen mit Öffnungen in Fußbodenhöhe vor, was es völlig überflüssig macht, sehr teure Hochqualitätstüren zu nehmen. Wenn die Lücke auf 1 cm begrenzt wird (was angesichts aktueller Erfahrung sehr wenig ist), nimmt die Lücke ungefähr 1/200-tel der Türfläche ein und hat ein Schalldämmmaß 0. In diesem Fall ist das Grenzschalldämmmaß der Tür mit dieser Lücke 23 dB. Dieser Grenzwert wird erreicht, wenn die Öffnung in eine Tür gemacht wird, die – ohne jede Öffnung – einen Index in der Gegend von 35 dB hätte. Ferner ist es nicht nötig, dass die Wand, durch die diese Tür führt, einen Index über 40 dB für ein Flächenverhältnis in der Nähe von 4 hätte.

In our example, if one retains the initial door, the acoustic reduction index of which was 20 dB, $R_{lim} = 20 - 10 \log (2/10) = 27 dB!$

This notion of a limit acoustic attenuation index (Figure 19) is very important and very useful. Here are some practical consequences:

If one has to solve certain ventilation problems in a room, one foresees doors with gaps at floor level, which makes it totally useless to install very costly high-performance doors. If the gap is limited to 1 cm (which is very small if one considers the actual experience), it represents roughly $1/200^{th}$ of the door's surface and has a sound reduction index 0. In this case, the limit sound reduction index of the doors with these gaps is 23 dB. This limit index is obtained when the opening is made into a door, which — if it were totally tight — would render an index in the vicinity of 35 dB. Also, it is not necessary that the wall, into which this door is built, should have an index better than 40 dB for a surface relation in the vicinity of 4.

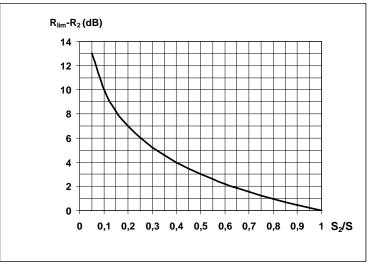


Bild 19: Berechnung des Grenzschalldämmmaßes für eine Wand im Fall, dass das am schlechtesten dämmende Element (R₂) unveränderbar ist. S₂/S ist das Oberflächenverhältnis dieses (am schlechtesten dämmenden) Teils zu der Gesamtoberfläche der Wand

Figure 19:

Calculation of the limit sound reduction index of a wall in case the least insulating element (R_2) is fixed. S_2/S is the relation of the surface of that (least insulating) element to the overall surface of the wall

Wenn eine Wand mit einer permanenten Öffnung oder einer ständig offenen Tür vorliegt, wird das Schalldämmmaß nicht 0. Beim vorigen Beispiel führt die offene Tür in der Wand zu einem Dämmmaß von 7 dB. Für Wände mit Öffnungen kann man auch die unten stehende Grafik (Bild 20) benutzen.

In case one has, in a wall, a permanent opening or in case the door is open, the sound reduction index does not become 0. In case of the preceding example, the open door in the wall leads to a reduction index of 7 dB. For walls with openings one can also use the graph below (Figure 20).

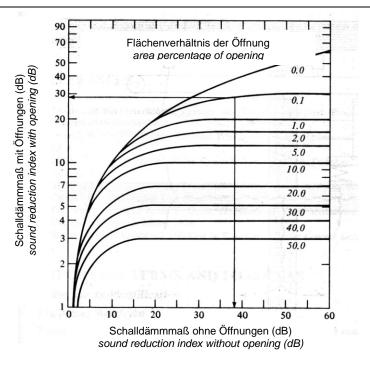


Bild 20: Schalldämmmaß einer Wand mit einer Öffnung im Verhältnis zum Schalldämmmaß dieser Wand ohne Öffnung und dem Anteil der Öffnungsfläche

Figure 20: Sound reduction index of a wall with an opening in relation with the sound reduction index of this wall without opening and the percentage of the opening area

Bei einer sehr hochwertigen Wand mit einem Schalldämmmaß über 60 dB installiert man Öffnungen für Steckdosen Rücken an Rücken, so dass das örtliche Schalldämmmaß zwischen 15 dB und 20 dB liegen könnte, dann ist das Gesamtmaß auf 50 dB bis 55 dB begrenzt durch diesen Fehler von etwa 5 bis 6 cm Durchmesser in einer Wand von 10 m^2 .

In a very well performing wall with an acoustic reduction index over 60 dB, one installs electricity plugs opposite each other so that the local sound reduction index might be between 15 dB and 20 dB, the overall index could be limited to 50 dB or 55 dB by this mistake of 5 to 6 cm diameter in a wall of 10 $\mbox{m}^2.$

A4-2.6.3 Schalldämmung zwischen zwei Räumen, die durch eine Wand mit einer Öffnung getrennt sind

A4-2.6.3 Acoustic insulation between two rooms separated by a wall with an opening

Die Öffnung kann als ein störender Übertragungsweg zwischen den beiden Räumen betrachtet werden. Anders ausgedrückt, man schätzt die Schalldämmung, die man erhalten würde, wenn die Trennwand homogen wäre und keine Öffnung hätte. Das erlaubt es die direkte Übertragung und die Flankenübertragungen zu berechnen. Wenn die Öffnung da ist, ändern sich die Flankenübertragungen nicht. Nur die direkte Übertragung ändert sich.

The opening could be considered as a source of parasitic transmission between the two rooms. In other words, one assesses the acoustic insulation, which one would obtain if the separating wall were homogeneous, in the absence of an opening. This allows to calculate the direct transmission and flanking transmissions. Once the opening is in place, the flanking transmissions do not change, only the direct transmission varies.

Zwei Fälle erlauben eine Abschätzung ausschließlich auf der Basis einer Berechnung der direkten Übertragung durch die Wand mit der Öffnung:

Two cases allow for an assessment with only the calculation of direct transmission through the wall with an opening:

- Wenn die vorhersehbare Dämmung niedrig ist, weil die Trennwand ohne Öffnung von geringer Qualität ist (dies ist besonders dann der Fall, wenn die Trennwand im Vergleich zu den Indizes der Seitenwände ein niedriges Schalldämmmaß hat).
- If the foreseeable acoustic insulation is low because of the poor performance of the separating wall without opening (this is notably the case with separating walls having a small sound reduction index by comparison to the indices of the lateral walls).
- Wenn jedoch die Dämmung ohne Öffnung hoch ist und das Maß der Wand mit Öffnung niedrig, können die Flankenübertragungen verglichen mit der direkten Übertragung durch die Wand und ihrem schwachen Punkt vernachlässigt werden.
- In case the acoustic insulation without opening is high and the index of the wall with the opening is low, the flanking transmissions can be disregarded compared to the direct transmission through the separating wall and its weak point.

A4-2.6.4 Einige Überlegungen zu Türen

A4-2.6.4 Some considerations on doors

Türen werden in Labors unter sehr genauen Bedingungen geprüft, die mit ihrem tatsächlichen Einbau im Bauwerk nicht zu vergleichen sind. Was noch wichtiger ist: die Messergebnisse, die man erhält, gehen davon aus, dass die Lücken zwischen Tür und Rahmen und die Öffnung an der Schwelle in keinem Fall 1 mm überschreiten.

Doors are tested in the laboratory with very precise conditions of work incomparable to their actual employment in a building. Even more important: the measuring results rendered indicate that the joints between the door and its frame and the gap at the threshold in no case exceed 1 mm.

Diese Qualität kann tatsächlich auf der Baustelle nicht erreicht werden, da mehrere, womöglich Hunderte von Türen eingebaut werden müssen. Es ist daher angezeigt, mit einem Verlust des Maßes von mindestens 2 dB zu rechnen. Bereits dies erfordert einen sorgfältigen Einbau. Anders ausgedrückt, wenn die Berechnung zeigt, dass es erforderlich ist, Türen mit dem Maß R einzubauen, dann muss man bereits Türen auswählen, die in der Laborprüfung ein Maß von mindestens R + 2 dB aufgewiegen haben.

Um große Unterschiede zu vermeiden, die zwischen den Dämmmaßen von Türen bestehen, wie sie im Katalog aufgrund von Labormessungen angegeben werden und dem Maß, das man herausfindet, wenn eine neue Messung im selben Labor an einer Tür vorgenommen wird, die man von der Baustelle geholt hat, sollte man stets Türen mit Zertifikat auswählen und vom Hersteller die Garantie verlangen, dass die angelieferten Türen denen entsprechen, mit denen das erste Messergebnis erzielt wurde.

Die schwachen Punkte in dem tatsächlichen Einbau der Türen, die wegen ihrer guten Laborleistung ausgewählt worden waren, sind sehr häufig die mehr oder weniger dichten Öffnungen zwischen der Tür und ihren Zargen und zwischen den Türzargen und der tatsächlichen Wand. Man sieht diese Mängel nicht, wenn der Einbau beendet ist, aber man wird ihrer gewahr, wenn man hinterher die akustische Leistung misst. Auf die Abdeckstreifen, die benutzt werden, um die Lücken zwischen der Zarge und der Wand zu verdecken, muss man sich nicht allzu sehr verlassen.

Um ein Dämmmaß über 38 dB für eine Kombination von Tür und Zarge zu erhalten, ist eine sehr gute umlaufende Dichtheit erforderlich (Druckanschlüsse können erforderlich sein), inklusive Schwelle. Wegen der Unebenheit des Grundes kann man sich bei versenkten Schwellen nicht auf ausreichende Dichtheit verlassen. Stattdessen müssen Schwellen in Form von Bodenplatten benutzt werden, einem Balken, der mit einer elastischen Dichtung versehen ist, gegen die die Tür angepresst wird.

In besonderen Fällen, insbesondere wenn die Türen als Notausgänge benutzt werden, können die Sicherheitsinspektoren so etwas nicht akzeptieren, weil Menschen darüber stolpern und hinfallen könnten.

Um eine gute Schalldämmung bei Trennwänden mit Türen zu erreichen, ist es wünschenswert, einen Windfang vorzusehen, bei dem zumindest eine der beiden Türen eine hohe Dämmleistung aufweist.

In bestimmten Sonderfällen ist es vorzuziehen, Montagezargen in der Wand zu benutzen und später die Tür mit ihrer Zarge an dieses Montagehilfsmittel anzuschließen, um Ergebnisabweichungen zu begrenzen, die im Wesentlichen mit Dichtigkeitsproblemen verknüpft sind. Es ist auch ratsam, den Rahmen zu vergrößern, insbesondere einen Doppelanschlag zu benutzen.

This quality cannot be actually achieved on the site for since several dozen, possibly hundreds of doors need to be installed. It is therefore prudent to reckon with a loss in the index of at least 2 dB, which already requires a very painstaking installation. In other words, if the calculation shows that it is necessary to use doors with the index R, it is wise to choose doors which in the laboratory test have shown indices of at least R + 2 dB.

To preclude severe differences between the reduction indices of doors given in the catalogue according to a measurement taken in a laboratory, and the index to be found when a new measurement is taken in the same laboratory on a door taken from the site, it is prudent to choose doors with a certification of the performance and to require the manufacturer to guarantee that the doors delivered are in conformity with those taken for the original measurement.

The weak points in the actual installation of doors chosen for their good laboratory performance are very frequently the more or less tight openings between the door and its sides, and the deficiencies between the frame of the door and the actual wall. One does not see these deficiencies one the installation is finished, but one perceives them by measuring the acoustic performance afterwards. One must not have too big confidence in the covering strips used to mask the joint between the wall and the frame of the door.

To achieve an acoustic reduction index above 38 dB for the combination of the door and its frame, a very thorough peripheral tightness is required (pressure locks may be needed), including the threshold. Because of the unevenness of the ground, one cannot count on a sufficient tightness with retractable thresholds. Instead, one must use thresholds in the form of ground plates, a beam equipped with an elastic sealant against which the door is pressed.

In certain instances, especially when the doors are used as emergency exits, this system is not accepted by the security commissions, since they could cause people to stumble and fall

To obtain a strong acoustic insulation in case separating walls are equipped with doors, it is desirable to plan absorbent locks with at least one of the two doors of high acoustic performance.

In certain special cases it is preferable to use mounting frames in the wall and to adjust the door and its frame later in this mounting aid to limit the variations in the results essentially connected with the problems of tightness. It is also advised to enlarge the framework, especially to use a double stop face.

R _w der Tür R _w of door in dB	R _W in dB von dicht eingebauten Türblättern R _W in dB of tightly built-in door leaves	Türblatttyp Door leave type	Versiegelung des Anschlags Seal of functional joint	Bemerkungen <i>Remarks</i>
22	25	Jede Konstruktion, aber ca. 15 kg/m ² Any construction, but about 15 kg/m ²	Jedwedes versiegelnde Profil Any sealing profile	Die Tür muss gut eingepasst sein The door must be well adjusted
27	30	Eine oder mehrere Lagen, ca. 25 kg/m ² One or more layers, about 25 kg/m ²	Weicher Schlauch, Kammer- oder Lippensiegel Soft hose, chamber or lip seal	
32	37	Mehrlagig, ca. 35 kg/m², oder mehrfache Teilung Multi-layered, about 35 kg/m², or multiple partition	Weicher Schlauch, Kammer- oder Lippensiegel, möglicher- weise Doppelnahtsiegel Soft hose, chamber or lip seal, possible double-seam seal	In sich stabile, dicht eingebaute Zarge; genügend Anpressdruck Inherently stable, densely built- in frame; sufficient contact pressure

R _w der Tür <i>R_w of door</i> in dB	R _W in dB von dicht eingebauten Türblättern R _W in dB of tightly built-in door leaves	Türblatttyp Door leave type	Versiegelung des Anschlags Seal of functional joint	Bemerkungen Remarks
37	42	Mehrfache Teilung, schwere Einzelblätter Multiple partition, heavy single panels	Doppelnahtsiegel mit weichem Schlauch, Kammer- oder Lippensiegel Double seam seal with soft hose, chamber or lip seal	In sich stabile, dicht eingebaute Zarge; hoher Anpressdruck Inherently stable, densely built- in frame; high contact pressure
42	47	Mehrfache Blätter aus sehr schweren Einzelschichten (z. B. Stahlblech, Spanplatte mit Bleieinlage); Doppeltüren) Multiple partition made of very heavy single panels (e. g. sheet steel, chipboard with lead sheet); double doors	Doppelnahtsiegel mit Hoch- qualitätsschlauch, Kammer- oder Lippensiegel Double-seam seal with high- quality hose, chamber or lip seal	Sehr stabile, dicht eingebaute Zarge (Stahlzarge); sehr hoher Anpressdruck Very inherently stable, densely built-in frame (steel frame); very high contact pressure
47	55	Sandwichpaneele aus sehr schweren Einzelpaneelen hergestellt, mit Sand gefüllten Abteilungen, ca. 150 kg/m²; Doppeltüren mit Schallsperre Sandwich panels made of very heavy single panels using sand-filled chambers, about 150 kg/m²; double doors with sound lock	Doppelnahtsiegel mit Hoch- qualitätsschlauch, Kammer- oder Lippensiegel Double-seam seal with high- quality hose, chamber or lip seal	Spezialzarge; Einzeleinpassung jeder Tür; sehr hoher Anpressdruck Special frame; individual fitting for each door; very high contact pressure

Tabelle 1: Beispiele von Türkonstruktionen, um vorgegebene Schalldämm-maße (linke Spalte) zu erreichen, die Mindestleistung der Türblätter ist in der zweiten Spalte

A4-3 Schalldämmung gegen Außengeräusche

A4-3.1 Allgemeines

In den meisten Fällen sollte die Fassade gegen Verkehrsgeräusch dämmen. Man erhält einfache Werte, die die Qualifizierung von Standard-Pegeldifferenzen bei Gebäuden zwischen Innen und Außen erlauben und die auch das Schalldämmmaß eines Elements, $D_{nTA,tr}$ oder das $R_{A,tr}$ ergeben, wenn man eine Schallemission des Typs "Verkehrslärm" oder auch "Straßenlärm" genannt, benutzt. Wenn keine Messergebnisse für Schalldämmmaße für ein Verkehrsgeräusch am Entstehungspunkt verfügbar sind, und da keine Frequenzintervallkurven vorhanden sind, um es zu berechnen, benutzt man als erste Annäherung die Annahme, dass $R_{\rm A,tr}$ zwischen 3 dB und 4 dB unter $R_{\rm A}$ liegt. Für die Abschätzung des Schalldämmmaßes einer schweren Wand als Funktion ihres Flächengewichts m führt dies zu der Gleichung:

Table 1: Examples of door constructions to meet preset sound insulation indices (left column), the minimum performance of the door leaves is in the second column

A4-3 Acoustic insulation against outside noise

A4-3.1 General

In most cases, the façade should isolate room against traffic noise. Simple values allowing for the qualification of standardised level differences between the outside and the interior of buildings, and allowing for the sound reduction index of an element, $D_{nTA,tr}$ or the $R_{A,tr}$, to be obtained when assuming a sound emission of the type "traffic noise", also called "road noise". In case no measuring results are available of noise reduction indices for a traffic noise at its point of emission, and since no curve of frequency intervals exists to calculate it, one uses a first approximation that $R_{A,tr}$ is between 3 dB and 4 dB below $R_{\rm A}$. For the evaluation of a sound reduction index of a heavy wall as a function of its surface mass m, this leads to the equation:

$$R_{A.tr} = (40 \log m) - 50 dB$$

Das Beispiel der Fassade ist eine Anwendung des generellen Problems von akustischer Dämmung zwischen zwei Gebieten mit direkter Übertragung, Flanken- und Störübertragungen und dem Problem von Trennwänden mit Öffnungen.

A4-3.2 Direkte Schallübertragung durch eine Fassade

Die direkte Übertragung ist mit dem Gesamtschalldämmmaß der Fassade mit äußeren Fensterrahmen verknüpft, ermittelt mit Hilfe der allgemeinen Formel (32) oder mit dem Abakus (Bild 18).

Bei verhältnismäßig geringen Dämmansprüchen an die Fassade werden die Ergebnisse im Allgemeinen durch die Fenster beherrscht, da die Fassadenwand schwer ist. In diesem Fall sollte man die Idee des Grenzdämmmaßes $R_{\rm lim}$ benutzen (Kapitel A6-2.6.2), was eine rasche Kalkulation erlaubt.

The example of the façade is one application o the general problem of acoustic insulation between two areas with direct transmission, flanking and parasitic transmissions and the problem of separating walls with openings.

A4-3.2 Direct noise transmission through a façade

The direct transmission is linked to the overall sound reduction index of the façade with exterior window frames, calculated with the aid of the general formula (32) or with the abacus (Figure 18).

In case of a relatively low insulation demand of a façade, the results are generally governed by the windows since the wall of the façade is heavy. In this case, one might use the notion o sound reduction index limit R_{lim} (chapter A6-2.6.2) which allows for a rapid calculation.

Bei leichten Fassaden muss man in jedem Fall eine komplette Berechnung anstellen (Kapitel A4-2.6.1).

Bezüglich des Ausdrucks der direkten Übertragung gelten dieselben Regeln wie für die Dämmung zwischen zwei Räumen.

In jedem Frequenzintervall gilt: D_n (direkt) = R_{res} – $10 \log (S/10)$, wobei S die Fläche der Fassade im Empfangsraum ist (m²) und R_{res} das Gesamtschalldämmmaß der Fassade, unter Berücksichtigung aller ihrer Komponenten.

 D_{nT} (direkt) = R_{res} + 10 log (0,32 V/S) dB , wobei V das Volumen (m³) im Empfangsraum ist.

Bezüglich der Einzahlwerte ist es ratsam, die Werte $D_{nA,tr} = D_{nW} + C_{tr}$ oder $D_{nRA,tr} = D_{nTw} + C_{tr}$ in dB zu benutzen.

A4-3.3 Flankenübertragungen bei Fassaden

Die Flankenübertragungen hängen von der Art der Böden, der Wände und der Trennwände ab, die mit der Fassade verbunden sind.

Es gibt einen Übertragungsweg weniger als bei der Schalldämmung zwischen Räumen und in der Gesamtbetrachtung erzeugen die Flankenübertragungen einen akustischen Dämmverlust, der viel kleiner ist als bei der Dämmung zwischen Räumen (1 dB gegenüber 5 dB im allgemeinen Fall). In case of light facades, it is always necessary to make a complete calculation (chapter A4-2.6.1).

Regarding the expression of the direct transmission, the same rules apply as for the insulation between two rooms.

In each frequency interval applies: D_n (direct) = $R_{res} - 10 \log{(S/10)}$, where S is the surface of the façade in the reception room (m²) and R_{res} is the overall sound reduction index of the façade, taking into account all its components.

 D_{nT} (direct) = $R_{res} + 10 \log (0.32 \text{ V/S}) dB$, where V is the volume of the reception room (m³).

Regarding the single-number values, it is preferable to use the values $D_{nA,tr} = D_{nw} + C_{tr}$ or $D_{nRA,tr} = D_{nTw} + C_{tr}$.

A4-3.3 Flanking transmissions in case of facades

The flanking transmissions depend on the nature of the floors, the walls and the separating walls linked to the façade.

There is one transmission path less than in case of acoustic insulation between rooms and in the overall assessment, the flanking transmissions create an acoustic insulation loss much smaller than in case of the insulation between rooms (1 dB as opposite to 5 dB in the general case).

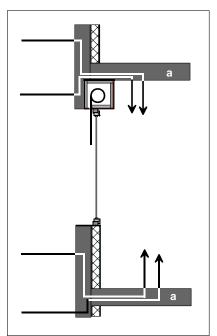


Bild 21: Sonderfall der Fassaden. Es verbleiben nur die Flankenübertragungswege über die Innenwände (a), die mit der Fassade verbunden sind

Figure 21:

Special case of facades. The only flanking transmission paths are those via the internal walls (a) which are linked to the façade

Man gelangt zu folgender Vorhersagegleichung:

One comes to the following prediction equation:

$$D_{nTA,tr} = R_{A,tr,res} + 10 \log (0.32 \text{ V/S}) - 1 dB$$
 (34)

wobei R_{A,tr,res} das Maß ist, das aus der Kombination der verschiedenen Elemente der Fassade resultiert (Fassade, Fenster, Rahmen), ermittelt wie oben gezeigt.

where $R_{A,tr,res}$ is the index resulting from the combination of the different elements of the façade (façade, windows, frames) calculated as has been shown above.

Im Zweifelsfall kann man immer zu den Computerprogrammen der Vorhersage zurückgreifen, die im Kapitel A4-2.2.2.2 beschrieben wurden.

In case of doubt, one can always turn to the computer programmes of prediction described in chapter A4-2.2.2.2.

A4-3.4 Störende Übertragungen bei Fassaden

A4-3.4.1 Die erwarteten störenden Übertragungen

Störende Übertragungen sind häufig "erzwungen" durch die Notwendigkeit, der Luft Zugang zu verschaffen oder Kästen für Rollläden zu installieren. Diese Teile einer Fassade werden im Labor auf ihre Schalldämmung D_{ne} beschrieben als eine Funktion der Frequenz und des Einzahlwertes $D_{\text{ne.w}}$ (C; C_{tr}).

Diese Werte ergeben sich aus Messungen von Norm-Pegeldifferenzen, die in Labors zwischen zwei Räumen ermittelt werden, die durch eine gut dämmende Wand getrennt sind, in welche das zu prüfende Bauteil eingebaut ist. Es wird angenommen, dass die vorherrschende Übertragung akustischer Energie durch dieses Bauteil erfolgt. Das Ergebnis wird durch eine äquivalente Absorptionsfläche von 10 m² im Empfangsraum normiert.

Die Umrechnung von einer Norm-Dämmung D_{ne} zu einer Standard-Dämmung D_{nTe} , wenn der Empfangsraum das Volumen V hat, geschieht mit folgender Gleichung:

$$D_{nT,e} = D_{ne} + 10 \log (0.032 \text{ V}) = D_{ne} + 10 \log (\text{V}/32) \text{ dB}$$
 (35)

Die Schwierigkeit besteht in der Tatsache, dass diese störende Übertragung, die durch eine Schalldämmung geht, nicht denselben Charakter wie ein Schalldämmmaß hat und dass diese beiden Werte nicht verknüpft werden können.

Somit besteht der Ansatz darin, die Schalldämmung, die die Fassade hergibt, ohne störende Übertragungen zu berechnen und sie mit derjenigen Dämmung zu verknüpfen, die durch die störenden Übertragungen, wie Luftöffnungen, Rollladenkästen, usw., gegeben ist. Es ist daher erforderlich, die Elemente der Fassade so zu entwerfen, dass sie eine Dämmung aufweisen, die besser als die Zielgröße ist (um mindestens 6 dB), die in den entsprechenden Regelungen oder Vertragswerken niedergelegt ist.

Als erste Annäherung könnte man die Werte der unten stehenden Tabelle benutzen, wenn man eine Standard-Schalldämmung $D_{nTA,tr}$ für Empfangsräume mit einer Tiefe von 3,2 m und einer Fensterfläche von weniger als einem Drittel der Gesamtfläche erhalten möchte.

A4-3.4 Parasitic transmissions in case of facades

A4-3.4.1 The expected parasitic transmissions

Parasitic transmissions are frequently "imposed" by the necessity to create access for the air or to install casings for rolling screens. These components of the façade are characterised in a laboratory by their acoustic insulation D_{ne} as a function of the frequency and the single-number value $D_{\text{ne,w}}\left(C\;;\;C_{\text{tr}}\right)$.

These values result from measurements of the normalised level differences which are obtained in a laboratory between two rooms separated by a well insulating wall into which the equipment to be tested is installed. It is assumed that the predominant transmission of acoustic energy takes place through this piece of equipment. The result is normalised by an equivalent absorption area of 10 m² in the reception room.

To progress from a normalised insulation D_{ne} to a standardised insulation $D_{\text{nTe}},$ when the reception room has a volume V, one uses the following equation:

The difficulty is linked to the fact that this parasitic transmission, travelling through an acoustic insulation, does not have the same character as an acoustic reduction index and that these two values cannot be combined.

Thus, the attempt consists of a calculation of the acoustic insulation given by the façade, without parasitic transmissions, and to combine with this insulation the one given by the parasitic transmissions such as air openings, casings for screens, etc. It is therefore necessary to design the elements of the façade so that they have an insulation superior (by at least 6 dB) to the target laid down in a regulation or in a contractual document.

In a first approximation, one could utilise the indications in the table below, if one wants to obtain a standardised acoustic insulation $D_{nTA,tr}$ for reception rooms with a depth of 3,2 m and a window surface of less than two thirds of the total surface.

Art des Elements Nature of the element	Leistung Performance
Fassade, abgesehen von Fenstern Façade outside windows	$R_{A,tr} > D_{nTA,tr} + 10 \text{ dB}$
Fenster Windows	$R_{A,tr} > D_{nTA,tr} - 2 dB$
Gesamtheit von Luftöffnungen, Rollladenkästen, Assembly of air openings, casings for screens,	$D_{ne global} > D_{nTA,tr} + 6 - 10 log (V/32) dB$

Wir müssen die Dämmung der gesamten Ausrüstung betrachten. Wenn man zwei Öffnungen von $D_{ne}=36~dB$ hat, haben sie zusammen dieselbe Leistung wie eine Öffnung mit $D_{ne}=33~dB$ (zwei Mal der Schallenergiedurchschnitt durch die beiden Öffnungen, verglichen mit der einen).

Allgemeiner ausgedrückt,
$$D_{ne, global} = -10 log \left(\sum_{1}^{m} n_i 10^{-D_{ne,i}} \right)$$

(36), wobei n_i die Anzahl der Dämmelemente $D_{ne,i}$ ist und m die Anzahl der verschiedenen Dämmelemente $D_{ne,i}$.

We must consider the insulation of the total assembly of equipment. If one has two air openings of $D_{\text{ne}}=36$ dB, they have together the same performance as a single air opening of $D_{\text{ne}}=33$ dB (two times the energy paths through the two openings compared to the one).

More generally,
$$D_{\text{ne, global}} = -10 \log \left(\sum_{1}^{m} n_i 10^{-D_{\text{ne,i}}} \right)$$
 (36),

where n_i is the number of insulating elements $D_{\text{ne},i}$ and m is the number of different insulating elements $D_{\text{ne},i}$.

A4-3.4.2 Zufällige störende (unerwünschte) Übertragungen

Als die wichtigsten gelten diejenigen Übertragungen wegen Dichtigkeitsmängeln zwischen der Öffnung und den fest montierten Teilen der Fenster. Diese Fehler können dadurch abgestellt werden, dass flexible Anschläge im Berührungsbereich des Fensterrahmens gebracht werden. Nichtsdestoweniger kann nichts eine gute Einpassung der Fensterelemente ersetzen. Eine andere Quelle unerwünschter störender Übertragungen ist weniger sichtbar: dies sind Mängel in Form von Lücken zwischen dem Fensterrahmen und dem Mauerwerk, häufig hinter Abdeckstreifen versteckt.

A4-3.4.3 Einige Überlegungen zu Fenstern

Dieselben Vorkehrungen für die akustische Leistung, die im Kapitel A4-2.6.4 für Türen ergriffen wurden, müssen auch für Fenster beachtet werden. Wegen der großen Unterschiede zwischen Labor- und Baustellenarbeitsbedingungen ist es ratsam, Fenster mit einem Laborwert des Schalldämmmaßes R + 2 dB zu wählen, wenn ein tatsächliches Dämmmaß R von dem tatsächlich eingebauten Fenster verlangt wird.

Dieselbe Sorgfalt muss für die Behandlung der Verbindung zwischen Mauerwerk und Fensterrahmen gelten.

Wegen der Art der Fenster, die akustische Leistungen aufweisen können, genügt es nicht, die Glasart zu bestimmen. Diese ist wichtig, wenn sich die Leistung in der Nähe oder oberhalb von 35 dB befindet. In einem solchen Fall sollten gut eingepasste Holz- oder verstärkte Plastikrahmen benutzt werden. Einfachfenster mit Aluminiumrahmen können eine Leistung knapp oberhalb 35 dB aufweisen, das Ergebnis muss jedoch durch eine Labormessung bestätigt werden.

Um ein Gesamtschalldämmmaß in der Nähe oder oberhalb von 40 dB zu erhalten, ist es ratsam, Kastenfenster zu benutzen, da sie im Allgemeinen weniger teuer sind, dies gilt selbst für Aluminiumrahmen, eines der Fenster sollte eine Doppelverglasung haben und das andere ein Einfachglas. Die besten Ergebnisse erzielt man, wenn der Abstand der Gläser der beiden Fenster zwischen 10 cm und 15 cm liegt.

A4-3.4.2 Accidental parasitic (spurious) transmissions

Amongst the most important ones, the transmissions due to tightness faults between the opening and the fixed parts of windows are quoted. These faults can be corrected by putting soft joints on the contact area of the window frame. Nevertheless, nothing can replace a good adjustment of the elements of the windows. Another source of spurious parasitic transmissions is less visible: these are deficiencies in the form of gaps between the window frame and the masonry, frequently masked by covering strips.

A4-3.4.3 Some considerations on windows

The same precautions relative to the acoustic performance taken in chapter A4-2.6.4 for doors must be observed for windows. Because of the big differences between the laboratory and the site working conditions, it is advised to choose windows with a laboratory sound reduction index R + 2 dB if a sound reduction index R is required for the window in the building.

The same care must be taken for the treatment of the junction between the masonry and the window frame.

As for the nature of windows able to achieve an acoustic performance, it does not suffice to determine the type of glass. This is very important when the window performance is near or up to 35 dB. In this case, well adjusted wood or reinforced plastic frames should be used. Simple windows with aluminium frames can achieve a performance just over 35 dB, but it is necessary to confirm the result with a laboratory measurement.

For having an overall sound reduction index near or up to 40 dB, it is advised, because generally less expensive, to use double windows, even with aluminium frames, one of the windows equipped with a double glass and the other with a simple glass. The best results are obtained when the distance of the glasses of the two windows is between 10 cm and 15 cm.

Schall- dämm- klasse Noise insulation	R' _w [dB] von funktionalen eingebauten Fenstern R' _w of	Entwurfsmerkmale Design features	Einfachfenster mit Einfachverglasung Simple window with single glazing	Einfachfenster mit Isolierglas Simple window with insulating glazing	Kombiniertes Fenster mit 2 Ein- fachverglasungen Composite window with 2 simple panes	Kastenartiges Fenster mit 2 Einfachverglasungen Box-type window with 2 simple panes
class	functionally built-in windows		Moos-gummi	Moos-gummi	Moos-gummi	3 75 3
			1 2	1 2	1 2	
1	25 – 20	Verglasung: Gesamtdicke (beide Gläser) Abstand der Gläser R _w – Verglasung Versiegelung glazing: total thickness (both panes) pane distance R _w – glazing seal	≥ 4 mm ≥ 27 dB 1 notwendig ≥ 4 mm ≥ 27 dB 1 necessary	≥ 6 mm ≥ 8 mm ≥ 27 dB nicht notwendig ≥ 6 mm ≥ 8 mm ≥ 27 dB not necessary	≥ 6 mm keine Anforderung - nicht notwendig ≥ 6 mm no requirement - not necessary	keine Anforderung keine Anforderung - nicht notwendig no requirement no requirement - not necessary
2	30 – 34	Verglasung: Gesamtdicke (beide Gläser) Abstand der Gläser R _w – Verglasung Versiegelung glazing: total thickness (both panes) pane distance R _w – glazing	≥ 8 mm - ≥ 32 dB 1 notwendig ≥ 8 mm -	≥ 8 mm ≥ 12 mm ≥ 32 dB nicht notwendig ≥ 8 mm ≥ 12 mm	≥ 8 mm ≥ 30 mm - 1 notwendig ≥ 8 mm ≥ 30 mm	keine Anforderung keine Anforderung - keine Anforderung no requirement no requirement
		seal	≥ 32 dB 1 necessary	≥ 32 dB not necessary	1 necessary	no requirement

Schall- dämm- klasse Noise insulation	R' _w [dB] von funktionalen eingebauten Fenstern R' _w of	Entwurfsmerkmale Design features	Einfachfenster mit Einfach- verglasung Simple window with single glazing	Einfachfenster mit Isolierglas Simple window with insulating glazing	Kombiniertes Fenster mit 2 Ein- fachverglasungen Composite window with 2 simple panes	Kastenartiges Fenster mit 2 Einfachverglasungen Box-type window with 2 simple panes
class	functionally built-in windows		Moos-gummi	Moos-gummi	Moos-gummi	75 3
			1 2	1 2	1 2	
3	35 – 39	Verglasung: Gesamtdicke (beide Gläser) Abstand der Gläser R _w – Verglasung Versiegelung glazing: total thickness (both panes) pane distance R _w – glazing seal	-	- - - ≥ 37 dB 1 notwendig - - - ≥ 37 dB 1 necessary	≥ 8 mm ≥ 40 mm - 1 + 2 notwendig ≥ 8 mm ≥ 40 mm - 1 + 2 necessary	keine Anforderung keine Anforderung - 1 notwendig no requirement no requirement - 1 necessary
4	40 – 44	Verglasung: Gesamtdicke (beide Gläser) Abstand der Gläser R _w – Verglasung Versiegelung glazing: total thickness (both panes) pane distance R _w – glazing seal	- - - - -	- - ≥ 45 dB 1 + 2 notwendig - - ≥ 45 dB 1 + 2 necessary	≥ 14 mm ≥ 50 mm - 1 + 2 notwendig ≥ 14 mm ≥ 50 mm - 1 + 2 necessary	≥ 8 mm ≥ 100 mm - 1 + 2 notwendig ≥ 8 mm ≥ 100 mm - 1 + 2 necessary

Schall- dämm- klasse <i>Noise</i> insulation	R' _w [dB] von funktionalen eingebauten Fenstern R' _w of	Entwurfsmerkmale Design features	Einfachfenster mit Einfach- verglasung Simple window with single glazing	Einfachfenster mit Isolierglas Simple window with insulating glazing	Kombiniertes Fenster mit 2 Ein- fachverglasungen Composite window with 2 simple panes	Kastenartiges Fenster mit 2 Einfachverglasungen Box-type window with 2 simple panes
class	functionally built-in windows		Moos-gummi	Moos-gummi	Moos-gummi	3 75 3
			1 2	1 2	1 2	
5	45 – 49	Verglasung: Gesamtdicke (beide Gläser) Abstand der Gläser R _w – Verglasung Versiegelung glazing: total thickness (both panes) pane distance R _w – glazing seal	-	- - - - - -	≥ 18 mm ≥ 60 mm - 1 + 2 notwendig ≥ 18 mm ≥ 60 mm - 1 + 2 necessary	≥ 12 mm ≥ 100 mm - 1 + 2 notwendig ≥ 12 mm ≥ 100 mm - 1 + 2 necessary
6	≥ 50	Verglasung: Gesamtdicke (beide Gläser) Abstand der Gläser R _w – Verglasung Versiegelung glazing: total thickness (both panes) pane distance R _w – glazing seal		Allgemein gültige Angaben für F General information for w	ensterkonstruktionen sind nicht möglich indow constructions not possible	

Tabelle 2: Beispiele für Fensterkonstruktionen, um vorgegebene Schalldämmmaße zu erzie- Table 2: Examples of window constructions to meet pre-set sound reduction indices len

A4-4 Übertragung von Schall aus Räumen nach Außen – Umweltschutz

A4-4.1 Allgemeines

Dies ist das umgekehrte Problem zum letzten Kapitel. Es handelt sich hier nicht um die Beherrschung des Schalls, der von Außen in einen Raum eindringt, sondern stattdessen handelt es sich darum sicherzustellen, dass in Räumen entstehender Schall die Nachbarschaft nicht beeinträchtigt.

Der in Räumen produzierte Schallpegel kann gelegentlich sehr hoch sein und durch die Wände des Raumes nach Außen dringen und so in der Umgebung Irritationen erzeugen. Das ist der Fall, wenn Schall in Industriegebäuden produziert wird, in lauten Ateliers, in technischen Installationsräumen von Bürogebäuden, in Musikproberäumen, usw.

Das Problem wird in prEN 12354-4 behandelt. Die Norm handelt nur von der Berechnung der Schallenergie, die durch eine Gebäudehülle nach Außen dringt, wenn man die Abmessungen und die akustischen Eigenschaften der Gebäudehülle kennt. In der Realität besteht das Problem aus drei Teilen:

Bestimmung des Geräusches im Rauminneren unter Kenntnis der Schallquellen und ihrer akustischen Energie sowie der Eigenschaften des Raumes, besonders die mehr oder weniger absorbierenden Eigenschaften seiner Wände. Dies kann unter Heranziehung der Dokumente A5 und A6 geschehen.

Bestimmung des Schalldrucks an einem Punkt außerhalb des Raumes in einer bestimmten Entfernung vom Gebäude. Dies ist der Bereich der Schallausbreitung im Freien mit Berechnung des Schallfeldes, was direkt von der Quelle ausgeht, der akustischen Reflexionen anderer Gebäude, der Lage von Hindernissen, die Wirkung des Bodens, der Absorption in der Luft, usw.

A4-4.2 Allgemeine Grundsätze

Der Schall, der von der Gebäudehülle abgestrahlt wird, wird dargestellt, als würde er von einer repräsentativen Punktquelle ausgehen. Jede Punktquelle stellt den Beitrag eines Abschnitts der Gebäudehülle dar. Die Anzahl der benötigten Punktquellen hängt von der Entfernung des äußeren Empfangspunktes ab und von den unterschiedlichen Ausbreitungswirkungen.

Der Schalldruckpegel in Oktavbändern am Empfangspunkt außerhalb des Gebäudes wird ausgehend vom Beitrag jeder einzelnen der repräsentativen Punktquellen mit folgender Gleichung bestimmt:

$$L_p = L_w + D_c + A_{tot} dB$$
 (36)

wobei L_p der Schalldruckpegel in dB am Empfangspunkt ist, der durch Schallausbreitung von der repräsentativen Punktquelle erzeugt wird. L_w ist der Schallleistungspegel in dB der repräsentativen Punktquelle. D_c ist die Richtungsverbesserung der repräsentativen Punktquelle in Richtung auf den Empfangspunkt, ebenfalls in dB ausgedrückt. A_{tot} ist die Gesamtdämpfung in dB, die längs des Ausbreitungsweges von der Punktquelle zum Empfangspunkt auftritt, als Folge der Entfernung, der Absorption in der Luft, irgendwelcher Hindernisse und Reflexionen.

A4-4.3 Bestimmung der repräsentativen Punktquellen

Die Elemente, die zur Gesamtschallausbreitung beitragen, werden in zwei Gruppen eingeteilt:

- Die ebenen Strahler, z. B. Fassaden, Dächer, Fenster, Türen, die aus kleinen Elementen wie z. B. Löchern oder Gittern bestehen.
- Die großen Öffnungen, wie offene Türen oder Fenster und große Ventilationsöffnungen.

A4-4 Transmission of noise created in a room to the outside – Environment protection

A4-4.1 General

This is a problem inverse to that treated in the last chapter. It is now not about the control of noise which penetrates into a room, coming from the outside, but instead to ascertain that the noise produced in a room does not annoy the neighbourhood.

The noise level produced in a room in certain cases may be relatively high and may radiate through the walls of the room to the outside and so cause a nuisance to the environment. This can be the case when noise is generated in industrial buildings, in noisy ateliers, in technical installation rooms in office buildings, in musical rehearsal rooms and so on.

This problem is treated in prEN 12354-4. This standard only deals with the calculation of sound energy radiated through the envelope of a building when one knows the nature, the dimensions and the acoustical performances of that envelope. In reality, the complete problem consists of three parts:

Determination of the interior noise in the room, knowing the noise sources and their acoustic energy, and the characteristics of the room, especially the more or less absorbent qualities of its walls. This can be done using documents A5 and A6.

Determination of the sound pressure at a point situated at the outside, at a certain distance from the building. This is the domain of sound propagation of an exterior sound with the calculation of the acoustic field directly stemming from the source, the acoustic reflections of other buildings, the positioning of obstacles, the effect of the soil, the absorption in the air and so on.

A4-4.2 General principles

The sound radiated by the actual envelope of the building is simulated as if it were radiated by a representative point source. Each point source represents the contribution of a section of the building envelope. The number of point sources needed depends on the distance of the exterior reception point and the variations of the propagation effects.

The acoustic pressure level in octave bands at a reception point outside a building is determined by starting from the contribution of each representative point source following the equation:

where L_p is the sound pressure level in dB at the reception point caused by the acoustic radiation of the representative point source. L_w is the sound power level in dB of the representative point source. D_c is the correction of the directivity of the representative point source in the direction of the reception point, also expressed in dB. A_{tot} is the total attenuation in dB which is created along the propagation path from the representative point source to the reception point, through distance, absorption by the air, any obstacles and reflections.

A4-4.3 Determination of the representative point sources

The elements contributing to the overall sound attenuation are divided into two groups:

- The plane radiators, e. g. facades, roofs, windows, doors, which are composed of small elements, such as grids or holes.
- The great openings such as open doors or windows and big ventilation openings.

Die Gebäudeabschnitte, die durch eine repräsentative Punktquelle abgebildet werden, müssen folgende Bedingungen erfüllen:

- The segments of the building represented by the representative point sources must satisfy the following conditions:
- Die Gesamtdämpfung der Schallausbreitung A_{tot} zum nächsten Empfangspunkt muss für alle Teile dieses Gebäudeabschnitts dieselbe sein.
- Der Abstand zum nächsten Empfangspunkt muss mehr als zwei Mal so groß sein wie die größte Abmessung des Abschnitts.
- Alle Teile des Abschnitts sind dem gleichen Schalldruckpegel aus dem Gebäudeinneren ausgesetzt.
- Alle Teile des Abschnitts müssen denselben Richtungsfaktor aufweisen.

Schließlich muss die Position der repräsentativen Punktquelle für einen senkrechten Gebäudeabschnitt auf zwei Dritteln der Höhe dieses Segments und bezogen auf die Breite in der Mitte liegen. Bei nicht senkrechten Abschnitten liegt die Punktquelle im Mittelpunkt des Abschnitts.

A4-4.4 Berechnung des Schallleistungspegels einer repräsentativen Punktquelle

A4-4.4.1 Der Fall eines Abschnitts, der aus den Strukturelementen der Gebäudehülle besteht (Gruppe der ebenen Strahler)

Der Schallleistungspegel von Strukturelementen wird ausgedrückt durch:

- The total attenuation of the propagation A_{tot} towards the nearest reception point must be the same for all the elements of a segment.
- The distance to the nearest reception point must be more than twice the largest dimension of the segment.
- All the elements of a segment are subject to the same interior sound pressure level in the building.
- All the elements of a segment must have the same directivity.

Finally, the position of the representative point source, corresponding to a vertical segment, must be two thirds of the height of the segment and be placed in the middle of its width. In case of non-vertical segments, the point source is placed at the centre of the segment.

A4-4.4 Calculation of the sound power level of a representative point source

A4-4.4.1 The case of a segment consisting of structural elements of the building envelope (group of plane radiators)

The sound power level of structural elements is given by:

$$L_w = L_{p,in} + C_d - R' + 10 \log (S/S_0) dB$$
 (37)

wobei $L_{\text{p,in}}$ der Schalldruckpegel im Gebäudeinneren in einem Abstand von 1 m bis 2 m vom Abschnitt in dB ist. C_{d} ist der Diffusitätsterm des inneren akustischen Feldes auf der Höhe des Segments in dB. R' ist das Schalldämmmaß, das im Abschnitt erscheint, in dB. S ist die Oberfläche des Abschnitts in m^2 . S_0 ist eine Referenzfläche (= 1 m^2).

<u>Abschätzung für den Diffusitätsterm C_g :</u> Die Messung eines Schalldruckpegels im Inneren eines Raumes, in der Nähe einer Wand wird durch die mehr oder weniger absorbierenden Eigenschaften dieser Wand beeinflusst. Die o. g. vorläufige Norm gibt eine Tabelle mit Werten an, die in den meisten allgemeinen Fällen verwendet werden kann.

where $L_{p,in}$ is the sound pressure level 1 m or 2 m away from the segment at the inside of the building in dB. C_d is the diffusivity term for the internal acoustical field at the level of the segment in dB. R' is a sound reduction index appearing at the segment in dB. S is the surface of the segment in m². S_0 is a reference surface (=1 m²).

<u>Evaluation of the diffusivity term $C_{\underline{d}}$:</u> The measurement of a sound pressure level inside a room, near a wall is influenced by the more or less absorbing nature of that wall. the provisional standard quoted above gives a table of values to be used in most common cases.

Platz des Messpunktes Place of the measuring point	C _d in dB
Vor einer reflektierenden Fläche in einem relativ kleinen Raum mit einem diffusen akustischen Feld In front of a reflecting surface in a relatively small room with a diffuse acoustical field	-6
Vor einer absorbierenden Fläche in einem relativ kleinen Raum mit einem diffusen akustischen Feld In front of an absorbing surface in a relatively small room with a diffuse acoustical field	-3
Große, flache Raumvolumen oder lange Hallen mit vielen Schallquellen (industrieller Arbeitsbereich) vor einer reflektierenden Oberfläche Large, flat volumes or long halls with many noise sources (industrial work area) in front of a reflecting surface	-5
Industrieller Arbeitsbereich mit wenigen dominanten Schallquellen vor einer reflektierenden Fläche Industrial workplace with few dominant noise sources in front of a reflecting surface	-3
Industrieller Arbeitsbereich mit wenigen dominanten Schallquellen vor einer absorbierenden Fläche Industrial workplace with few dominant noise sources in front of an absorbing surface	0

Tabelle 3: Diffusitätsterm C_d für verschie-dene Räume

Table 3:

Diffusivity term C_d for different rooms

Bewertung des Bau-Schalldämmmaßes auf dem Abschnitt:

Evaluation of the apparent sound reduction index at the segment:

$$R' = -10 \cdot log_{10} \left[\sum_{i=1}^{m} \frac{S_i}{S} \cdot 10^{-R_i/10} + \sum_{i=m+1}^{m+n} \frac{A_0}{S} \cdot 10^{-D_{n,e,i}/10} \right] dB$$
 (38)

wobei R_i das Schalldämmaß des Elements i in dB ist. S_i ist die Oberfläche dieses Elements in $m^2.\ S$ ist die Oberfläche des Abschnitts in $m^2.\ D_{n,e,i}$ ist die Norm-Schalldämmung eines kleinen Bauteils i in dB. A_0 ist die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche (= 10 $m^2).$ m ist die Anzahl der Elemente auf der Gesamtfläche des Abschnitts. n ist die Anzahl kleiner Elemente auf dem Abschnitt.

where $R_{\rm i}$ is the sound reduction index of the element i in dB. $S_{\rm i}$ is the surface of that element in m^2 . S is the surface of the segment in m^2 . $D_{\rm n,e,i}$ is the normalised acoustic insulation of a small element i in dB. A_0 is reference equivalent absorption area (= 10 m^2). m is the number of elements on the overall surface of the segment. n is the number of small elements of the segment.

A4-4.4.2 Für einen offenen Abschnitt ("große Öffnungen" werden im Kapitel A4-4.3 besprochen)

A4-4.4.2 For an open segment ("great openings" are given in chapter A4-4.3)

$$L_{w} = L_{p,in} + 10 \cdot log_{10} \sum_{i=1}^{i=k} \frac{S_{i}}{S} \cdot 10^{-D_{i}/10} dB$$
 (39)

wobei S_i die Fläche der Öffnung i in m^2 ist. S ist die Fläche der Summe aller Öffnungen auf diesem Abschnitt in m^2 . D_i ist die Dämmung durch einen möglichen Schalldämpfer in der Öffnung i in dB (wenn keine Schalldämpfer vorhanden sind, D_i = 0). k ist die Anzahl der Öffnungen auf diesem Abschnitt.

where S_i is the surface of the opening i in m^2 . S is the surface of the sum total of the openings of a segment in m^2 . D_i is the attenuation of a possible silencer in the opening i in dB (if there are not any silencers, $D_i = 0$). k is the number of openings in the segment.

A4-4.5 Bestimmung der Korrektur der Richtwirkung einer repräsentativen Punktquelle

A4-4.5 Determination of the correction of the directivity of a representative point source

Die Korrektur der Richtwirkung $D_{\rm c}$ entspricht der tatsächlichen Richtung des abstrahlenden Elements oder der abstrahlenden Öffnung, beschrieben durch das Richtwirkungsmaß $D_{\rm i}$ (im Prinzip 10 log Q mit Q = Richtung der Quelle). Sie könnte noch vervollständigt werden durch den Effekt von benachbarten harten Flächen, die durch das Raumwinkelmaß D_{Ω} beschrieben werden, wodurch Ω der Raumwinkel ist, in den sich die Abstrahlung entwickelt, in Steradiant.

The correction of the directivity D_c corresponds to the actual directivity of the radiating element or opening, characterised by the directivity index D_i (in principle, 10 log Q with Q = directivity of the source). It could also be completed by the effect of neighbouring hard surfaces, characterised by the solid angle index D_Ω , where Ω is the solid angle in which the radiation develops, in steradians.

$$D_{C} = D_{i} + D_{\Omega} = D_{i} + 10 \log (4 \pi / \Omega)$$

Wenn die reflektierende Oberfläche das Gebäude selber ist, entspricht der Raumwinkel 2 π und D_Ω entspricht 3 dB. In der Praxis vor einer ebenen Fläche variiert D_c zwischen -5 dB und +5 dB; man kann für das durchschnittliche D_c = 0 dB Abstrahlungswinkel zwischen 0° und 90° bezogen auf die Flächennormale annehmen.

If the reflecting surface is the building itself, the solid angle equals 2 π and D_Ω equals 3 dB. In practice, in front of plane, D_c varies between -5 dB and +5 dB; one could take the average $D_c=0$ dB for radiation angles between 0° and 90° relative to the normal on the plane.

A4-4.6 Anwendungsbeispiel

A4-4.6 Example for application

Zwei Gebäude stehen 21 m auseinander. Das linke ist ein Bürogebäude, welches auf dem obersten Geschoss eine technische Anlage mit Belüftung und Klimaanlage aufweist. Das rechte Gebäude ist ein Wohngebäude.

Two buildings are 21 m apart. The one to the left is an office building which on the last level has a technical installation with ventilation and air-conditioning. The building on the right is a residential building.

Abmessungen der technischen Anlage: 12 m lang, 7,2 m tief und 3 m hoch.

Dimensions of the technical installation: 12 m long, 7,2 m deep and 3 m high.

Die technische Anlage hat eine große Öffnung in der Fassade als Lufteinlass, mit einem Gitter von 6 m Länge und 1,5 m Höhe ausgestattet. Auf dem Dach ist ein gemauerter Luftauslass, mit einem Gitter von 1 m² ausgestattet, für die Verbindung der Raumluft mit der Umgebung verantwortlich.

The technical installation has a great opening at the façade as an air intake, equipped with a grid which is 6 m long and 1,5 m high. One the roof, a brick air outlet, equipped with a grid of 1 m², makes the communication of the room air with the outside space.

Vor der Errichtung des Bürogebäudes musste überprüft werden, dass das Geräusch von dieser technischen Anlage für die Bewohner des Wohngebäudes keine Belästigung darstellen würde.

Before the construction of the office building, it was important to verify that the noise coming from the technical installation would not constitute a source of irritation for the occupants of the residential building.

Um dies sicherzustellen, wurde ein äußerer Empfangspunkt genau gegenüber der technischen Anlage auf dem Obergeschoss des Wohngebäudes gewählt. Dieser Punkt ist dem Schall, der vom Gitter des Lufteinlasses kommt, ausgesetzt und liegt dem Gitter des Luftauslasses gegenüber.

To ascertain that, an exterior reception point was chosen right opposite the centre of the technical installation on the last level of the residential building. This point is exposed to the noise coming from the grid of the air intake and is opposite the grid of the air outlet.

In der vorläufigen Norm wird angedeutet, dass der größte

In the provisional standard it is indicated that the maximum

Abstand vom Abschnitt unter $\frac{d}{4}\sqrt{2}$ liegen sollte, wobei d der

dimension of the segment should be below $\frac{\mathrm{d}}{4}\sqrt{2}$, where d is

Abstand des Empfangspunktes zum Gebäudeabschnitt ist. Demnach sollte in unserem Fall die größte Abmessung des Abschnitts nicht größer als 7,4 m sein.

the distance from the reception point to the segment. In our case, the largest dimension of the segment should not be above 7,4 m.

Für die Fassade der technischen Anlage könnte man 5 Segmente betrachten, die in der Zeichnung im Bild 23 mit den Buchstaben E bis I gekennzeichnet sind. Bezüglich des homogenen Daches genügen 4 Segmente, bezeichnet mit A bis D (Bild 24). Die Sternchen in beiden Bildern zeigen den Platz der repräsentativen Punktquellen an.

For the façade of the technical installation, one could consider 5 segments marked by the letters E to I in the sketch of Figure 23. Regarding the roof, more homogeneous, 4 segments marked from A to D suffice (Figure 24). The stars in the two figures indicate the places of the representative point sources.

Der Ausgangspunkt der in den Bildern 23 und 24 gezeigten Koordinaten ist der Empfangspunkt, der auf der Achse der technischen Anlage 1 m unterhalb des Daches dieses Raumes und in einer Entfernung von 21 m von dessen Fassade liegt.

The origin of the co-ordinates shown in Figures 23 and 24 is the reception point, situated in the axis of the technical installation 1 m below the roof of that room and at a distance of 21 m from its façade.

Die Wände der technischen Anlage sind 14 cm Beton. Das Dach ist leicht (Stahllochblech, Mineralwolle mit mehrlagigem Feuchteschutz). Die Gitter des Lufteinlasses und des Ablasses sind aus 2 cm Stäben gemacht und die Öffnungen zwischen ihnen betragen 10 cm.

The walls of the technical installation are of 14 cm concrete. The roof is light (perforated steel sheet, mineral wool with multi-layer water protection). The grids of the air intake and the outlet are made of 2 cm bars and the openings in between are 10 cm.

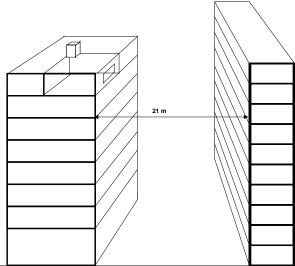


Bild 22: Beispiel – Schall erzeugt durch eine techni- Figure 22: sche Anlage

Example – Noise generated by a technical installation

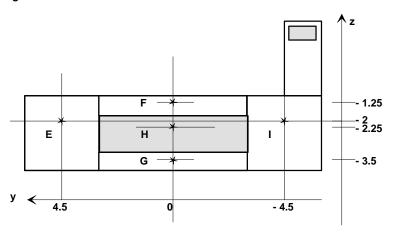


Bild 23: Segmenteinteilung der Fassade der techni- Figure 23: schen Anlage

Segmentation of the façade of the technical installation

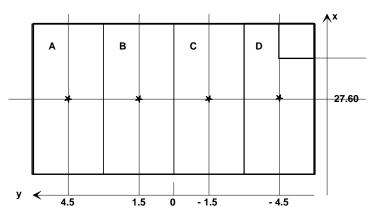


Bild 24: Segmenteinteilung des Daches der techni- Figure 24: schen Anlage

Segmentation of the roof of the technical installation

Frequenz (Hz) Frequency (Hz) Material der Wände Nature of walls	125	250	500	1000	2000	4000
14 cm Beton						
14 cm concrete	35	44	52	58	66	72
Dachbedeckung Roofing	24	32	33	40	48	49

Tabelle 4: Frequenzabhängige Schalldämmmaße der verschiedenen Wände in dB

Table 4: Frequency-dependent sound reduction indices of different walls in dB

Berechnung der Schallleistungspegel an jedem Dachelement:

<u>Calculation of the sound power levels on each of the segments of the roof</u>

<u>Dach:</u> Die Segmente A, B und C haben identische Abmessungen und sind demselben Schalldruckpegel von innen ausgesetzt. Das Segment D hat eine kleinere Fläche, da es den Luftauslass aufnimmt.

Roof: The segments A, B and C are of the same dimensions and are subject to the same interior sound pressure level. The segment D has a smaller surface because of the presence of the air outlet.

	mente	Maßgebliche Werte	che Mittenfrequenzen bei Oktavintervallen Middle frequencies at octave intervals							
Seg	yments	Extension	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		
1	Alla Oa maa a sata	L _{p,in} (1)	68	68	57	49	39	40		
2	Alle Segmente All segments	C _d (2)	-3	-3	-3	-3	-3	-3		
3	All segments	R	24	32	33	40	48	49		
4	A, B, C mit einer Fläche	10 log (S/S ₀)	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3		
5	von jeweils 21,6 m ²	D _c (3)	0	0	0	0	0	0		
6	A, B, C of the surface of 21.6 m ²	L _w + D _c (4)	54,3	46,3	34,3	19,3	12,9	12,9		
7	D mit einer Fläche von	10 log (S/S ₀)	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9		
8	19,35 m ²	D _c (3)	0	0	0	0	0	0		
9	D of the surface of 19,35 m ²	L _w + D _c	53,9	45,9	33,9	18,9	0,9	0,9		

Tabelle 5: Berechnung der Schallleistungspegel von jedem Dachsegment

Table 5: Calculation of the sound power level on each of the segments of the roof

Kommentar:

- (1) Der innere Schalldruckpegel ergibt sich aus einer Berechnung, die mit dem Schallleistungspegel der im Raum angeordneten Maschinen beginnt, den Absorptionskoeffizienten der Wände und den räumlichen Bedingungen (siehe Dokument A6).
- (2) Der Diffusitätsterm C_d ist der, der in Tabelle 3 des Kapitels A4-4.4.1 vorgesehen wurde, da die Wand mit einem absorbierenden Material beschichtet ist.
- (3) Die Richtwirkungskorrektur D_c entspricht der Leistung, die zugrunde gelegt wird, wenn das Segment eben und reflektierend ist.
- (4) $L_w + D_c$ entspricht den Linien 1 + 2 3 + 4 + 5.

<u>Fassade:</u> Die Segmente E und I sind vergleichbar (dieselbe Oberfläche, dieselben Wände, keine Absorption auf der Innenfläche, derselbe Schalldruck auf der Innenfläche), die Segmente F und G sind ähnlich, das Segment H entspricht dem Gitter des Lufteinlasses.

Commentary:

- (1) The interior sound pressure level results from a calculation starting with the sound power levels of machines installed in the room, the absorption coefficients of the walls and the spacing conditions of the room (see document A6).
- (2) The diffusivity term C_d is the one foreseen in Table 3 of chapter A4-4.4.1, since the wall is covered with an absorbent material.
- (3) The directivity correction D_c corresponds to the performance used where the segment is plane and reflecting.
- (4) $L_w + D_c$ corresponds to the lines 1 + 2 3 + 4 + 5.

<u>Façade:</u> The segments E and I are comparable (same surface, same walls, not absorbent at the inside, same sound pressure on the inner surface), the segments F and G are similar, the segment H corresponds to the grid of the air intake.

_	mente	Maßgebliche Werte			equenzen be frequencies			
Seg	ments	Extension	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1		$L_{p,in}$	68	68	57	49	39	40
2	E, F, G und / and I	C _d (1)	-5	-5	-5	-5	-5	-5
3		R	35	44	52	58	66	72
4	E und I mit einer Fläche	10 log (S/S ₀)	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3
5	von 9,0 m²	D _c (2)	3	3	3	3	3	3
6	E and I of the surface of 9,0 m ²	L _w + D _c	40,5	31,5	12,5	-1,5	-19,5	-24,5
7	F und G mit einer Fläche	10 log (S/S ₀)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
8	von 4,5 m ²	D _c (2)	3	3	3	3	3	3
9	F and G of the surface of 4,5 m ²	L _w + D _c	37,5	28,5	9,5	-4,5	-22,5	-27,5
10		$L_{p,in}$	68	68	57	49	39	40
11	U seit einen Eläcke von	C _d (3)	0	0	0	0	0	0
12	H mit einer Fläche von 9 m²	R (4)	1	1	1	1	1	1
13	H of the surface of 9 m ²	10 log (S/S ₀)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
14	TI OI LITE SUITACE OF 9 III	D _c (5)	8,5	9	9	9	9	9
15		L _w + D _c	85	85,5	74,5	66,5	56,5	57,5

Tabelle 6: Berechnung der Schallleistungspegel von jedem Fassadensegment

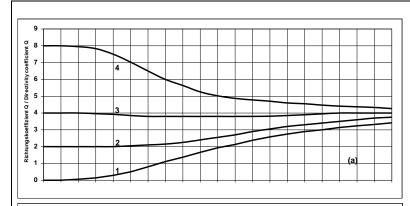
Table 6: Calculation of the sound power level on each of the segments of the façade

Kommentar:

- (1) Der Diffusitätsterm $C_{\rm d}$ ist der in Tabelle 3 für reflektierende Wände vorgesehene.
- (2) Eines ist gegenüber einer ebenen reflektierenden Wand.
- (3) Man kann davon ausgehen, dass im Inneren der technischen Anlage das Gitter für den Lufteinlass einer absorbierenden Fläche entspricht.
- (4) Die Öffnungen des Gitters machen 4/5-tel seiner Gesamtoberfläche aus. Man wendet die Gleichung für ein begrenztes Schalldämmmaß an (siehe Kapitel A4-2.6.2).
- (5) Die Richtwirkung des Gitters wird unter Zuhilfenahme des Abakus im Kapitel A4-... bestimmt.

Commentary:

- The diffusivity tern C^d is the one foreseen in Table 3 when the wall is reflecting.
- One is opposite a plane reflecting wall.
- (3) One can consider that at the interior of the technical installation the grid of the air intake is similar to an absorbing product.
- (4) The openings in the grids represent 4/5th of the overall surface. One applies the equation for the limited sound reduction index (see chapter A4-2.6.2).
- (5) The directivity of the grid is determined using the abacus in chapter A4-...



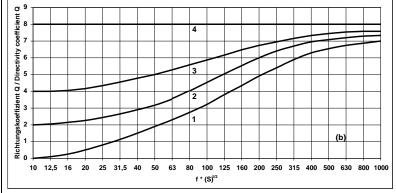


Bild 25: Richtungseffekt Q als eine Funktion aus dem Figure 25: Produkt der Frequenz in Hz und dem Quadrat der Schallaustrittsfläche S in m²

- a) ist für eine schräge Richtung vom Mittelpunkt des Auslasses zum Empfangspunkt
- b) ist in Richtung der Flächennormale

Anordnung des Luftauslasses

Anordnung des Luftauslasses Location of the air outlet

- Der Kanal wird durch die Wand geführt The duct crosses through the wall
- 2 Auf der Wand weit von anderen Wänden entfernt
 - On the wall far from other walls
- 3 In der N\u00e4he eines Winkels zweier W\u00e4nde Near the angle of two walls
- 4 In der Nähe einer Raumecke Near a corner

Directivity effect Q as a function of the product of the frequency in Hz and the square of the sound outlet area S in m²

- a) is for an oblique direction from the centre of the outlet and the reception point
- b) is for a normal direction

In unserem Fall ist D_c = 10 log (Q), die Richtung ist "in Richtung Flächennormale", der Auslass ist in der Wandmitte (Fall 2), $S^{1/2}$ = 3 und die Werte für Q sind in Tabelle 7 angegeben.

In our case, D_c = 10 log (Q), the direction is "normal", the outlet is in the middle of the wall (case 2), $S^{1/2}$ = 3 and the values of Q are given in Table 7.

f	125	250	500	1000	2000	4000
f · S ^{1/2}	375	750	1500	3000	6000	12000
Q	6,8	7,3	8	8	8	8
10 log Q	8,5	9	9	9	9	9

Tabelle 7: Bestimmung der Richtungsfaktoren für das Table 7: Directivity factors' calculation for segment H Segment H

<u>Gitter des Luftauslasses:</u> Dieses Gitter liegt auf einem gemauerten Schornstein. Seine Höhe ist 90 cm und die Breite 1,2 m. Der Schornstein hat eine Öffnung gleicher Abmessungen wie bei der technischen Anlage. Die Schallleistung, die in den Schornstein eintritt, entspricht dem Schalldruckpegel im Raum, um 10 log (S/S $_0$) erhöht. Dieser Schalldruck wird teilweise aufgebraucht durch die beiden Effekte der Krümmungen (einer am Eingang des Schornsteins und einer am Ausgang), durch den Schornstein selbst (gerade Länge 4 m) und durch die Reflexion am Eingang. Es ist dieser Schalldruck, der für die Kalkulation gemäß Tabelle 8 herangezogen wird.

Grid of the air outlet: This grid is on a brick chimney. Its height is 90 cm and its width 1,2 m. The chimney has an opening of the same dimensions as in the technical installation. The sound power entering the chimney is equal to the sound pressure level in the room, increased by 10 log (S/S₀). This acoustic pressure is partly consumed by the two effects of the elbow (one at the entrance of the chimney and one at its exit), by the chimney itself (straight length 4 m) and by the reflection at the entrance. It is this acoustic pressure which is taken into account in the calculation of Table 8.

	Segmente Segments	Maßgebliche Werte Extension			•	n bei Oktavint s at octave in		
	Segments	LXIENSION	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
1	Cittor am Luftouologo	L _{w, grid}	60	54	46	43	33	34
2	Gitter am Luftauslass Grid of air outlet	D _c (1)	7	8	8,5	9	9	9
3	Grid or all outlet	L _w + D _c	67	62	54,5	52	42	43

Tabelle 8: Berechnung des Schallleistungspegels des Table 8: Calculation of the sound power level of the air outlet

Kommentar: Wie beim Gitter an der Fassade wurde das Richtwirkungsmaß mit Hilfe des Abakus bestimmt (Tabelle 7).

Berechnung des Schalldruckpegels am Empfangspunkt

Für jede repräsentative Punktquelle ist der resultierende Schalldruckpegel am Empfangspunkt $L_p = L_w + D_c - 10 \ log \ (4 \ \pi \ d^2) \ , \ wobei \ d \ der \ Abstand \ des \ repräsentativen Punktes vom Empfangspunkt ist.$

Mit $d^2=x^2+x^2+z^2$, x, y und z sind die Koordinaten der Punktquelle, wobei sich der Empfangspunkt bei x=0, y=0 und z=0 befindet.

Commentary: As in the case of the grid at the façade, the directivity index has been calculated with the help of the abacus (Table 7).

Calculation of the sound pressure level at the reception point

For each representative point source, the sound pressure level produced at the reception point is $L_p = L_w + D_c - 10 \ log \ (4 \ \pi \ d^2) \ , \ where \ d \ is the distance of the representative point source from the reception point.$

With $d^2 = x^2 + x^2 + z^2$, x, y and z being the co-ordinates of the point source, the point of reception being at x = 0, y = 0 and z = 0.

Punktquelle Point source	х	у	Z	d ²	10 log (4 π d ²)
Α	24,6	4,5	-1	626	39
В	24,6	1,5	-1	608	39
С	24,6	-1,5	-1	608	39
D	24,6	-4,5	-1	626	39
E	21	4,5	-2	445	38
F	21	0	-1,25	443	37
G	21	0	-3,5	453	38
Н	21	0	-2,25	446	37
	21	-4,5	-2	445	38
Gitter am Auslass Grid of the outlet	26,7	5,25	1,5	743	40

Tabelle 9: Berechnung von $10 \log (4 \pi d^2)$

Table 9: Calculation of $10 \log (4 \pi d^2)$

Frequenz (Hz)							Frequenz (Hz)			
Frequency (Hz)							Frequency (Hz)			
	405	050	500	4000	0000	4000				
	125	250	500	1000	2000	4000				
Punktquelle							dB(A)			
Point source							(A)			
A	15	7	-5	-20	-38	-38	2			
В	16	8	-4	-19	-37	-37	3			
C	16	8	-4	-19	-37	-37	3			
D	15	7	-5	-20	-38	-38	2			
E	3	-6	-25	-39	-57	-62	-11			
F	0	-9	-28	-42	-60	-65	-14			
G	0	-9	-28	-42	-60	-65	-14			
H	48	48	37	29	19	20	41			
I	3	-6	-25	-39	-57	-62	-11			
Gitter am Auslass	27	22	15	12	2	3	19			
Grid of the outlet	۷.	22	13	12		3	19			
	Gesamtpegel									
	Ove	erall leve	1				41			

Tabelle 10: Berechnung des erwarteten frequenzabhängigen Schalldruckpegels in dB/dB(A) am Empfangspunkt

Dieser Pegel von 41 dB(A) wird von den Bewohnern des Wohngebäudes, die am meisten ausgesetzt sind, wahrgenommen, besonders in Sommernächten, wenn die Fenster der Wohnbereiche geöffnet sein könnten.

Anmerkung:

Diese Berechnungen werden häufig mit Hilfe eines Programms durchgeführt, welches in eine Berechnungstabelle integriert ist. Wenn das Programm gut entworfen ist, ist es nicht umständlicher, den Pegel, der von 10 repräsentativen Punktquellen herrührt, zu berechnen als die Berechnung des Pegels, der von 2 oder 3 Punktquellen herrührt.

Es ist dagegen möglich, die Anzahl der Berechnungen zu begrenzen, indem eine erste Annäherung an den Pegel, in dB(A) ausgedrückt, vorgenommen wird.

Table 10: Calculation of the expected frequencydependent sound pressure level in dB/dB(A) at the reception point

This level of 41 dB(A) is liable to be perceived by the occupants of the residential building who are most exposed, especially at night, in the summer, when the windows of the living areas could be opened.

Note: These calculations are frequently realised with the help of a programme integrated into a calculation table. When the programme is well designed, it is not more complicated to calculate the level originating from 10 representative point sources than it would be

to calculate the levels stemming from 2 or 3.

However, it is possible to limit the number of calculations by making a first approximation of the level expressed in dB(A).

In Kenntnis des Schallspektrums im Inneren des Gebäudes und des frequenzabhängigen Schalldämmmaßes der Wände kann der Pegel in dB(A) für ein Emissionsgeräusch berechnet werden, und eine Abschätzung des Schalldruckpegels auf der Außenseite jeder Wand ist möglich. Unter Benutzung eines durchschnittlichen Abstands der Wände zum Empfangspunkt erhält man eine Abschätzung, möglicherweise grob, aber oft ausreichend, des Pegels, der am Empfangspunkt empfunden wird. Für eine komplette Berechnung benötigt man nur die Elemente, die einen großen Schalldruckpegel aufweisen.

Knowing the spectrum of the noise at the interior of the location and the sound reduction index of the walls as a function of the frequency level in dB(A) for an emission noise can be calculated and an estimate of the sound pressure level at the exterior, opposite each wall can be made. Using an average distance of the walls to the reception point, one has an estimation, possibly rough, but frequently sufficient, of the level which would be perceived at the reception point. For the complete calculation, one does only require the elements giving a significant value of the sound pressure level.

Hz	125	250	500	1000	2000	4000	dB(A)
Abstrahlgeräusch L _{p,in} Emission noise, L _{p,in}	68	68	57	49	39	40	61
R Beton, 14 cm R concrete, 14 cm	35	44	52	58	66	72	
Übertragungspegel, L _{p,ext} <i>Transmission level, L_{p,ext}</i>	33	22	5	-9	-27	-32	18,5 (1)
R Dachbedeckung R roofing	24	32	33	40	48	49	
Übertragungspegel, L _{p,ext} <i>Transmission level, L_{p,ext}</i>	44	36	25	9	-9	-9	31 (2)

Tabelle 11: Beispiel des vorangegangenen Falls

Kommentar:

(1) Wenn man den Pegel um 10 log S erhöht, wobei S die Gesamtoberfläche des Betonteils der Fassade ist (in die-

von weniger als 10 dB(A) ergeben würde.

von 33 dB(A), der bei einem Mindestabstand von 21 m (Abstand vom Hörerpunkt ab der Wand bzw. der Fassade) einen Schalldruckpegel von weniger als 0 dB(A) erreicht.

(2) Selbst wenn man diesen Wert um 10 log S erhöht, wobei S die Gesamtfläche des Daches ist (das sei hier 86,4 m²), erhält man einen Schallleistungspegel von 50 dB(A), der in der Mindestentfernung von 21 m (Abstand vom Hörerpunkt

sem Fall 27 m²), erhält man einen Schallleistungspegel

ab dem Dach bzw. der Fassade) einen Schalldruckpegel

Auf diese Weise kann man die Berechnung der Punktquellen A, B, C, D, E, F, G, H und I vermeiden. Nur die dem Lufteinlassgitter an der Fassade und dem Luftauslassgitter am Schornstein entsprechenden Punktquellen verdienen eine komplette Berechnung.

A4-5 Trittschalldämmung

A4-5.1 Allgemeines

In Gebäuden beschäftigt sich der größere Teil der Richtlinien und Empfehlungen prinzipiell mit Stößen auf Böden, die im allgemein zugänglichen Teil von Wohnbereichen produziert werden. Der Ursprung solcher Stöße sind schreitende Menschen, das Fallen von Gegenständen, das Rücken von Stühlen, usw.

Der Stoß auf den Boden leitet an die Wand eine weit höhere Energie weiter, verglichen mit dem Auftreffen einer Luftschallwelle auf diese Wand. Die Stoßenergie breitet sich durch den gesamten Boden und die mit ihm verbundenen Wände mit einer Geschwindigkeit aus, die der Schallgeschwindigkeit in dem betreffenden Material entspricht.

Der Trittschall wird nicht nur in den Raum unmittelbar unter dem Raum, wo er entsteht, weiter geleitet (senkrechte Übertragung), man muss auch die Übertragung in benachbarte Räume auf derselben Ebene (horizontale Übertragung) oder auf die Ebene darunter (diagonale Übertragung) berücksichtigen (Bild 26).

Table 11: Example used of the preceding case

Commentary:

- (1) Even if one increases this level by 10 log S, where S is the overall surface of the concrete parts of the façade (in this case 27 m²), one obtains a sound power level of 33 dB(A), which at a minimum distance of 21 m (distance of the listening point from the wall, respectively the façade), one gets a sound pressure level of less than 0 dB(A).
- (2) Even if one increases that value by 10 log S, where S is the total surface of the roof (be it 86,4 m²), one obtains a sound power level of 50 dB(A), which at a minimum distance of 21 m (distance from the listening point to the roof, respectively the façade) would give a sound pressure level of less than 10 dB(A).

Thus, one can avoid the calculation of the point sources A, B, C, D, E, F, G, H and I. Only the point sources corresponding to the grid of the air intake on the façade and the air outlet on the chimney on the wall should merit a complete calculation.

A4-5 Impact sound insulation

A4-5.1 General

In buildings, the bigger part of regulations and recommendations concern themselves principally with impacts on floors, produced in the generally accessible parts of residential areas. The origin of these impacts foreseen are walking individuals, the fall of objects, the pushing of chairs, etc.

The impact on a floor relates to the wall an energy quite superior to that associated with the impact of an airborne acoustical wave on that wall. The impact energy is propagating through the entire floor and the walls connected with it, with a speed which is the sound speed in the materials concerned.

The impact sound is not only transmitted to the room situated just below the room where the impact noise is produced (vertical transmission), one must also consider the transmission to the adjacent room at the same level (horizontal transmission) or at the next lower level (diagonal transmission) seen from above (Figure 26).

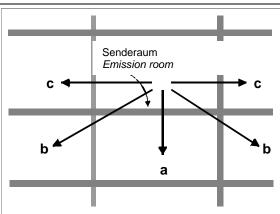


Bild 26:

Trittschall breitet sich nicht nur als senkrechte Übertragung (a) in den Raum unter dem Senderaum aus, sondern darüber hinaus als diagonale Übertragung (b) oder als horizontale Übertragung (c)

Figure 26:

Impact sound is propagated not only as vertical transmission (a) in the room situated below the emission room, but also as diagonal transmission (b) or as horizontal transmission (c)

A4-5.2 Grundsätze

Die Trittschalldämmung wird definiert als der gemessene Schallpegel in einem Raum, wenn der Boden in einem anderen Raum durch eine Maschine, die genormte Stöße produziert, angeregt wird. Diese Maschine hat fünf zylindrische Hämmer von 500 g, die aus einer Höhe von 4 cm auf den Boden fallen und zehn Stöße pro Sekunde erzeugen. Dies entspricht nicht ganz den Stößen durch eine schreitende Person, hat jedoch den Vorteil, einen wiederholbaren Test zu ermöglichen. Seien wir daran erinnert, dass die Wiederholbarkeit unentbehrlich ist, um eine Vorplanung derjenigen Maßnahmen zu ermöglichen, die man ergreifen muss, um ein durch Vorschriften oder Vertragsvereinbarungen beschriebenes Ziel zu erreichen. Man muss auch erkennen, dass die Hierarchie der geprüften Lösungen durch diese Stoßmaschine im Allgemeinen nahe derjenigen liegt, die durch tatsächliche Tritte durch Bewohner dieser Räumlichkeiten erzeugt werden.

Wie bei Luftschall gibt es auch hier eine direkte Übertragung durch den Boden, der die beiden Räume, die übereinander angeordnet sind, trennt und seitliche Übertragungen durch die Wände im Empfangsbereich, der mit dem Boden verbunden ist (Bild 27).

A4-5.2 **Principles**

The impact sound insulation is defined by the sound level measured in a room when the floor of another room is excited by a machine generating standardised impacts. This machine carries five cylindrical hammers of 500 g, falling from a height of 4 cm on the floor, making ten impacts per second. This is not totally representative of the impacts made by a walking person, but it has the advantage of allowing for a repeatable test. Let us recall that the repeatability is indispensable to allow for a preplanning of the dispositions to take to reach an objective fixed by a regulation or a contractual agreement. Let us also note that the hierarchy of solutions tested by the impact machine is generally close to those experienced by actual impacts produced by occupants of locations.

As with airborne sound, there is a direct transmission through the floor separating the two rooms located above each other and lateral transmissions by the walls linked to that floor in the reception area (Figure 27).

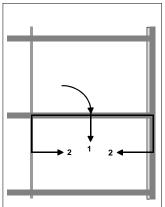


Bild 27:

Übertragung von Trittschall. Es gibt nur eine seitliche Übertragung an der Verbindung des Bodens mit den Wänden, den Trennwänden oder der Fassade

1 - direkte Übertragung durch den Boden

2 - seitliche Übertragung

Figure 27:

Transmission of impact sound. There is only one lateral transmission at the junction of the floor and the walls, separating walls or façade

1 - transmission direct through the floor

2 - lateral transmission

A4-5.3 Der Trittschallpegel

In einem ersten Versuch betrachten wir die senkrechte Übertragung, danach bewerten wir die Unterschiede, die wir berücksichtigen, um eine Abschätzung der horizontalen und diagonalen Übertragungen zu erhalten.

A4-5.3 The level of impact sound

In a first attempt, we examine the vertical transmission, afterwards we evaluate the differences we need to take to obtain an assessment of the horizontal and diagonal transmissions.

A4-5.3.1

A4-5.3.1 Verwendete Terminologie

Trittschallpegel

Das ist der Schalldruckpegel L als eine Funktion der Frequenz, die im Empfangsraum in Oktav- oder Terzintervallen gemessen wird. In Labors werden die Messungen in Terzintervallen durchgeführt. In bestehenden Gebäuden werden diese Prüfungen normalerweise in Oktavintervallen ausgeführt.

Norm-Trittschallpegel

$$L_n = L + 10 \log (A/A_0)$$
 in dB

 $L_n = L + 10 \log (A / A_0)$ in dB (40)

A ist die äquivalente Absorptionsfläche in m², die man im Empfangsraum während der Messungen antrifft. Sie wird unter Benutzung der Sabine-Formel (T = 0,16 (V/A)) bestimmt, nachdem man die Nachhallzeit im Empfangsbereich gemessen hat. Ao ist die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche, festgesetzt auf 10 m²), es sei denn, eine Vorschrift oder vertragliche Übereinkunft bestimmen etwas anderes

Standard-Trittschallpegel

Standardised impact sound pressure level

agreement.

Terminology to be used

generally carried out in octave intervals.

Normalised impact sound pressure level

This is the sound pressure level L as a function of the fre-

quency, measured in the reception room in octave or third-

octave intervals. In laboratories, these are conducted at

third-octave intervals. In actual buildings, these tests are

A is the equivalent absorption area in m² found in the re-

ception room during measurements. It is determined using

the Sabine equation (T = 0,16 (V/A)) after having meas-

ured the reverberation time in the reception area. Ao is a

reference equivalent absorption area (fixed at 10 m²), un-

less otherwise indicated in a regulation or in a contractual

Impact sound pressure level

 $L_{nT} = L - 10 \log{(T/T_0)} \ \ in \ dB(41)$

T ist die Nachhallzeit in Sekunden, die man im Empfangsraum während der Messungen feststellt. To ist eine Bezugs-Nachhallzeit, festgesetzt auf 0,5 s, es sei denn, vertragliche Übereinkünfte bestimmen etwas anderes.

Man kann den Standard-Druckpegel L_{nT} und den genormten L_n vergleichen. Wenn $T_0 = 0.5$ s und $A_0 = 10$ m², dann: $L_{nT} = L_n - 10 \log (V / V_0)$, wobei V_0 das Referenzvolumen von 31,5 m3 ist, gerundet auf 30 m3. Das entspricht: $L_{nT} = L_n - 10 \log(V) + 15$.

In Labors wird der Trittschall durch den Norm-Trittschallpegel L_n charakterisiert.

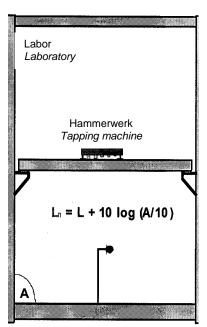
In bestehenden Gebäuden kann der Trittschall durch den normierten oder standardisierten Schalldruckpegel beschrieben werden. Im Gegensatz zu Labors jedoch, wo die zu untersuchende Konstellation ohne seitliche Übertragungswege betrachtet werden kann, tragen die mit dem zu prüfenden Boden verbundenen Wände zu der Energieübertragung in den Empfangsbereich bei (Bild 27). Daher bei tatsächlichen Messungen der Trittschallpegel L'n genannt und der standardisierte L'nT.

T is the reverberation time in seconds established in the reception room during measurements. To is a reference reverberation time fixed at 0.5 s, unless otherwise indicated in a contractual agreement.

One can compare the standardised pressure level L_{nT} and the standardised L_n . If $T_0 = 0.5$ s and $A_0 = 10$ m², then: $L_{nT} = L_n - 10 \log (V / V_0)$, where V_0 is the reference room volume of 31,5 m³, rounded to 30 m³. This is equivalent to: $L_{nT} = L_n - 10 \mbox{ log} \left(V\right) + 15$.

In laboratories, the impact sound is characterised by the normalised impact pressure level L_n.

In actual buildings, it could be characterised by the pressure level normalised or standardised. But unlike in laboratories, where the configuration can be studied so that no lateral transmissions occur, the walls linked to the floor to be tested contribute to the energy transmission towards the reception are (Figure 27). This is why in actual measurements the normalised pressure level of structure-borne sound is called L'n and the standardised is called L'nT.



Trittschallmessung im Labor, ohne seitliche Bild 28: Figure 28: Übertragungen

Measurement of impact sound in a laboratory, without lateral transmissions

Trittschallmessungen werden gemäß der Normenreihe ISO 140 durchgeführt. Es gibt noch anderen ISO-Normen (717), sie sich mit dem Einzahlwert zur Beschreibung eines Trittschallpegels befassen

ISO 717-2 bestimmt die Definition des Trittschallpegels durch einen Einzahlwert, der sich aus dem Vergleich des gemessenen Schallspektrums nach Frequenzintervallen mit einem Bezugsspektrum ergibt. Für die Messung in Terzen betrachtet man die Intervalle zwischen demjenigen mit Zentrum bei 100 Hz und demjenigen mit Zentrum bei 3150 Hz. Für Oktaven werden die Intervalle um die Frequenzen 125, 250, 500, 1000 und 2000 Hz betrachtet. Die zu benutzenden Symbole sind nachstehend wiederholt.

Beschreibung in einem Labor: ausgehend von Terzwerten

Measurements of impact sound are made according to the ISO series of standards 140. There are other ISO standards (717) dealing with a single-number value to characterise the impact sound pressure level.

ISO 717-2 sets the definition of the impact sound pressure level by a single-number value, obtained from a comparison of the sound spectrum measured by frequency intervals to a reference spectrum. For the measurement in third-octaves one only takes into account the intervals between those centred on 100 Hz and those centred on 3150 Hz. For octaves, the intervals used are centred on 125, 250, 500, 1000 and 2000 Hz. The symbols to be used are repeated below.

Characterisation in a laboratory: starting from the values in third-octaves

Einzahlwert	Ursprung der Berechnung
Single-number value	Origin of calculation
Bewerteter Norm-Trittschallpegel Lnw	L _n in dB in Terzen
Weighted normalised impact sound pressure level Lnw	L _n in dB by third-octaves

Beschreibung in einem bestehenden Gebäude: ausgehend von Terzwerten oder Oktavwerten

Characterisation in actual buildings: starting from the values in third-octaves or octaves

Einzahlwert Single-number value	Ursprung der Berechnung Origin of calculation
Bewerteter Norm-Trittschallpegel L'nw oder	L'n oder L'nT in dB in Oktaven oder
bewerteter Standard-Trittschallpegel L'nTw	Terzen
Weighted normalised impact sound pressure level L'nw or	L'_n or L'_{nT} in dB by octaves or third-
weighted standardised impact sound pressure level L'nTw	octaves

A4-5.3.2 Wirksamkeit von Bodenbelägen

Ein Bodenbelag erlaubt normalerweise, die Trittschallübertragung zu mindern, sei dies ein mehr oder weniger weicher Teppich oder bei harten Böden eine weiche Unterlage. Die Wirksamkeit dieser Beläge wird durch die Differenz ΔL zwischen dem Norm-Druckpegel $L_{n0},$ der auf dem unbeschichteten Boden gemessen wird, und dem Pegel $L_{n},$ der auf dem beschichteten Boden gemessen wird, beschrieben (siehe ISO 140-8 "Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 8: Messung der Trittschallminderung durch eine Deckenauflage auf einer massiven Bezugsdecke in Prüfständen").

Um den Einzahlwert der Leistung von verwendeten Bodenbelägen zu erhalten, benutzt man das ΔL , welches man in jedem Frequenzintervall auf einem Referenzboden gewinnt. Die Differenz zwischen dem bewerteten Trittschallpegel L_{nw} für den Referenzboden vor der Anwendung von ΔL und dem Wert des bewerteten Trittschallpegels nach Beschichtung ist die bewertete Trittschallpegelminderung ΔL_{w} .

A4-5.4 Die Vorhersage von Trittschallpegeln

Für Böden aus homogenem Beton oder breiten Betonplatten (siehe Bild 29) und unter bestimmten Bedingungen für Böden aus Fachwerkbeton oder Ziegeln schlägt EN 12354-2 die nachstehende Formel vor:

$$L'_{nTw} = 181 - 35 \log (m_0) - \Delta L_{nw} - 10 \log (V) + K$$
 (42)

 m_0 ist das Flächengewicht des Bodens in $kg/m^2, \; \Delta L_{nw}$ ist die Wirksamkeit des Bodenbelags in dB, V ist das Volumen des Empfangsraumes in m^3 und K die Pegelzunahme aufgrund der seitlichen Übertragungen.

A4-5.3.2 Efficiency of floor coverings

A floor covering put in place on the floor normally allows to lessen the impact sound transmission, the carpeting being more or less soft, or in case of hard floors having a soft under-layer. The efficiency for these coverings is characterised by the difference ΔL between the normalised pressure level L_{n0} , measured on the naked floor, and the level L_{n} , measured on the covered floor (see ISO 140-8 "Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 8: Laboratory measurement of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a standard floor").

To obtain the single-number value of the performance of floor coverings to use, one applies the ΔL obtained in each frequency interval to a reference floor. The difference between the weighted impact pressure level ΔL_{nw} for the reference floor before the application of ΔL and the value of the weighted impact sound pressure level after the application is the weighted reduction in impact sound pressure level ΔL_w .

A4-5.4 The prediction of impact sound pressure levels

For floors made of homogeneous concrete or of wide slab concrete see Figure 29 and, under certain conditions of timber-framed concrete or brick, EN 12354-2 proposes the following equation:

 m_0 is the surface mass of the floor in $kg/m^2,\;\Delta L_{nw}$ is the efficiency of the floor covering in dB, V is the volume of the reception room in m^3 and K the level addition caused by lateral transmissions.

A4-5.4.1 Seitliche Übertragungen

A4-5.4.1 Lateral transmissions

Boden Floor m ₀ (kg/m ²)		Durchsnittliches Flächengewicht von homogenen, seitlichen Elementen ohne Wärme- oder Schallschutzbeschichtung Average surface mass of homogeneous lateral elements without thermal or acoustic linings (kg/m²)							
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	2	1	1	1	1	1
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600		4	3	2	2	1	1	1	1
700		4	3	3	2	2	1	1	1
800			4	3	2	2	2	1	1
900		4	3	3	2	2	2	2	2

Tabelle 12: K-Werte, Korrekturwerte zur Berücksichtigung seitlicher Übertragungen

Table 12: Values of K, correction terms to cater for lateral transmissions

Da die Beschichtung einer Wand einen negativen akustischen Effekt hat, fügt man dem Ausdruck K 1 dB hinzu.

Im Allgemeinen wird K am häufigsten zwischen 0 dB und 2 dB gesetzt. Das ist hinreichend genau, eine exakte Berechnung wäre sehr umständlich und ergibt keine deutliche Verbesserung

A4-5.4.2 Einfluss der Raumabmessungen

des Gesamtergebnisses.

Wir haben gesehen, dass bei Luftschallpegelunterschieden zwischen zwei Räumen die Standard-Schalldämmung vom Verhältnis V/S des Volumens des Empfangsraumes zur Fläche der Trennwand, die beiden Räumen gemeinsam ist, abhängt. Bei Trittschall hängt der Standard-Druckpegel vom Volumen V des Empfangsraumes ab.

Als eine Konsequenz kann die Leistung von Belägen, die nötig ist, um einen Pegel zu erreichen, der unterhalb der durch eine Vorschrift oder eine Vertragsvereinbarung geforderten Grenze liegt, bei großen Räumen schwächer ausfallen als bei Räumen mit kleinerem Volumen. Aus diesem Grund kann man in großen Hallen eher einmal Parkett oder Fliesen auf tragenden Schichten verwenden als in kleineren Räumen.

A4-5.4.3 Trittschallverhalten nackter Böden

Die Vorhersagemethoden, die in EN 12354-2 vorgeschlagen werden, benutzen eine Abschätzung des bewerteten Norm-Schalldruckpegels des Trittschalls L_{nw} für einen homogenen Boden mit der Gleichung:

Since the lining of a wall has a negative acoustical effect, one

Generally, K is most frequently set between 0 dB and 2 dB. This is sufficiently precise, an exact calculation would be very long and does not render a significant improvement in the overall result.

A4-5.4.2 Effect of the room dimensions

adds 1 dB to the term K.

We have seen that in case of the airborne sound level difference between two rooms the standardised acoustic insulation depends on the relation V/S of the volume of the reception room to the surface of the separating wall common to the two rooms. In case of impact sound, the standardised pressure level depends on the volume V of the reception room.

As a consequence, the performance of coverings necessary to obtain a level below the limits required by a regulation or a contractual agreement can be weaker in case of large rooms compared to rooms of a smaller volume. This is why one can more readily use parquets or tiles on supporting layers in large halls than in smaller rooms.

A4-5.4.3 Behaviour of naked floors regarding impact sound

The prediction methods proposed in EN 12354-2 use an estimation of the normalised weighted sound pressure level of impact sound L_{nw} for a homogeneous floor by the equation:

$$L_{nw} = 164 - 35 \log (m_0)$$
 in dB (43)

Tabelle 13 zeigt, dass sowohl für den Luftschall als auch für den Trittschall bei massiven Böden die vorhergesagten Werte nahe denen sind, die im Labor gemessen werden. Andererseits scheint es, dass für Wände aus breiten Hohlbetonplatten die auf dem Flächengewicht beruhenden Vorhersagen für die Wand für Trittschall recht optimistisch sind und recht pessimistisch für Luftschall. Für Böden aus Stahlrahmen, ausgefüllt mit Beton oder Keramik, erzeugen die Hohlräume, die sie enthalten, störende Resonanzfrequenzen, die Vorhersagen zufällig machen.

Table 13 demonstrates that for both the airborne and the impact sound for massive floors, the predicted values are close to the values measured in a laboratory. On the other hand, it seems that for walls made of hollow wide slab concrete the predictions based on the surface mass of the wall are quite optimistic for the impact sound and quite pessimistic for the airborne sound. For floors of steel beams complemented by concrete or ceramic, the cavities which they contain create parasitic resonance frequencies which make all predictions accidental.

Art des Bodens	m ₀		L _{nw} in dB			R _w in dB	
Nature of floor	kg/m²	gemessen measured	vorhergesagt predicted	Unterschied difference	gemessen measured	vorhergesagt predicted	Unterschied difference
Beton concrete 14 cm	329	78	76	-2	54	54	0
Beton concrete 16 cm	376	76	74	-2	57	57	0
Beton concrete 18 cm	423	73	72	-1	59	58	1
Beton concrete 20 cm	470	71	70	-1	61	60	1
Beton concrete 22 cm	517	69	69	0	62	62	0
Beton concrete 25 cm	564	67	68	1	64	63	1
Beton concrete 25 cm	588	66	67	1	65	64	1
Porenbeton alveolate concrete 265 W + 60	500	76	70	-6	63	61	2
Porenbeton alveolate concrete 200 W + 80	430	73	72	-1	64	59	5
Porenbeton alveolate concrete 160 U	283	83	78	-5	56	52	4
Hohnblockbeton concrete hollow blocks 16 + 4	310	87	77	-10	51	53	-2
Hohlblockbeton concrete hollow blocks 8 + 13	420	80	72	-8	57	58	-1
Hohlblockbeton concrete hollow blocks 8 + 13 + 5	530	76	69	-7	60	62	-2
Keramikhohlblöcke ceramic hollow blocks 12 + 4	260	94	79	-15	46	51	-5
Keramikhohlblöcke ceramic hollow blocks 16 + 4	320	91	76	-15	49	54	-5

Tabelle 13: Trittschall- im Vergleich zur Luftschalldämmung, gemessen und vorhergesagt für verschiedene Bodenaufbauten Table 13: Impact versus airborne sound insulation, measured and predicted for different floor constructions

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass man vernünftigerweise keine Vorhersagemethoden benutzen kann (Massegesetz für Luftschall und die oben stehende Gleichung für Trittschall), es sei denn, bei massiven Böden aus Beton.

In conclusion, one cannot sensibly use the prediction methods (law of mass for the airborne and the equation above for the impact noise) as in case of solid floors made of concrete.

siehe A3-3.3.1.1 see A3-3.3.1.1

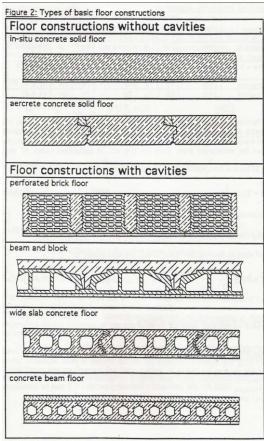


Bild 29: Grundsätzliche Bodenaufbauten

A4-5.4.4 Bodenbeläge

Ihre Wirksamkeit wird in Labors gemessen durch die Bestimmung ihres ΔL_{w} .

Man unterscheidet drei große Kategorien von Belägen: dünne Bodenbeläge, harte Bodenbeläge, die unmittelbar auf eine weiche Unterlage montiert werden und schwimmende Böden, die durch eine Lage aus Putz, Beton, synthetischem Anhydrid, die auf zusammendrückbaren Matten liegt, gebildet werden.

A4-5.4.4.1 Dünne Bodenbeläge

Sie stellen keine besonderen Montageschwierigkeiten dar und können sehr gute akustische Wirkung haben. Andererseits ist die Produktauswahl gering: Matten oder andere textile Teppiche und Plastikbeläge gelten normalerweise als vulgär (Schmutz, Pflege, Haltbarkeit). Zusätzlich muss man beim Ersatz solcher ruinierten Beläge darauf achten, ein neues Produkt zu wählen, das dieselben akustischen Eigenschaften aufweist wie das alte.

Matten und textile Teppiche haben häufig ein ΔL_w , das möglicherweise von 17 dB bis zu mehr als 30 dB reicht.

Plastikschichten mit einer integrierten Unterlage haben ein ΔL_w von 5 dB bis 19 dB.

<u>A4-5.4.4.2 Harte Beläge, unmittelbar auf einer weichen Unterlage</u>

Diese sind häufig Fliesen oder Parkett. Die akustische Qualität dieser Produkte auf ihrer weichen Unterlage ist nicht der einzige zu betrachtende Gesichtspunkt. Natürlich müssen auch ihre mechanischen Eigenschaften zufrieden stellend sein. Dies führt bezüglich der Festigkeit der Unterlage zu einem Kompromiss, denn die Unterlage sollte so weich wie möglich für akustische Zwecke und so starr wie möglich für Punktlastprobleme sein.

Auf eine dünne Unterlage (Dicke unter oder bis 3 mm) geklebte Fliesen können ein ΔL_w zwischen 10 dB und 18 dB haben.

Figure 29: Types of basic floor constructions

A4-5.4.4 Floor coverings

The efficiency is measured in laboratories by the determination of their ΔL_w .

One discerns three great categories of coverings: thin floor coverings, hard floor coverings placed directly on a soft underlayer and floating floors constituted by a layer of mortar, concrete, synthetic anhydride placed on compressible mats.

A4-5.4.4.1 Thin floor coverings

They do not pose special problems in application and can have a very good acoustical efficiency. On the other hand, possibilities of choice of a product type are poor: one does not normally appreciate rugs and other textile carpeting (dirt, maintenance, durability) and plastic coverings are frequently considered vulgar. Additionally, in case of a replacement of these ruined coverings one must not forget to select a new product having the same acoustical characteristics as the old one.

Rugs and textile carpeting frequently have a $\Delta L_{\rm w}$ possibly reaching from 17 dB to more than 30 dB.

Plastic covers with an integrated under-layer have a $\Delta L_{\rm w}$ from 5 dB to 19 dB.

A4-5.4.4.2 Hard coverings directly placed on top of a soft under-layer

These are most frequently tiles or parquets. The acoustic quality of these products on their under-layer is not the only consideration to take into account. Actually, their mechanical characteristics must also be satisfactory. This leads to a compromise for the rigidity of the under-layer which should be as soft as possible for acoustical reasons and relatively rigid to avoid the problems of concentrated loads.

Tiles glued on a thin under-layer (thickness below or equal 3 mm) can have a ΔLw between 10 dB and 18 dB.

Parkett auf dünnen Unterlagen kann dieselben Werte erreichen.

In jedem Fall ist es ratsam, vom Hersteller der Unterlage den vollständigen Bericht der Labormessungen zu verlangen.

Andererseits ist es unerlässlich, der Entkoppelung des harten Belages von den senkrechten Wänden, die den behandelten Raum begrenzen, Aufmerksamkeit zu schenken.

A4-5.4.4.3 Schwimmende Böden

Schwimmende Böden auf dünnen, zusammendrückbaren Matten mit einer Dicke unter oder bis zu 3 mm: ihre Wirkung kann von 17 dB bis 21 dB reichen. Wegen der geringen Zusammendrückbarkeit der Unterlage ist es nicht erforderlich, den Estrich zu verstärken. Die dünnen, zusammendrückbaren Matten können direkt unter der Mörtelschicht liegen, die die Fußbodenfliesen aufnimmt.

Schwimmende Böden auf dicken, zusammendrückbaren Matten auf Mineralwollebasis oder aus elastischem Polystyrol: ihre Wirkung kann über 27 dB hinausgehen. Die benutzten Unterlagen haben eine Dicke zwischen 1 cm und 4 cm. Die Auflagen müssen verstärkt werden.

Gleichgültig ob die Unterlagen dick oder dünn sind, der schwimmende Boden muss sich in jede Richtung bewegen können, d. h. sowohl vertikal als auch horizontal. Dies erfordert wichtige Vorkehrungen bei der Montage der Unterlage auf dem Untergrund und es erfordert umlaufende elastische Streifen entlang der Wände und jeder anderen Begrenzung (Kanalisation, Türschwellen).

Auf dem Boden müssen die verschiedenen Teile der Unterlage miteinander verbunden werden, z. B. durch selbstklebende Bänder. Das soll Bewegungen gegeneinander verhindern, wenn die Auflage montiert ist.

Wenn der Untergrund Kanalisationsrohre aufnimmt, ist es wünschenswert, diese zu ummanteln oder in stabilisierendem Sand einzubetten, bevor die Unterlage aufgebracht wird.

Die umlaufenden, elastischen Bänder entlang der Wände müssen ausreichend hoch sein, um über die Ebene der letzten Lage des Fußbodenaufbaus hinaus zu reichen. Die Dichtigkeit der Unterlage und der umlaufenden Bänder gegen die Putzfeuchte muss sichergestellt sein. Eine Polyethylenfolie, die auf die Unterlage aufgebracht wird, stellt diese Dichtigkeit sicher.

Die umlaufenden Bänder dürfen erst nach dem Aufbringen der letzten Lage des Fußbodenaufbaus abgeschnitten werden. Es ist wiederum darauf zu achten, dass diese Bodenplatten keine starre Verbindung zwischen der letzten Lage des Bodenaufbaus und den senkrechten Wänden darstellen. Um dies zu vermeiden, muss eine Lücke vorgesehen werden, die mit elastischem Mastix gefüllt wird, um Dichtheit sicherzustellen (siehe Prinzipskizze in Bild 30).

Parquets placed on thin under-layers can reach the same values.

In every case, it is prudent to claim from the manufacturer of the under-layer the complete record made of the laboratory measurements.

On the other hand, it is indispensable to pay attention to the disconnection of the solid cover from the vertical walls limiting the treated room.

A4-5.4.4.3 Floating floors

Floating floors on thin compressible mats of a thickness below or equal 3 mm: their efficiency can reach from 17 dB to 21 dB. Taking the poor compressibility of the under-layer into account, it is not necessary to reinforce the screed. The thin compressible mats can directly be placed under the mortar accommodating the bedded floor tiles.

Floating floors on thick compressible mats based on mineral wool or elastic polystyrene: their efficiency can go beyond 27 dB. The under-layers used have a thickness between 1 cm and 4 cm. The covering layers must be reinforced.

Whether the under-layer be thin or thick, the floating floor needs to float in every direction, that is to say both vertically and horizontally. This requires important precautions when installing the under-layer on the supporting floor and peripheral elastic strips along the walls and any other infringements (canalisation, door thresholds).

On the ground, the different parts of the under-layer must be fixed to one another, e. g. by self-adhesive tape. This is intended to avoid a movement of one opposite the other when applying the outer layer.

In case canalisation is placed in the supporting floor, it is desirable to case it in a cladding or in stabilised sand before putting in place the under-layer.

The peripheral compressible bands, along the vertical walls, must be sufficiently high to reach above the level of the final layer of the floor covering. The tightness of the under-layer or peripheral band, opposite the mortar wetness must be assured. A foil of polyethylene, placed over the under-layer, allows for the assurance of this tightness.

The peripheral bands must be but only after putting into position of the last elements of the floor covering. Again, it must be taken care that these baseboards do not create a rigid connection between the final layer of the floor covering and the vertical walls. To avoid this, one must arrange a gap which will be filled by a flexible mastic in order to realised tightness (see the sketch of principle in Figure 30).

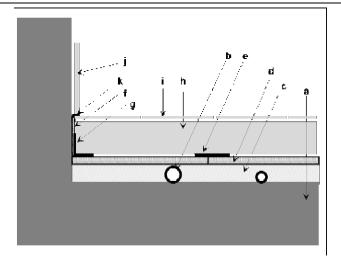


Bild 30: Prinzip des schwimmenden Bodens

- a Untergrund
- b Kanalisationsrohre
- c Füllmaterial bis zur größten Höhe der Kanalisationsrohre
- d Matten der Unterlage mit wasserdichter Abdeckung
- e selbstklebende Bandagen für die Verbindung zwischen den Matten
- f umlaufendes elastisches Band
- g Klebebänder für Dichtigkeit
- h schwimmende Lage
- i letzte Lage des Bodenaufbaus
- j Fußleiste
- k flexibles Mastix

Nachdem die Unterlage gut geschützt ist und die Fußleiste entkoppelt, muss darauf geachtet werden, dass das Mobiliar selbst die Verbindung nicht wieder herstellt. Folglich darf das Küchenoder Badezimmermobiliar, das auf schwimmenden Böden steht, nicht mit den senkrechten Wänden verbunden sein.

Anmerkung:

Ein schwimmender Boden, der aus einem starren Material oder aus einer starren Auflage auf einer Unterlage besteht, ist lauter in dem Raum, wo der Trittschall erzeugt wird, als wenn die starre obere Lage direkt auf den Untergrund geklebt wäre. Die Unterlage nimmt einen Teil der Energie auf, die dann in den Bereich der Entstehung zurück gestrahlt wird. Dies erlaubt die Entwicklung einer einfachen Prüfung, die keinerlei akustische Messungen erfordert, um festzustellen, dass der schwimmende Boden keinerlei feste Kontaktpunkte enthält, die seine Wirkung gefährden würden. Es genügt, den Bodenbelag mit einem Hammer anzuschlagen. Wenn der Ton klar und intensiv ist, schwimmt der Bodenbelag gut. Wenn der Schall gedämpft wirkt, muss es in der Nähe des Hammerschlagpunktes eine starre Verbindung geben.

Die Wirksamkeit von schwimmenden Böden für Luftschall Der schwimmende Boden besteht aus einer Zement- oder Betonschale von 4 cm oder 5 cm Dicke, was einem zusätzlichen Flächengewicht von 80 kg/m² bis 120 kg/m² entspricht, was dem Untergrund hinzugefügt wird. Allerdings zeigt die Erfahrung, dass man sich nicht stets darauf verlassen kann, dass diese Gewichtszunahme das Schalldämmmaß des Bodens verbessert. Dies liegt im Wesentlichen an der Festigkeit des Unterbodens.

Als erste Annäherung kann man die folgende Regel benutzen:

Figure 30: Principle of floating floor

- a supporting floor
 - b canalisation
- c filling material up to the top level of the canalisation
- d mats of under-layer with a water-tight cover
- e self-adhesive tape for the connection between mats
- f peripheral elastic band
- g adhesive element for tightness
- h floating layer
- i top layer
- j baseboard
- k soft mastic

The under-layers having been well protected, the baseboards well decoupled, it must be taken care that the furniture itself does not recreate the connection. Consequently, the kitchen or the bathroom furniture sitting on floating floors must be disconnected from the vertical walls.

Note:

A floating floor covered with a rigid material or with a rigid covering on an under-layer is more noisy in the room where the impact noise is produced as if the rigid covering would be glued directly on the supporting floor. The under-layer captures part of the energy which is radiated back into the room of emission. This allows to develop a simple test not requiring any acoustical measurements to verify that the floating floor does not contain any fixed points endangering its efficiency. It suffices to "sound" the covering with a hammer. In case the sound is clear and intensive, the cover floats well. In case the sound is dampened, their must be a point of rigid connection in the vicinity of the impact point.

The efficiency of floating floors for airborne sound

The floating floor is composed of a casing of cement or concrete of 4 cm or 5 cm thickness which corresponds to a surface mass added to the supporting floor of 80 kg/m² to 120 kg/m². However, experience shows that one cannot always count on this weight addition to improve the sound reduction index of the supporting floor. This depends essentially on the stiffness of the under-layer.

As a first approximation, one can utilise the following rule:

Da das schwimmende System ein ΔL_w unter 20 dB aufweist, geht man nicht davon aus, dass der schwimmende Boden die Luftschalldämmung verbessert. Dies ist allerdings bereits eine relativ pessimistische Annahme, und in Fällen, in denen es erforderlich ist, das Schalldämmmaß des Bodens um 1 dB zu verbessern, kann man sich darauf verlassen, dass dieses eine Dezibel durch den schwimmenden Boden gewonnen wird.

Wenn der schwimmende Boden ein ΔL_w zwischen 20 dB und 23 dB aufweist, kann man davon ausgehen, dass der Boden ein Schalldämmmaß in der Nähe eines Index aufweist, der sich aus dem Massegesetz, Unterboden plus schwimmender Boden, ergibt.

Wenn der schwimmende Boden ein ΔL_w oberhalb von 23 dB aufweist, nimmt man das Massegesetz insgesamt an und fügt 1 dB oder 2 dB hinzu. Wenn der Unterboden eine Dicke von mehr als 18 cm Beton aufweist, fügt man 1 dB hinzu, für Unterböden geringerer Dicken fügt man 2 dB hinzu.

Schließlich erlauben schwimmende Böden, die gegen Luftschall wirksam sind, eine Dämmung der Seitenübertragungen zwischen zwei benachbarten Räumen, die derjenigen einer thermisch-akustischen Beschichtung der Seitenwände entspricht.

A4-5.4.5 Anwendungsbeispiel der Vorhersagemethode

Since the floating system has a $\Delta L_{\rm w}$ below 20 dB, one considers that the floating floor does not improve the airborne sound insulation. Anyway, this is a relatively pessimistic assessment, and in case one needs to improve the sound reduction index of the supporting floor by 1 dB, one could count on it that this decibel is added by the floating floor.

Where the floating floor has a ΔL_w between 20 dB and 23 dB, one can assume that the floor has a sound reduction index in the vicinity of the index corresponding to the law of mass, supporting floor plus floating floor.

Where the floating floor has a ΔL_w above 23 dB, one assumes the total law of mass to which one adds 1 dB or 2 dB. For supporting floors of a thickness above 18 cm of concrete, one adds 1 dB, for floors of lesser thicknesses one adds 2 dB.

Finally, floating floors efficient against airborne sound allow for the attenuation of lateral transmissions between two adjacent rooms as would thermo-acoustical linings of the lateral walls.

A4-5.4.5 Example for the application of the prediction method

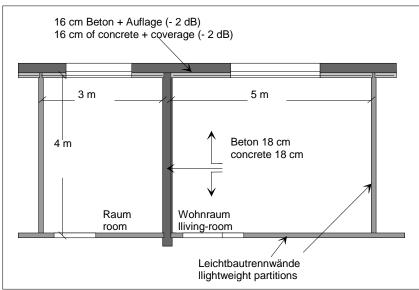


Bild 31: Skizze zum betrachteten Beispiel

Bild 31 zeigt eine normale Konstellation, die geregelte Standard-Schalldämmung D_{nTA} von 53 dB zwischen Stockwerken und zwischen dem Schlafzimmer in einer Wohnung und dem Wohnraum in einer anderen Wohnung zu erhalten. Die tragende Wand und die Böden sind aus 18 cm Beton. Die Fassade ist aus 16 cm Beton mit einer Wärme dämmenden Auflage auf Basis von EPS und die Innenwände in den Wohnungen sind Leichtbautrennwände.

Schon jetzt kann man den Schalldruckpegel eines normierten Trittschalls zwischen den übereinander liegenden Wohnungen berechnen. Der Pegel ist 2,2 dB höher in dem 30 m³ Raum im Vergleich zu dem 50 m³ Raum (10 log (50/30) = 2.2).

 Abschätzung des Schalldruckpegels L'nTw in einem Raum, wenn der Boden ohne irgendwelche Beläge ist:

$$L'_{nTw} = 181 - 35 \log (m_0) - \Delta L_{nw} - 10 \log (V) + K$$

Flächengewicht des Bodens: $m_0 = 423 \text{ kg/m}^2$ (siehe Tabelle 13).

 ΔL_{nw} des Bodenbelages = 0.

Raumvolumen = 30 m³

Zunahme von K des Pegels als ein Ergebnis der Seitenübertragungen (siehe Tabelle 12): durchschnittliches Flächengewicht der homogenen seitlichen Elemente: diese Elemente sind aus Beton (Fassade und Zwischenwände) und haben dieselbe Höhe (2,5 m). Figure 31: Sketch for the example considered

Figure 31 shows a normal configuration which allows to obtain the regulated standardised acoustic insulation D_{nTA} of 53 dB between storeys and between a bedroom in one flat and a living-room in a neighbouring flat. The supporting wall and the floors are of 18 cm concrete. The façade is of 16 cm concrete with a thermal coverage based on expanded polystyrene and the interior walls in the flats are lightweight partitions.

Already now one can calculate the sound pressure level of normalised impact sound between flats above each other. The level is 2,2 dB higher in the room of 30 m³ when compared to the room of 50 m³ $(10 \log (50/30) = 2.2)$.

Estimation of the sound pressure level L'_{nTw} in a room when the floor is without any coverings:

log (V) + IC (42)

Surface mass of floor: $m_0 = 423 \text{ kg/m}^2$ (see Table 13).

 ΔL_{nw} of floor covering = 0.

Volume of the room = 30 m^3 .

Increase of K of the level as a result of lateral transmissions (see Table 12): average surface mass of homogeneous lateral elements: these elements are of concrete (façade and partition walls) and have the same height (2,5 m).

Es ergibt sich:

 $m = 2350 \cdot ((3 \cdot 0.16 + 4 \cdot 0.18) / 7) = 402 \text{ kg/m}^2$ und

 $K=1\,\text{dB}$, das führt zu einem L'_nTW = 75 dB. Eine noch genauere Berechnung mittels eines Programms, das die Berechnung aller Übertragungswege erlaubt, ergibt eine Vorhersage in der Gegend von 74 dB.

Für den Standard-Trittschallpegel in dem unten liegenden Wohnraum erlaubt eine vereinfachte Methode, einen Wert von 73 dB anzunehmen, wenn das Hammerwerk im dar- über liegenden Wohnraum eingesetzt wird.

 Bestimmung des ΔL_w für den Bodenbelag muss so geplant werden, dass der bewertete Schalldruckpegel des standardisierten Trittschalls nicht über 58 dB liegt (der höchste in Frankreich zulässige Wert).

 $\Delta L_W > 75-58=17~dB$ im Raum und 73-58=15~dB im Wohnraum. Man könnte einen Teppich in dem Raum und Parkett oder einen Fliesenfußboden auf einer flexiblen Unterlage im Wohnraum erwägen.

A4-5.5 Verbesserung der Trittschalldämmung

Wo die geregelten oder festgelegten Anforderungen nicht zufrieden stellend sind, besteht eine bessere Lösung zur Erhöhung der Trittschalldämmung offensichtlich darin, den vorgefundenen Bodenbelag durch ein besseres Produkt zu ersetzen. Es gibt jedoch Fälle, in denen dies nicht möglich ist.

Wenn sich jemand darüber beklagt, dass er zu viel vom Trittschall im über ihm liegenden Raum hört, wird es selten vorkommen, dass der Bewohner von dem Raum damit einverstanden ist, seinen Bodenbelag zu verbessern. In diesem Fall sollte man sich darauf einstellen, mit der Beschwerde führenden Partei zusammen zu arbeiten. Hierzu benutzt man akustisch wirksame Beschichtungen, wie man sie auch für die Verbesserung des Luftschalls benutzt.

Der Einfluss von Beschichtungen auf die Trittschalldämmung, die das Schalldämmmaß an der Unterseite von Decken verbessern

Wenn diese Beschichtungen eine Wirksamkeit ΔR für den Luftschall aufweisen, dann haben sie eine Wirksamkeit von ΔL_d desselben Wertes auf die direkte Trittschallübertragung. Andererseits werden die seitlichen Übertragungen nicht geändert und ΔL_d geht nicht in das Gesamtergebnis des Schalldruckpegels ein. Beispiel:

Then: $m = 2350 \cdot ((3 \cdot 0,16 + 4 \cdot 0,18)/7) = 402 \text{ kg/m}^2$ and K = 1 dB which leads to a $L'_{nTw} = 75 \text{ dB}$. An even more precise evaluation using a software which allows for the calculation of all transmission paths gives a forecast in the vicinity of 74 dB.

For the standardised impact sound pressure level in the lower living-room, when the impact sound generator works in the living-room above, a simplified method allows to estimate the value at 73 dB.

– Determination of $\Delta L_{\rm w}$ for the floor covering must be planned so that the weighted sound pressure level of standardised impact sound does not exceed 58 dB (maximum value acceptable in France).

 $\Delta L_W > 75-58=17$ dB in the room and 73-58=15 dB in the living-room. One could envisage a carpet in the room and a parquet or a tiled floor on a flexible layer in the living-room.

A4-5.5 Improvement of the impact sound insulation

Where the regulated or contracted requirements are not satisfactory, a better solution to improve the impact sound insulation is obviously to replace the covering which has been applied on the floor by a more efficient product. However, there are cases when this is not possible.

If somebody complains that he hears too much of the impact noise from the room above, it will be rare that the tenant of that room accepts to improve his floor covering. In this case, one can envisage to have to work with the complaining party. For this, one uses acoustical linings identical to those used for the improvement of airborne sound insulation.

The influence of linings, reinforcing the sound reduction index on the underside of ceilings, on the insulation of impact sound

In case these linings have an efficiency ΔR for airborne sound, they have an efficiency ΔL_d of the same value on the direct transmission of impact sound. On the other hand, the lateral transmissions are not changed and the ΔL_d is not reflected in the overall result of the sound pressure level. Example:

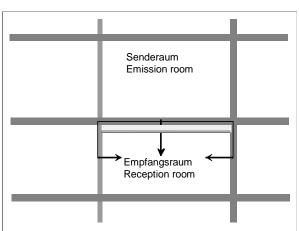


Bild 32: Eine komplexe Beschichtung wird an der Decke des Empfangsraumes von Trittschall angebracht

Figure 32: A complex lining is realised at the ceiling of the reception room of impact noise

In dieser Wohnung aus den 60er Jahren waren die Wände aus 14 cm Beton. Der Bewohner des Bereichs, wo der Schall entstand, hatte den ursprünglichen Bodenbelag durch ein auf eine weiche Unterlage geklebtes Parkett ersetzt. Der Bewohner im Empfangsbereich beklagte sich über den Trittschall seines Nachbarn. Der gemessene bewertete Trittschallpegel betrug 68 dB. Es wurde entschieden, eine Lösung durch Behandlung im Empfangsbereich zu finden, die den Trittschallpegel um 10 dB vermindern würde und brachte dazu eine komplexe Beschichtung an der Decke im Empfangsbereich an, die eine Erhöhung des Schalldämmmaßes ΔR um 10 dB erlauben würde (10 cm Mineralwolle und eine Gipsplatte auf Rahmen). Das Ergebnis täuscht.

Tatsächlich war die Lage vor der Verbesserung wie folgt: Der gemessene Schalldruckpegel ist eine Kombination der direkten Übertragung und der seitlichen Übertragungen. Wenn man eine Erhöhung des Trittschalls als Ergebnis der seitlichen Übertragungen um 1 dB in Rechnung stellt (K = 1 dB), entspricht die direkte Übertragung 67 dB und die seitlichen Übertragungen 61 dB (die Addition von 67 dB und 61 dB ergibt 68 dB).

Nach Verbesserung der Decke war nur die direkte Übertragung um 10 dB gemindert worden, die seitlichen Übertragungen blieben gleich. Nun muss man $67-10=57\,\mathrm{dB}$ für die neue direkte Übertragung mit den 61 dB der seitlichen Übertragungen zusammenziehen, was einen resultierenden Pegel von 61,5 dB ergibt und damit eine Gesamtverbesserung von 6,5 dB anstelle der 10 dB, die man berücksichtigt hatte.

Es ist also erforderlich, die Behandlung der Decke im Empfangsbereich durch eine Behandlung der senkrechten Wände zu ergänzen. Man fängt mit der leichtesten an, wenn sie starr sind. In bestimmten Fällen müssen alle seitlichen Wände behandelt werden, was tatsächlich zu einer deutlichen Verringerung der Wohnfläche im Empfangsbereich führt und ziemlich teuer ist.

A4-5.6 Horizontale oder diagonale Übertragungen von Trittschall

Bild 33 zeigt, dass bei identischen Wänden in jeder Ebene die diagonale Übertragung der horizontalen entspricht. Andererseits sind die seitlichen Übertragungen höher, wenn die verteilenden Wände leicht sind. Die unten stehende Tabelle erlaubt eine Abschätzung des Unterschiedes zwischen den direkten Übertragungen und den horizontalen oder diagonalen Übertragungen als eine Funktion der Wände, die den Empfangsraum begrenzen. Die Tabelle gibt nur eine Abschätzung. Um genauere Werte zu erhalten, benutzt man die Gleichungen, die auf den Vorgaben von EN 12354 beruhen.

In this flat from the 60^{th} , the walls were of 14 cm concrete. The tenant of the emission area had replaced the original floor covering by parquet glued on a flexible layer. The tenant of the reception area complained about the walking noise of his neighbour. The measured weighted impact sound pressure level was 68 dB. One decided to find a solution by treating the reception area to lower the level of impact sound by 10 dB and one placed a lining complex on the ceiling of the reception area which allowed for an increase of the sound reduction index ΔR of 10 dB (10 cm mineral wool and a gypsum plate on frames). The final result is deceiving.

Indeed, the situation before the reinforcement was the following: The measured impact sound level is the combination of the direct transmission and the lateral transmissions. If one considers an increase of impact sound by 1 dB as a result of lateral transmissions ($K = 1 \, dB$), the direct transmission corresponds to 67 dB and the lateral transmissions to 61 dB (the addition of 67 dB and 61 dB gives 68 dB).

After the reinforcement of the ceiling, only the direct transmission had been lowered by 10 dB, the lateral transmissions remained the same as before. Now, one needs to combine $67-10=57\,\mathrm{dB}$ for the new direct transmission with the 61 dB of the lateral transmissions which gives a resulting level of 61,5 dB, and an overall improvement of 6,5 dB instead of the 10 dB aimed for.

So it is required to complete the treatment of the ceiling in the reception area by a treatment of the vertical walls. Starting with the lightest, if they are rigid. In certain cases, all the vertical walls need to be treated, which indeed decreases the living space in the reception area substantially and is very costly.

A4-5.6 Horizontal or diagonal transmissions of impact noise

Figure 33 shows that in case the walls are identical in each and every level, a diagonal transmission is the same as the horizontal transmission. On the other hand, the lateral transmissions are higher where the distributing walls are light. The table below allows to assess the difference between the direct transmissions and the horizontal or diagonal transmissions as a function of the walls limiting the reception room. This table gives only an estimation. To obtain more precise values, one uses the equations based on the dispositions of EN 12354.

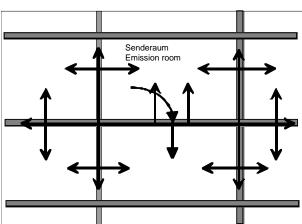


Bild 33: Vertikale, diagonale und horizontale Übertragungen von Trittschall

Figure 33: Vertical, diagonal and horizontal transmissions of impact noise

Die Pfeile zeigen die Anteile von Trittschallenergie in den verschiedenen Wänden des Raumes, der dem Senderaum benachbart ist.

The arrows show the portions of impact energy on the different walls in the rooms neighbouring the emission room.

Art der Wand Type of wall	L' _{nTw} diagonal – L' _{nTw} vertical L' _{nTw} diagonal – L' _{nTw} vertical
leichte Wand light wall	-3 dB
schwere Wand heavy wall	-6 dB

Tabelle 14:

A4-6 Geräuschpegel der Haustechnik

Die Haustechnik ist vielfältig und die entsprechenden Schallquellen sind sehr unterschiedlich. Das einzige, was allen Teilen der Haustechnik gemeinsam ist, ist der zulässige Schallpegel in dem zu schützenden Bereich.

Wo dies zutrifft, untersucht man die Punkte, die in den verschiedenen Installationen Schallquellen darstellen. Diese Schallquellen erzeugen entweder Luftschall (akustische Energie, die an die umgebende Luft abgestrahlt wird) oder Körperschall (akustische Energie, die direkt auf die Wände des Gebäudes übertragen wird).

Die allgemeinen Grundlagen werden in der zukünftigen Norm prEN 12354-5 "Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Geräusche aus haustechnischen Anlagen" beschrieben.

A4-6.1 Maximaler Schalldruckpegel im Empfangsbereich

Der Schalldruckpegel kann in Oktavintervallen angegeben werden zwischen dem Intervall mit 63 Hz als Mittelpunkt und dem Intervall mit 4000 Hz als Mittelpunkt. Sie sind entweder normiert (der Pegel, den man erhält, wenn die äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsbereich 10 m² ist) oder standardisiert (der Pegel, den man erhält, wenn die Nachhallzeit im Empfangsbereich 0,5 s beträgt).

Andererseits sind die objektiven Werte, angegeben in Form von Schalldruckpegeln, die im Empfangsbereich nicht überschritten werden sollten, häufig in dB(A) oder dB(C) angegeben. Diese Werte werden ausgehend vom Spektrum der Oktavintervalle berechnet.

Die am häufigsten benutzten Werte sind die folgenden:

 $L_{A,max}$, $L_{n,A,max}$, $L_{nT,A,max}$: höchster Schalldruckpegel in dB(A), unbehandelt, normiert oder standardisiert

 $L_{A \text{ eq}}$, $L_{n,A \text{ eq}}$ oder $L_{nT,A \text{ eq}}$: äquivalente Dauerpegel in dB(A), unbehandelt, normiert oder standardisiert

 $L_{C,max}$, $L_{n,C\ max}$, $L_{nT,C\ max}$: höchster Schalldruckpegel in dB(C), unbehandelt, normiert oder standardisiert

 $L_{C,eq}$, $L_{n,C,eq}$ oder $L_{nT,C,eq}$. äquivalente Dauerpegel in dB(C), unbehandelt, normiert oder standardisiert

Das Verhältnis zwischen den verschiedenen benutzten Pegeln ist das Folgende:

Table 14:

A4-6 Noise levels of building equipment

The building equipment is manifold and the corresponding sound sources are very different. For all sorts of equipment, the only common value is the noise level acceptable at the area to be protected.

Where this applies, one examines the points which constitute noise sources in the different installations. These sources produce either airborne sound (acoustic energy communicated to the ambient air) or impact sound (acoustic energy directly communicated to the walls of the building).

The general principles used are described in the future standard prEN 12354-5 "Acoustics in buildings – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 5: Sound levels caused by building equipment".

A4-6.1 Maximum sound pressure level at the reception

The sound pressure level can be given in octave intervals, between the interval centred on 63 Hz and the interval centred on 4000 Hz. They are either normalised (the level which one obtains when the equivalent absorption area of the reception area is $10\ m^2$) or standardised (the level which one obtains when the reverberation time in the reception area is $0.5\ s$).

On the other hand, the objective values, given in the form of acoustic pressure levels, which should not be exceeded in the reception area are frequently given in dB(A) or dB(C). These values are calculated starting from the spectrum of octave intervals.

The values most frequently used are the following:

 $L_{A,max}$, $L_{n,A,max}$, $L_{nT,A,max}$: maximum sound pressure level, expressed in dB(A), raw normalised or standardised

 $L_{A\ eq},\ L_{n,A\ eq}$ or $L_{nT,A\ eq}$: equivalent continuous levels, expressed in dB(A), raw normalised or standardised

 $L_{\text{C,max}}$, $L_{\text{n,C}}$ max, $L_{\text{nT,C}}$ max: maximum sound pressure level, expressed in dB(C), raw normalised or standardised

 $L_{\text{C,eq}},\ L_{\text{n,C eq}}$ or $L_{\text{nT,C eq}}$: equivalent continuous levels, expressed in dB(C), raw normalised or standardised

The relations between the different levels used are the following:

$$\begin{split} L_{n} &= L + 10 \log (A/A_{0}) \\ L_{nT} &= L - 10 \log (T/T_{0}) \\ L_{nT} &= L_{n} - 10 \log (0.032 \text{ V}) \end{split}$$

L ist der Pegel des bewerteten Schalldruckpegels in dB. L_n ist der Pegel des Norm-Schalldruckpegels in dB. L_{nT} ist der Pegel des Standard-Schalldruckpegels in dB. A ist die äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum (m^2), A_0 ist die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche, normalerweise mit 10 m^2 angenommen. T ist die Nachhallzeit im Empfangsbereich (s), T_0 ist die Bezugs-Nachhallzeit, normalerweise mit 0,5 s angenommen und häufig gleich der Nachhallzeit, die in Verträgen für den betrachteten Raumtyp zugrunde gelegt wird. V ist das Volumen des Empfangsraumes (m^3).

L is the level of the unweighted sound pressure level in dB. L_{n} is the level of the normalised sound pressure level in dB. L_{nT} is the level of the standardised sound pressure level in dB. A is the equivalent absorption area in the reception room $(m^2),\,A_0$ is the reference equivalent absorption area, generally taken as 10 m^2 . T is the reverberation time in the reception room (s), T_0 is the reference reverberation time, generally taken as 0,5 s, and occasionally similar to the reverberation time laid down in contracts for the type of room under consideration. V is the volume of the reception room (m^3) .

A4-6.2 Die verschiedenen zu betrachtenden Arten der Energieübertragung

Der Luftschall, der durch die Wände eines Gebäudes übertragen wird: die Luftschallquellen der Haustechnik erzeugen einen Schalldruckpegel in dem Raum, wo sie installiert sind. Ein Teil dieser Energie wird durch die Wände des Gebäudes zum Empfangsbereich übertragen.

Der Luftschall, der längs oder quer zu Schächten oder Kanalisationsrohren in den Empfangsbereich transportiert wird.

Der Körperschall, der einer Vibrationsenergie entspricht, die direkt auf die Wände des Gebäudes übertragen wird, die dann einen Teil dieser Energie in den Empfangsbereich weiterleiten.

Wenn man den Norm-Schalldruckpegel im Empfangsbereich betrachtet, erhält man den Pegel $L_{\rm n}$ durch nachstehende Gleichung:

A4-6.2 The different types of energy transmission to be considered

The airborne noise transmitted by the walls of a building: the sources of airborne noise of installations produce a sound pressure level in the room where they are installed. Part of the corresponding energy is transmitted towards the reception area by the walls of the building.

The airborne noise transmitted by or across the ducts and canalisation pipes and transported to the reception area.

The structure-borne noise, corresponding to a vibration energy communicated directly to the walls of the building, which conduct part of it to the reception area.

If one considers the normalised sound pressure level in the reception area, the level L_{n} is obtained by the equation below:

$$L_{n} = 10 \cdot log_{10} \left[\sum_{i=1}^{m} 10^{L_{n,a,i}/10} + \sum_{j=1}^{n} 10^{L_{n,d,j}/10} + \sum_{k=1}^{0} 10^{L_{n,s,k}/10} \right]$$
(44)

wobei $L_{n,a,i}$ der Norm-Schalldruckpegel ist, der von der Quelle i durch die Gebäudestruktur übertragen wird. $L_{n,d,j}$ ist der Norm-Schalldruckpegel, der längs oder quer zu Schächten, Kanalisationsrohren von der Quelle j übertragen wird. $L_{n,s,k}$ ist der Norm-Schalldruckpegel, de als Körperschallübertragung von der Quelle k aus weitergeleitet wird.

A4-6.2.1 Luftschallübertragung durch die Gebäudestruktur

Diese Übertragung ist ähnlich derjenigen, die mit dem allgemeinen Problem der Schalldämmung zwischen zwei Plätzen untersucht wurde, mit der direkten Übertragung durch die trennende Wand und die Flankenübertragungen durch die Seitenwände (siehe A4-2). Man muss immer daran denken, dass man niemals mit Benutzung der einzelnen Dämmwerte (D_w, D_n,A) oder D_nT,A) argumentieren kann, da das abgestrahlte Schallspektrum selten Resonanzrauschen oder Verkehrsgeräusch sein wird. Man sollte in der Tat keinen Schalldruckpegel, in dB(A) ausgedrückt, im Empfangsbereich überschreiten, wobei das tatsächlich durch die Schallquelle abgestrahlte Schallspektrum im Sendebereich betrachtet wird. Man muss daher eine Berechnung nach Frequenzintervallen anstellen, um schließlich den Schallpegel in dB(A) im Empfangsbereich zu bestimmen.

Die einzigen Frequenzintervalle, die man benutzen kann, sind Oktavintervalle, da die Schallquelle praktisch immer durch Schallleistungspegel charakterisiert wird, die in Oktavintervallen angegeben werden.

Die Eigenschaften der Wände, die in Labors ermittelt werden, sind normalerweise in Terzintervallen bekannt, zwischen den Oktavmittelpunkten 100 Hz und 3150 Hz. Dies erlaubt eine Berechnung und Bestimmung der Eigenschaften der Oktaven vom Oktavintervall mit 125 Hz bis zum Oktavintervall mit 2000 Hz. Andererseits erzeugen viele Anlagen einen Schall mit beachtenswerten Pegeln in der Oktave mit 63 Hz und manchmal sogar relativ hoch in der Oktave mit 4000 Hz. Diese beiden Frequenzintervalle sind häufig nicht bei der Beschreibung von Wänden angegeben. Man muss aus diesem Grund eine Hypothese aufstellen, im Allgemeinen durch Extrapolation.

A4-6.2.2 Luftschallübertragung längs oder quer zu Schächten

Es gibt drei verschiedene Arten von Übertragung:

where $L_{n,a,i}$ is the normalised sound pressure level caused by the transmission in the structures of the building by the source i. $L_{n,d,j}$ is the normalised sound pressure level conducted by or across ducts, canalisation pipes, for the source j. $L_{n,s,k}$ is the normalised sound pressure level caused by the transmission of structure-borne sound produced by the source k.

A4-6.2.1 Transmission of airborne sound by the structure of the building

This transmission is similar to that studied in the general problem of acoustic insulation between two places, with the direct transmission through the separating wall and the flanking transmissions by the lateral walls (see A4-2). Let us always remember that one cannot argue using the single values of insulation (D_w , $D_{n,A}$ or $D_{nT,A}$) since the spectrum of emitted noise is rarely pink noise or traffic noise. In fact, one should not exceed a sound pressure level expressed in dB(A) in the reception area, taking account of the actual noise spectrum emitted by the source in the emission area. One is therefore required to make a calculation by frequency intervals to determine, finally, the sound pressure level in dB(A) in the reception area.

The only frequency intervals that could be used are octave intervals, since the source is practically always characterised by the acoustic power levels given by octave intervals.

The characteristics of the walls, measured in laboratories, are normally known by third-octave intervals between those centred on 100 Hz and those centred on 3150 Hz. This allows to calculate and determine the characteristics of the octaves from the octave interval centred on 125 Hz up to the one centred on 2000 Hz. However, numerous types of equipment generate a noise with important sound levels in the octave centred on 63 Hz, and occasionally relatively high in the octave centred on 4000 Hz. These two frequency intervals are frequently not present in the given characteristics of walls. One has therefore to make hypothesis, generally by extrapolation.

A4-6.2.2 Transmission of airborne sound by or across

There are three different types of transmission:

- Übertragung von der ursprünglichen Quelle bis zu den entferntesten Wänden der Vernetzung im Empfangsbereich: Wenn man ein Netzwerk von Schächten oder Kanalisationsrohren betrachtet, liefert eine Schallquelle (Ventilator, Pumpe) eine bestimmte akustische Leistung am Eingang des Netzwerkes. Diese akustische Leistung wird teilweise durch die Eigenschaften des Netzwerkes aufgebraucht (Biegungen, lange Strecken, Verzweigungen, Querschnittsänderungen, Membranen, usw.). Hieraus resultiert ein Schalldruckpegel am Ende des Netzwerkes, im Empfangsbereich. Der Pegel des akustischen Drucks erlaubt die Kalkulation des Schalldruckpegels an diesem Ort, wenn man die Entfernung zwischen dem Ende des Netzwerkes und dem Empfangsbereich und auch die Absorptionseigenschaften dieses Platzes kennt (siehe Dokument A5).
- Übertragung des Geräusches, das in den verschiedenen Elementen des Netzwerkes erzeugt wird: Die Elemente des Netzwerkes dämpfen normalerweise den Schalldruck, der von den im Netzwerk transportierten Flüssigkeiten mitgenommen wird, aber gleichzeitig regenerieren sie ein mehr oder weniger deutliches Geräusch in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit dieser Flüssigkeiten. Auf diese Weise ist ein Schalldämpfer in einem Belüftungskreislauf ein Dämpfer des Geräusches, aber in derselben Weise ein Erzeuger von Geräuschen. Das Ziel ist daher, dass das erzeugte Geräusch unter dem liegt, welches verstummen soll. Meistens rechnet man den Schalldruck am Ausgang des Bauteils, der durch Dämpfung entsteht, und bestimmt unmittelbar hinter dem Bauteil die akustische Energie mit dem Ziel, den Gesamtschalldruck zu erhalten.
- Übertragung des in einem Raum vorherrschenden Geräusches in das Innere des Netzwerkes, durch Schachtwände oder Kanalisationsrohre, Übertragung des mitgebrachten Geräusches durch die Wände der Schächte oder Kanalisationsrohre in den Raum, durch den diese Installationen gehen.

A4-6.2.3 Übertragung von Körperschall

Dies ist der am wenigsten gut beherrschte Teil des Problemfeldes Haustechnikgeräusche.

Die Haustechnikschallquellen produzieren nicht nur Luftschall, sondern auch Körperschall, der durch Vibrationen, die sich durch die Wände in Richtung Empfangsbereich fortsetzen, übertragen wird. Man kann häufig die Frequenzen bestimmen, in denen die Vibrationsenergie am wichtigsten ist, aber es gibt wenige Mittel, um die Schallleistung abzuschätzen, die durch die Gebäudestruktur übertragen wird. Um dieses Problem zu meistern, greift man auf Antivibrationsmittel zurück, die man unter Maschinen platziert, in Halterungen von Kanalisationsschächten oder mit denen Wandträger entkoppelt werden. Kurz gesagt, man trifft Vorkehrungen, sorgfältig als eine Funktion der zu dämpfenden Frequenzen ausgewählt, ohne dass man die Wirkung dieser Vorkehrungen genau berechnen könnte. prEN 12354-5 gibt keinen einzigen nützlichen Hinweis, wie dieses Problem des Körperschalls gemeistert werden kann.

A4-6.3 Die wichtigsten Teile der Haustechnik und die

Übertragungsarten, die sie hervorrufen

A4-6.3.1 Belüftungssysteme

Die Quellen, der Ursprung von Geräuschen in Belüftungssystemen, sind häufig innerhalb eines Gebäudes (zentraler Belüftungsschacht), welche sich in einem Maschinenraum oder unterhalb des Gebäudedachs befindet. In diesen Gehäusen findet man einen Ventilator, einen Elektromotor, eine mechanische Übertragung, einen Kompressor, verschiedene Filter, usw.

Beim Luftschall, der durch dieses Gehäuse erzeugt wird, werden sie durch drei Schallpegel charakterisiert, die in Oktavintervallen (zwischen 64 Hz und 4000 Hz oder 8000 Hz) angegeben werden:

- Transmission of the initial source to the farthest end of the network in the reception area: If one considers a network of ducts or canalisation pipes, a noise source (ventilator, pump) delivers a certain acoustic power at the entrance of that network. This acoustic power is partly consumed by the peculiarities of the network (elbows, long stretches, derivations, cross-section changes, diaphragms, etc.). From this results a sound pressure level obtained at the end of the network, in the area of reception. This level of acoustic pressure allows to calculate the sound pressure level at the location, knowing the distance between the end of the network and the reception point, knowing also the absorption characteristics of that place (see document A5).
- Transmission of the noise regenerated by the different elements of the network: The elements of the network normally attenuate the acoustic pressure taken along by the fluids transported in the network, but they regenerate equally a noise more or less important, dependent upon the flowing speed of the fluids. This is how a silencer placed in a ventilation circuit is an attenuator of noise, but in the same way a generator of noise. The aim is that the regenerated noise is below the noise which is supposed to be silenced. Most frequently, one calculates the acoustic pressure at the exit of the element caused by attenuation and determines just behind it the regenerated acoustic energy, with the aim to obtain the overall acoustic pressure behind that element.
- Transmission of noise existing in a room into the interior of a network, by the walls of ducts or canalisation pipes, transmission by the walls of the ducts or the canalisation pipes of the noise transported to the room which is transversed.

A4-6.2.3 Transmission of structure-borne sound

This is the least well controlled part in the problem area of equipment noise.

The sources of equipment noise do not only produce airborne sound, but also structure-borne sound, which is transported by vibrations which proceed through the walls towards the reception area. One can frequently determine the frequencies in which the vibration energy is the most important, but one has few means for the evaluation of the power transmitted through the building structure. To treat this problem, one takes recourse to anti-vibration materials placed under machines, on the suspensions of canalisation ducts, on the decoupling of wall beams. In short, one takes precautions, judiciously selected as a function of frequencies to be attenuated, without being able to precisely calculate the effect of these precautions.

prEN 12354-5 does not give any useful indication on how to master these problems of structure-borne sound.

A4-6.3 The main equipment parts of a building and the types of transmission which they produce

A4-6.3.1 Ventilation systems

The sources, the origin of noise in a ventilation system, are frequently inside a casing (central air duct) placed in a equipment room or below the roof of a building. In these cases, one finds a ventilator, an electrical motor, a mechanical transmission line, a compressor, several filters and so on.

Regarding the airborne noises produced by the casing, they are characterised by three sound power levels, given at octave intervals (between 64 Hz and 4000 Hz or 8000 Hz).

- Schallleistung der Ansaugung: Bei einem Belüftungsnetzwerk ist es die akustische Energie, die für die Berechnung des Netzwerkes benutzt wird, um die Luft anzusaugen und zu verteilen, oder für das Netzwerk, das Frischluft ansaugt.
- Schallleistung am Austritt: Das ist die akustische Energie, die am Eingang des Belüftungsnetzwerkes betrachtet wird. Die Berechnung des Netzwerkes besteht im Wesentlichen aus der Bestimmung, wie die akustische Energie teilweise durch die Besonderheiten des Netzwerkes verbraucht wird, um so einen akustischen Energiepegel zu erhalten, der durch das Netzwerk verteilt wird. Diese Berechnung muss die Regenerierung von Schall durch die Elemente des Netzwerkes einbeziehen, wie oben schon angedeutet wurde.
- Schallleistung, die durch das Materialgehäuse abgestrahlt wird: Diese Energie dient hauptsächlich der Bestimmung des Schalldruckpegels im Empfangsbereich, der durch Übertragungen durch Gebäudewände erzeugt wird.

Beim Körperschall sollte man zumindest die Rotationsgeschwindigkeit von Propellern im Gehäuse (von Motoren, Ventilatoren) kennen, das Gewicht des Gehäuses und die Verteilung dieses Gewichts auf die entsprechenden Fundamente. Mit diesen Angaben kann die die erforderlichen Vibrationsunterdrückungsmaßnahmen bestimmen, um das geringste Maß an Vibration an die Wände weiter zu geben, die das Gehäuse tragen.

Bei Belüftungsnetzwerken sind die zu betrachtenden Elemente sehr zahlreich:

- Kanäle: Dämpfung und Regeneration durch geraden Verlauf (die Regeneration wird stärker, je höher die Luftgeschwindigkeit).
- Bögen: Dämpfung und Regeneration ein rechtwinkliger Bogen dämpft und regeneriert mehr als eine runde Biegung.
- Verzweigungen: häufig verbunden mit Bögen.
- Schalldämpfer: dämpft und regeneriert.
- Querschnittsänderungen: die Querschnittsänderung muss bedeutend sein, um eine deutliche Dämpfung erwarten zu können
- Brandschutzventile: normalerweise haben sie keinen großen Einfluss, da sie im Normalbetrieb offen sind.
- Ventilspindeln: der Schallerzeugung muss Aufmerksamkeit gewidmet werden.
- Hochdruckausrüstung: Problem Schallerzeugung.
- Endstellen: am Ende des Netzwerkes erzeugen Gitter und Verteiler einen Schall, der nicht vernachlässigt werden kann; sie haben eine Dämpfung, die zur Wirkung der Reflexion im Luftauslass des Raumes hinzugezogen werden muss.

Wir gehen in dem Kapitel über Belüftungssysteme nicht in mehr Einzelheiten, da sie zum größten Teil im Kapitel A6-2.3 behandelt werden.

A4-6.3.2 Heizungsanlagen

Die Beheizung kann durch verschiedene Arten von Anschlussgeräten realisiert werden:

- Heizkörper oder Wärmetauscher mit heißem Wasser.
- Elektrische Strahler oder Wärmetauscher (zu berücksichtigen, da sie geringere akustische Probleme machen, wenn sie nicht mit Lüftungsventilatoren komplettiert werden).
- Heißluftöffnungen.
- Fußbodenheizungssysteme.
- Beheizte Gebäudedecken.

- Sound power of admission: In case of a blowing network, it is the acoustic energy which is used for a calculation of the network to take the air in and to distribute it, or of the network used to introduce fresh air.
- Sound power of the output: This is the acoustic energy considered at the entrance of the blowing network. The calculation of the network consists principally of the determination how that acoustic energy is partially consumed by the characteristics of the network, to arrive at the level of acoustic energy to be distributed in the reception area. This calculation must take into account the regeneration of noise by the elements of the network, as we have indicated earlier.
- Sound power radiated by the housing of the material: This
 energy serves mainly to determine the sound pressure
 level in the reception area which is caused by the transmission by the walls of the building.

Regarding the structure-borne sound, one should at least know the rotation speed of propellers in the casings (motors, ventilators), the weight of the casings and the distribution of that weight on the respective foundations. This given would allow for a determination of the anti-vibration characteristics needed to transmit the lowest possible amount of vibration to the walls supporting the casings.

Regarding the ventilation network, the elements to be considered are numerous:

- Ducts: attenuation and regeneration by straight runs (the regeneration is the stronger, the higher the speed of the air)
- Elbows: attenuation and regeneration a right-angle elbow attenuates and regenerates more than a round hend
- Derivations: frequently associated with elbows.
- Noise attenuator: a silencer attenuates and regenerates.
- Cross-section changes: it is required that the cross-section ratio should be high to be able to count on a significant attenuation.
- Fire-stopping valves: normally not having great influence since they are open, which is their normal configuration.
- Valve regulators: attention must be given to the regeneration
- High-pressure equipment: problem of regeneration.
- Terminals: at the end of the network, grids and diffusers occasionally produce a regeneration which is not negligible and have an indigenous attenuation which is added to the effect of the reflection across the air outlet in the room.

We are not going into more details on the chapter relating to ventilation systems since it is too a big part treated in chapter A6-2.3.

A4-6.3.2 Heating installations

Heating can be realised by different types of terminals:

- Radiators or convectors of hot water.
- Electrical radiators or convectors (to remember since they cause smaller acoustical problems when they are not completed by air-blowing ventilators).
- Hot-air openings.
- Under-floor heating systems.
- Heated ceilings.

Bei elektrischen Systemen wird die Wärme durch einen Heizer erzeugt, der die hauptsächliche Schallquelle und die Quelle von Vibrationen in der Einrichtung ist. Der Luftschall wird durch das Feuer und durch den Ventilator, der die Luft heranschafft, erzeugt. Es ist darauf hinzuweisen, dass ein gleichermaßen bedeutendes Resonanzgeräusch durch die Brennkammer, die Verbindung zum Rauchkanal und den Rauchkanal (Schornstein) selbst erzeugt werden kann.

Bei Gesamtheizsystemen für ein Gebäude befinden sich die Heizeinrichtungen in einem technischen Bereich, der "Heizungskeller" genannt wird. An diesem Platz findet man noch andere Quellen von Luftschall, aber auch Quellen von Vibrationen, wie z. B. Pumpen (normalerweise auf Fundamenten am Boden) oder Umwälzpumpen (häufig direkt in den Rohren).

Für einen Druckheizkessel für eine Heizleistung P in kW könnte Schallleistungspegel der nach der Gleichung: $L_{wA} = 57 + 12 \log (P) \text{ in dB(A)}$ abgeschätzt werden (siehe prEn 12354-5). Ein gut entworfenes Gehäuse für den Brenner kann diesen Energiepegel auf 20 dB reduzieren. Achtung: Die Schallpegel in den unteren Frequenzen sind besonders wichtig.

Eine französische Studie zu Messungen an 145 Heizsystemen mit Druckluftbrennern zeigte, dass 90 % der Heizungssysteme Schallpegel unterhalb der folgenden Werte erzeugen:

In electrical systems, the heat is produced by a heater, which is the principal sound source, and of vibrations in the installation. The airborne noise is produced by the fire and the ventilator supplying the air. Let us remember that equally an important resonance noise can be produced by the burning chamber, by the connection to the smoke duct and to the smoke duct (chimney) itself.

In case of a collective heating system for a building, the heating installations are in a technical installation area called "heatery". In this place, one finds other sources of airborne noise, but also always vibrations, such as from pumps (normally on foundations on the ground) or circulation pumps (frequently directly placed on the pipes).

For a pressurised burner for the heating of a power P in kW, the sound power level could be estimated by the relation: $L_{WA} = 57 + 12 \log{(P)} \text{ in dB(A)}$ (see prEN 12354-5). A well designed casing of the burner can diminish this level of energy to 20 dB. Attention: the sound levels in the low frequencies are especially important.

A French study of measurements of 145 heating systems with blowing-air burners has shown that 90% of the heating systems produce sound levels below the following values:

$$L_{D} \le 55 + 10 \log (P) dB(A)$$

wobei P die Heizleistung des Heizungssystems in kW ist.

Im tieffrequenten Bereich ist das logarithmische Mittel der auf 63 Hz, 125 Hz und 250 Hz zentrierten Oktaven:

where P is the thermal power of the heating system in kW.

In the low frequencies, the logarithmic mean of the octaves centred on 63 Hz, 125 Hz and 250 Hz:

$$L_p \le 65 + 8 \log (P) dB$$

Im mittelfrequenten Bereich ist das logarithmische Mittel in den In the mean frequencies, the logarithmic mean of the octaves Oktaven um 500 Hz und 1000 Hz:

centred on 500 Hz and 1000 Hz:

$$L_D \le 51 + 10 \log{(P)} dB$$

Oktaven um 2000 Hz und 4000 Hz:

Im hochfrequenten Bereich ist das logarithmische Mittel in den In the high frequencies, the logarithmic mean of the octaves centred on 2000 Hz and 4000 Hz:

$$L_p \leq 58 + 12 \, log \, (P) \, dB$$

Für vergleichbare Heizleistungen sind die Schallpegel in Abhängigkeit der benutzten Generatoren unterschiedlich.

Zum Beispiel, wenn man das Geräusch eines Heizungssystems mit einer Heizleistung von 1000 kW betrachtet, entweder mit Druckheizkesseln oder mit Luftheizkesseln, ist der Schalldruckpegel für den zweiten Kesseltyp viel niedriger.

Tabelle 15 zeigt einen Vergleich der Schalldruckpegel, die man in einem Heizungskeller mit Luftheizkesseln antrifft, ohne Abluftventilator, und in einem Heizungskeller mit Druckheizkesseln für eine Heizleistung von 1000 kW.

At similar thermal power, the noise level are very different dependent on the generators used.

For example, if one compares the noise of a heating system of a power of 1000 kW, with burners of blowing air or with burners using atmospheric air, the levels of sound pressure are much lower for the second type of burners.

Table 15 shows a comparison of the sound pressure levels found in a boiler room with a burner using atmospheric air, without a ventilator of extraction, and in a burner room with a burner using blowing air, for a thermal power of 1000 kW.

Frequenzen Frequencies Heizkesselart Type of burner	Tief <i>Low</i> (63, 125, 250 Hz)	Mittel <i>Medium</i> (500, 1000 Hz)	Hoch <i>High</i> (2000, 4000 Hz)	Frequenzen Frequencies L _p in dB(A)
Heizkessel mit Normaldruck Burner with atmospheric air	58	48	42	52
Druckheizkessel Burner with blowing air	89	81	74	85

Schalldruckpegel in zwei ähnlichen Hei-Tabelle 15: zungskellern für verschiedene Heizungssysteme

Table 15:

Sound pressure levels in two similar boiler rooms with different types of burners

In einem Heizungskeller mit einem Luftheizkessel ist die Verbrennung nicht sehr geräuschvoll und die Geräusche der Pumpen können offenbart werden. Das ist der Grund dafür, dass in dem Heizungskeller des obigen Beispiels sich der Schalldruckpegel von 52 dB(A) auf 65 dB(A) erhöht, da die Pumpen angeschaltet wurden.

Bei Einzelheizungssystemen werden häufig Luftheizkessel benutzt und sie werden eingemauert (positioniert in der Wand eines flachen Raumes, häufig in der Küche). Für das Heizungssystem vom Typ B, in dem die Ableitung der Verbrennungsgase in einem Kanal stattfindet und die Verbrennungsluft direkt im Raum angesaugt wird, befindet sich die Schallleistung häufig zwischen 45 dB(A) und 50 dB(A), da der Heizkessel mit voller Leistung arbeitet.

Für eingemauerte Heizungssysteme des Typs C hat der Verbrennungskreislauf keinerlei Verbindung mit dem Einbauort. Ihre Schallleistung bewegt sich häufig zwischen 44 dB(A) und 48 dB(A).

A4-6.3.3 Die Installationen der Wasserversorgung

Schallquellen sind normalerweise Wasserhähne, Pumpen und Abflüsse. Man muss jedoch auch andere Schallquellen betrachten, wie z. B. das Einlassgeräusch des Wassers in eine Badewanne.

prEN 12354-5 enthält eine Tabelle mit Aufstellungen über mögliche Schallquellen in Wasserversorgungssystemen mit dem generierten Geräuschtyp (siehe Tabelle 16).

Das akustische Verhalten eines Wasserhahns wird durch den Schalldruckpegel Lap charakterisiert, der durch das Verhältnis

In a boiler room with an atmospheric-air burner, the combustion is not very noisy and the noise of the pumps can be revealed. Thus, in the boiler room used in the example above, the sound pressure level passes from 52 dB(A) to 65 dB(A) since the pumps have been brought into action.

In case of individual heating systems, the burners are frequently using atmospheric air and are walled (situated in a wall of a flat room, frequently the kitchen). For the heating systems of type B, for which the removal of the burned gases takes place in a duct and the combustion air is taken directly in the room, the sound power is frequently found between 45 dB(A) and 50 dB(A) since the heater works fully charged.

For the walled heating systems of type C, the combustion circuit has no communication with the place where they are installed. Their sound power frequently varies between 44 dB(A) and 48 dB(A).

A4-6.3.3 The installations of water supply

Noise sources are principally taps, pumps and water gates. But one must see also other noise sources, such as the fall of the water into a bathtub when it is filled.

prEN 12354-5 gives a table listing the possible noise sources in a water-supply installation with the types of noises generated (see Table 16).

The acoustic performance of a tap is characterised by the sound pressure level L_{ap} defined by the relation

$$L_{ap} = L_{sr} + L - L_{s}$$

wobei L_s der Schalldruckpegel ist, der sich am Messort ergibt, wenn ein Anschlussventil (Erzeuger von hydraulischem Lärm) mit einem Versorgungsdruck von 3 bar arbeitet. L_{sr} ist der Referenzschalldruckpegel, wenn die Norm-Schallquelle arbeitet. L ist der Schalldruckpegel, der gemessen wird, wenn der zu prüfende Wasserhahn arbeitet.

Der Pegel L_{ap} erlaubt es, die Wasserhähne zu klassifizieren, gemäß ihrer jeweiligen mehr oder weniger leisen Charakteristik. Je niedriger L_{ap} , desto weniger Lärm macht der Hahn.

Die Norm-Schallquelle von hydraulischem Geräusch ist so konstruiert worden, um viel Lärm zu machen (niemand würde Derartiges in seiner Wohnung haben wollen).

Das Geräusch des Wasserhahns nimmt mit zunehmendem Versorgungsdruck des Wassers zu.

Das Geräusch des Wasserhahns nimmt mit der Menge des herauslaufenden Wassers zu.

Tabelle 16 gibt die Schallquellen von Wasserversorgungsanlagen an, zusammen mit dem erzeugten Geräuchtyp.

where L_s is the sound pressure level obtained in the room of measurement when a standard tap (generator of hydraulic noise) functions with a supply pressure of 3 bar. L_{sr} is the reference sound pressure level when a standardised generator works. L is the sound pressure level measured when the tap to be tested works.

The level L_{ap} allows to classify the taps according to their respective more or less silent characteristic. The weaker L_{ap} , the less noisy the tap.

Regarding the standardised generator of hydraulic noise, it is designed to make much noise (nobody would like it in his flat).

The noise of the tap increases as the supply pressure of the water increases.

The noise of the tap increases as the amount of water dispensed increases.

Table 16 gives the noise sources of water-supply installations together with the type of noise generated.

Installationsteil Component		Erzeugung von Generation of			Übertragung auf das Gebäude durch Transmission to the building by		
Ventile und Hähne jeder Art Valves and taps of any kind	Luftschall Airborne sound	Körperschall Structure- borne sound	Fluidschall Fluid- borne sound	direkte Installation direct mounting	Halterungs- elemente Mounting elements	Rohre Pipes	
Absaughähne Draw-off taps		Х	Х	Х	Х	Х	
Schlauchhähne Hose taps		Х	Х	Х	Х	Х	
Spülhähne Flush taps		Х	Х	Х	Х	Х	

Installationsteil Component		Erzeugung von Generation of		Übertragung auf das Gebäude durch Transmission to the building by		
Ventile und Hähne jeder Art Valves and taps of any kind	Luftschall Airborne sound	Körperschall Structure- borne sound	Fluidschall Fluid- borne sound	direkte Installation direct mounting	Halterungs- elemente Mounting elements	Rohre Pipes
Abflussventile, innen eingebaut: Absperrhähne Winkelverschlussventile Rückflussverhinderungseinrichtungen Gate valves, inline fittings: stop taps corner stop valves back flow prevention devices		X	Х	(X)	(X)	X
Drosselventile Throttle valves		Х	X	Х	X	Х
Druckreduzierende Ventile Pressure-reducing valves		Х	Х	(X)	(X)	Х
Zusätzliche Regler am Ausfluss von Hähnen: Strahlregler Durchflusskontrolleinrichtungen Antivakuumventile Rückflussverhinderungseinrichtungen Regulating elements at the outlet of taps: Jet regulators Flow control devices Anti-vacuum valves Back flow prevention devices		X	X			×
Rohre Pipes		Х	Х	Х	Х	Х
Spülkästen Flushing boxes	Х	Х	Х	Х	Х	Х
(Durchlauf) Wasserheizer, Kessel (Circulating) water heaters, boilers	(x)	Х	Х	Х	Х	(X)
Bassins: Badewannen Duschbecken Toilettenbecken Abflüsse Basins: Bathtubs Shower tubs Lavatory basins Sinks Toilet-basins	х	х		X	Х	
Verstärkungspumpen Booster pumps	Х	Х	Х	Х	Х	Х

Tabelle 16: Zusammenstellung von Schallquellen und den jeweiligen Übertragungsarten in Wasserversorgungssystemen

A4-6.4 Einige grundsätzliche Vorkehrungen zur Begrenzung von Schallemissionen von bestimmten Einrichtungen

Dieses Kapitel behandelt in der Praxis häufig angetroffene Fälle und gibt einige Ratschläge zu ersten Vorkehrungen, die man ergreifen kann. In Anbetracht der Anzahl der verschiedenen Einrichtungen und der Vielfalt der Materialien in jeder Kategorie ist dies nur ein Überblick über die akustischen Probleme, die es jedoch erlaubt, eine bestimmte Anzahl nützlicher Prinzipien zu erklären.

A4-6.4.1 Außenseitig angebrachte Haustechnik

Beispiele: Klimaanlagen, Kühltürme, Ventilatoren, Luftabsauger, Kühleinrichtungen, usw.

Table 16: Compilation of noise sources and relevant types of transmission in water-supply systems

A4-6.4 Some principal precautions to take to limit the noise of certain installations

This chapter treats cases frequently encountered in practice and gives some advice regarding the first precautions to take. Taking into account the number of different equipment and the variety of materials in each category, this is only an overview of the acoustical problems, however, which allows to explain a certain number of useful principles.

A4-6.4.1 Equipment installed at the outside

Examples: air conditioners, cooling towers, ventilators, air extractors, cooling assemblies, etc.

Diese Maschinen stellen zwei Arten akustischer Probleme dar: Das erste ist mit Umweltschutz verbunden, das zweite bezieht sich auf den Schutz der in Gebäuden mit diesen Einrichtungen lebende Menschen.

Aus Gründen des Umweltschutzes muss man:

- die größtmögliche Entfernung zwischen die Anlagen und mögliche Beschwerdeführer legen, auch wenn dies zu sehr langen Kanälen führt;
- darauf achten, dass die Anlagen nicht vor einer Wand montiert sind, die als Reflektor für akustische Energie in die Richtung, die geschützt werden muss, wirken könnte;
- die Möglichkeit ins Auge fassen, Schutzschilde zwischen der Maschine und möglichen Beschwerdeführern aufzustellen; diese Schilde müssen die Wartung der Maschinen sicherstellen, ihren Lufteintritt offen lassen und sie müssen auch noch die bauaufsichtlichen Vorschriften zur Gebäudehöhe respektieren;
- die am wenigsten Schall abstrahlende Maschinenseite nach dem zu schützenden Bereich ausrichten, wenn die Anlage eine deutliche Richtungscharakteristik aufweist.

Für den Schutz der Bewohner des ausgestatteten Gebäudes müssen Antivibrationsmaßnahmen unter den Anlagen vorgesehen werden, ohne dabei aber die Entkopplung der Rohrleitungssysteme zu vergessen, die die Einrichtung versorgen.

In all diesen Fällen muss der Maßstab der akustischen Abstrahlung in Rechnung gestellt werden, wenn die Geräte ausgesucht werden. Bei vergleichbaren Arbeitsleistungen gibt es häufig Maschinen, die weniger laut sind als andere.

Schließlich ist es häufig möglich, die Arbeitsphasen der Anlage zu begrenzen, besonders dadurch, dass man sie während der Nacht anhält oder mit reduzierter Umdrehungszahl laufen lässt.

A4-6.4.2 Heizungssysteme in bewohnten Räumen

Luftheizgeräte sind vorzuziehen.

Rohrleitungen sollten nicht in Böden installiert werden, die Wohnungen trennen.

Der Ofen gehört auf eine Antivibrationsunterlage und zwischen ihm und seinen Versorgungsleitungen sind Manschetten vorzusehen.

Pumpen mit Antivibration und weichen Manschetten.

Schornsteine unabhängig vom Gebäude.

A4-6.4.3 Heizungssysteme im Keller

In Heizungskellern sind die Pumpen die Geräuschquelle, ferner die Druckregler für Wasser oder Dampf (sehr laut), die Wärmetauscher, die Regulierungsventile, die Bewegung des Wassers oder des Dampfes in den Rohrleitungen.

Um die Belästigung der Bewohner benachbarter Räume zu begrenzen, ist es vernünftig, schwere oder Doppelwände vorzusehen und die Rohrleitungen zu isolieren und die Fließgeschwindigkeit des Dampfes im Rohrleitungssystem zu begrenzen.

Die nachstehende Tabelle enthält die Geschwindigkeitsgrenzen von Dampf als Funktion des Rohrleitungsdurchmessers.

Durchmesser in mm Diameter in mm	40	50	65
Geschwindigkeit in m/s Speed in m/s	22	28	34

Diese Begrenzungen gelten für gerade Strecken im Rohrleitungssystem. Im Fall von Unregelmäßigkeiten wie Bögen, Querschnittsänderungen muss man geringere Geschwindigkeiten zugrunde legen.

These machines pose two types of acoustical problems: The first is linked to the protection of the environment, the second is related to the protection of the persons living in the equipped building

For the protection of the environment, one has to:

- put the largest possible distance between the equipment and possible complainants, even if this leads to very long channels:
- avoid placing the equipment in front of a wall which might reflect the acoustic energy towards a zone to be protected;
- foresee the possibility to place screens between the machine and the possible complainants, these screens must allow for the assured maintenance of the machine, its air intake and must also respect the urban regulations regarding the height of buildings;
- direct the least noisy face towards the zone to be protected, in case the equipment has a marked directivity in a certain direction.

For the protection of the occupants of the equipped building, one has to foresee anti-vibration measures under the equipment without forgetting the decoupling from the pipe work serving them.

In all these cases, the criterion of acoustic emission must be considered when choosing the equipment. For the same working characteristics, there are frequently some machines less noisy than others.

Finally, it is frequently possible to limit the working periods of the equipment, especially by stopping them or have them work at a reduced rate during the night.

A4-6.4.2 Heating systems in occupied places

Choosing preferably atmospheric heaters.

Not placing the pipes under separating floors.

Put the oven on anti-vibration foundation and foresee cuffs between the serving pipes and the oven.

Pumps with anti-vibration and soft cuffs.

Chimneys independent of the building.

A4-6.4.3 Basement heating stations

In basement heating stations, the noise sources are the pumps, the pressure reducers for the water or the steam (most noisy), the heat exchangers, the regulation valves, the movement of the water or the steam in the pipes.

To limit the irritation of occupants in adjacent rooms, it is prudent to choose heavy walls or double walls to isolate the pipes and to limit the speed of the steam in the pipe work.

The table below gives the speed limits of steam as a function of the pipe diameter.

80	100	125	150	175	200
42	49	57	65	74	80

These limitations apply to the straight portions of the network. In case of irregularities, such as elbows, changes in diameter, it is necessary to use lower speeds.

A4-6.4.4 Elektrische Transformatoreinrichtungen

A4-6.4.4 **Electrical transformation installations**

Die nachstehende Tabelle enthält eine Sammlung von Vorkehrungsmaßnahmen.

The table below has a collection of precautionary measures to take.

Geräusch- oder Vibrationsquelle		Reduktion der Übertragung von Schall Reduction of the transmission of noise	
Source of noise and/or of vibra- tion	Ausbreitung Propagation	Projekt: unerlässliche Vorkehrungen ¹⁾ Project: indispensable precautions ¹⁾	Tatsächliche Situation: Lärmreduzierung Actual situation: noise reduction
		Wände und Böden Flächengewicht über 200 kg/m², bestehend aus homogenem nichtporösen Material mit 15 mm Abstand zwischen den Elemen- ten, die mit einer Abdeckung versehen ist Walls and floors Surface mass above 200 kg/m², composed of homogeneous, not porous material with 15 mm spaces between the elements which are covered by an apron	Wahl eines leiseren Transformators ⁴⁾ Choice of a more silent transformer ⁴⁾
		Belüftungsöffnungen Luftauslässe dürfen nicht weniger als 30 cm von Gebäuden entfernt sein oder sich in Durchgängen befinden, an denen Wohngebäude liegen Ventilation openings Avoid to have these outlets at distances below 30 cm from buildings or in a passage onto which residential buildings exist	Öffnungen - akustisch behandeltes Gitter - akustische Barrieren Openings - acoustically treated grid - acoustic obstacles
Transformator Transformer	Luftschall Airborne	Türen Es sind Rahmen vorzusehen, die Türen mit verbesserten akustischen Leistungen aufnehmen können Doors Foresee frames that are able to accommodate doors with an enhanced acoustic insulation	Türen Wo Lämreduzierung erforderlich ist, könnte die Tür ein Problem darstellen, es kann erforderlich sein, die Schalldämmung zu verbessern Doors Where a noise reduction is necessary, the door might pose a problem, its acoustic insulation might need to be reinforced
		Vorgefertigte Teile Wahl des leisesten Luftauslasses ³⁾ Prefabricated items Choice of a less noisy outlet ³⁾	Abschirmflächen (vorgefertigte Teile) Hoch genug, damit der Schirm direkte Übertragung in die Umgebung verhindert ⁽⁵⁾ Screens (prefabricated items) Such a height that the screen prevents direct transmission to the neighbourhood ⁽⁵⁾
	Körperschall Structure- borne	Platzierung unter einem Raum vermeiden. Anbringung von Antivibrationsfundamenten unter den Beinen ²⁾ . Entkopplung an der Verbindung. Avoid the placement below a room. Install anti-vibration foundations under the legs ²⁾ . Decouple at the connection.	Antivibrationsfundamente Anti-vibration foundations
Tabelle BT Table BT	Körperschall Structure- borne	Entkopplung von Untergrund und Wänden mit Hilfe von Antivibrationsfundamenten ²⁾ . Disconnect from the ground and walls with the help of antivibration foundations ²⁾ .	Dasselbe Same
Kabel MT und BT Cables MT and BT	Körperschall Structure- borne	Entkopplung von Wand und Decken mit Hilfe von Antivibrations- fundamenten und Verbindungen von BT an den Transformator mit weichen Verbindungen (Seile, Metallbänder,) Disconnect from walls and the ceiling with the help of anti- vibration foundations and connections of BT to the transformer by soft connections (ropes, metal bands,)	Dasselbe Same

- Diese Vorkehrungen erlauben eine Minimierung der Gefahr und die Vermeidung späterer Veränderungen, die schwierig, wenn überhaupt auszuführen sind und in jedem
- Fall kostspielig.

 These precautions allow to minimise the risks and to avoid later modifications which are difficult to achieve, if not impossible and always costly.
- Maßnahmen, die ergriffen werden müssen, wenn die Installation möglicherweise zu Beanstandungen führen könnte Measures to take in cases where the installation presents a possible trouble potential.
- Dies ist keine besondere Ausführung, sondern eine Wahl zwischen marktgängigen Materialien. This is not a special make, but a choice between accepted materials.
- Dies betrifft die Auswahl einer weniger lauten Maschine, möglicherweise Spezialanfertigung, die eine Reduzierung von mindestens 15 dB(A) zulässt. This concerns the choice of a less noisy machine, of special make, allowing to obtain a reduction of at least 15 dB(A).
- Eine schwierige Lösung, die man nur versuchen sollte, wenn die Mindestabstände nicht eingehalten werden konnten und die Lösungen 3 und 4 nicht ausreichen würden. A solution difficult to execute, not to attempt unless the minimum distance could not be respected and the solutions 3 and 4 would not be sufficient.

Tabelle 17:

Reduzierung von Schallübertragungen und Vibrationen durch Transformatoren (Quelle EDF)

BT = Standardspannung MT = mittlere Spannung

Table 17:

Reduction of noise transmissions and vibrations caused by transformers (source EDF) BT = standard tension MT = medium tension

Symbol	Größe	Einheit
<u>, </u>	Quantities äquivalente Absorptionsfläche in einem Raum, einer Oberfläche oder eines Objekts	Unit m ²
λ ₀	equivalent absorption area in a room, of a surface or of an object äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche (normalerweise 10 m²)	m ²
^	reference equivalent absorption area (generally 10 m²) Gesamtdämpfung im Fortgang einer Welle	dB
A _{tot}	attenuation on the progress of a wave Anpassungsausdrücke für das gemessene Schalldämmmaß oder die gemessene Schalldämmung (C	ub
C; C _{tr}	für Rosarauschen und C_{tr} für Verkehrslärm) adaptive terms for the measured acoustic attenuation indices or the measured acoustic insulation (C for a pink noise emission and C_{tr} for a traffic noise emission)	dB
Cd	Diffusitätsterm correction for diffusion	dB
D	Schalldämmung acoustic insulation	dB
D _c	Richtwirkungskorrektur einer Punktquelle directivity correction for a point source	dB
D _d	direkte Schalldämmung (Übertragung durch die Trennwand)	dB
D ₁	direct acoustic insulation (transmission through the separating wall) Richtungswirkungsmaß (10 log(Q))	dB
	index of directivity (10 log(Q)) Schalldämmung der seitlichen Übertragungswege	
D _{lat}	acoustic insulation on the lateral transmission pathes Norm-Schalldämmung (Referenz A ₀)	dB
D _n	normalised acoustic insulation (reference A ₀) Norm-Dämmung der Übertragung durch Trennung I gegenüber der Trennung i	dB
$D_{n,i,j}$	normalised insulation on the transmission by separation i versus the separation j	dB
D _{nA}	Norm-Schalldämmung = D_{nw} + C normalised acoustic insulation = D_{nw} + C	dB
D _{nAtr}	Norm-Schalldämmung = $D_{nw} + C_{tr}$ normalised acoustic insulation = $D_{nw} + C_{tr}$	dB
D _{ne}	Norm-Schalldämmung eines kleinen Bauteils normalised acoustic insulation of a small element	dB
D _{new}	gemessene Norm-Schalldämmung eines kleinen Bauteils measured normalised acoustic insulation of a small element	dB
D _{nT}	Standard-Schalldämmung (Referenz T ₀) standardised acoustic insulation (reference T ₀)	dB
D _{nTA}	Standard-Schalldämmung = D _{nTw} + C	dB
D _{nTAe,tr}	standardised acoustic insulation = $D_{nTw} + C$ $D_{nTew} + C_{tr}$	dB
D _{nTAtr}	Standard-Schalldämmung = $D_{nTw} + C_{tr}$ standardised acoustic insulation = $D_{nTw} + C_{tr}$	dB
D _{nTe}	Standard-Schalldämmung eines kleinen Bauteils standardised acoustic insulation of a small element	dB
D _{nTew}	gemessene Standard-Schalldämmung eines kleinen Bauteils	dB
D _{nTw}	measured standardised acoustic insulation of a small element gemessene Standard-Schalldämmung	dB
	measured standardised acoustic insulation gemessene Norm-Schalldämmung	
D _{nw}	measured normalised acoustic insulation Vibrationsdämmung in der Verbindung zwischen zwei Wänden	dB
$D_{v,i,j}$	vibration suppression in a connection between two walls Raumwinkelmaß	dB
D_Ω	index for a solid angle	dB
K ₀	Konstante für eine Position mit einem bestimmten Wert in einem Raum constant for a position of a certain value in a room	dB
$K_{i,j}$	Stoßstellendämmmaß für eine Verbindung zwischen zwei Wänden index of vibration attenuation in a connection between two walls	dB
L, L _p L ₁ L ₂	nackte Schalldruckpegel (L ₁ im Senderaum, L ₂ im Empfangsraum) naked sound pressure level (L ₁ in the emission room, L ₂ in the reception room)	dB
L' _{nTw}	gemessener bewerteter Standard-Trittschallpegel in einem Ort measured standardised sound pressure level in a place	dB
L'nw	gemessener bewerteter Norm-Trittschallpegel in einem Ort measured normalised sound pressure level in a place	dB
– A,max	maximaler Schalldruckpegel in dB(A)	dB(A)
-Aeq	maximum sound pressure level in dB(A) äquivalenter Dauerschallpegel in dB(A)	dB(A)
	continuous equivalent level in dB(A) Schalldruckpegel eines Wasserhahns	dB
-ap	sound pressure level of a tap äquivalenter Dauerschallpegel	
L-eq	equivalent continuous level Norm-Trittschallpegel	dB
L _n	normalised sound pressure level	dB

Symbol	Größe Quantities	Einheit Unit
$L_{nA,max}$	maximaler Norm-Schalldruckpegel in dB(A) normalised maximum sound pressure level in dB(A)	dB(A)
L _{nAeq}	äquivalenter Norm-Dauerschallpegel in dB(A) continuous normalised equivalent level in dB(A)	dB(A)
L _{nT}	Standard-Trittschallpegel	dB
	standardised sound pressure level maximaler Standard-Schalldruckpegel in dB(A)	dB(A)
L _{nTA,max}	standardised maximum sound pressure level in dB(A) äquivalenter Standard-Dauerschallpegel in dB(A)	+ ` '
L _{nTAeq}	continuous standardised equivalent level in dB(A)	dB(A)
L_{nTw}	bewerteter Standard-Trittschallpegel measured standardised sound pressure level	dB
L_nw	bewerteter Norm-Trittschallpegel normalised measured sound pressure level	dB
Ls	Schalldruckpegel eines genormten Abschlussventils sound pressure level of a standard tap	dB
L _{sr}	Referenzschalldruckpegel	dB
	reference sound pressure level Schallleistungspegel	dB
Lw	sound power level Flächengewicht einer Trennwand	
m ₀	surface mass of a separating wall	dB
Q	Richtungscharakteristik einer Schallquelle directivity of a sound source	
R	Schalldämmmaß einer Wand acoustic attenuation index of a wall	dB
R'	Bau-Schalldämmmaß einer Wand, vor Ort gemessen apparent acoustic attenuation index of a wall, measured in place	dB
R_A , $R_{A,tr}$	$R_A = R_W + C$ and $R_{A,tr} = R_W + C_{tr}$	dB
R_{g}	Schalldämmmaß einer Wand in einem Kanal acoustic attenuation index of a wall in a duct	dB
R _{lim}	Grenzschalldämmung einer Wand aus zwei Elementen limit index of acoustic attenuation of a wall composed of two elements	dB
R _w	gemessenes Schalldämmmaß (Einzahlwert) measured acoustic attenuation index (unique value)	dB
S	Oberfläche, normalerweise einer Wand	m ²
S ₀	surface, normally of a wall Referenzfläche (10 m²)	m ²
	reference surface (10 m²) Oberfläche eines Kanals durch einen Raum	
Sg	surface of a duct in a room passed through	m ²
Sr	Oberflächen einer leichten und starren Wand, die mit einer Trennwand zwischen zwei Räumen verbunden ist	m ²
_	surface of a stiff and light wall linked to a separating wall between two rooms Nachhallzeit	
Т	reverberation time	S
T ₀	Bezugs-Nachhallzeit (normalerweise 0,5 s) reference reverberation time (normally 0.5 s)	s
TI	Dämmverlust durch Flankenübertragungen zwischen zwei Räumen insulation loss caused by lateral transmissions between two rooms	dV
V	Volumen eines Raumes volume of a room	m ³
V ₀	Referenzvolumen (normalerweise 30 m³)	m ³
	reference volume (normally 30 m³) Schallleistung	
W	sound power Schallleistung, die auf eine Trennwand trifft	W
W ₁	sound power hitting a separating wall	W
W_2	Schallleistung, die durch eine Trennwand hindurch tritt sound power transmitted through a separating wall	W
W ₃	Schallleistung, die durch andere Elemente als die Trennwand übertragen wird sound power transmitted by other elements than the separating wall	W
ΔL_{nw}	Verbesserung durch Bodenbeläge	dB
ΔR	improvement caused by a floor coverage Veränderung des Schalldämmmaßes einer Wand durch mehrlagige Beschichtung	dB
	variation of indices of sound attenuation of a wall caused by a complex coverage Übertragungsfaktor einer Wand	ND ND
τ	transmission factor of a wall	

70 A4-8 Normen und Bibliografie A4-8 Standards and bibliography ISO 717 EN 12354 **EN ISO 140** EN ISO 16032 ISO 3740 - 3747 DIN 4109 La pratique de l'acoustique dans le bâtiment Mathias Meisser L'acoustique du bâtiment par L'exemple Mathias Meisser L'acoustique des locaux scolaires Mathias Meisser L'isolation acoustique et le gros œuvre Mathias Meisser Encyclopédie des métiers – maçonnerie et pierre de taille: l'isolation acoustique Mathias Meisser Guide AICVF - Bruits des équipments REFF volume II - C.S.T.B. Les sciences du bâtiment - acoustique

Haftungsablehnung

Wir erachten die in diesem Dokument gegebene Information als eine gute Praxis-Branchenanleitung (Anleitung). Diese Richtlinie wurde von einer FESI (www.fesi.eu) Kommission erstellt und ist zum Zeitpunkt Veröffentlichung korrekt. Obwohl zuversichtlich sind, dass die enthaltenen Informationen dem neuesten Stand entsprechen genau sind, ist dies nur Bezugsdokument. Es liegt in der Verantwortung des Nutzers, sein eigenes Wissen um die in dieser Richtlinie angesprochenen Probleme auf dem neuesten Stand zu halten.

Diese Richtlinie soll allgemeinen Zwecken dienen, und ist nicht dazu gedacht, maßgebliche nationale oder internationale Normen, Richtlinien oder (wo zutreffend) gesetzliche Regelungen zu übersteuern. Diese Richtlinie soll keine detaillierten Berechnungen und Einschätzungen vorherrschender physikalischer Bedingungen bei komplexen Bauvorhaben ersetzen.

Richtlinie stellt Diese keine gewerbliche Anweisung dar, und spezielle Fachfragen sollten anerkannten Experten vorgelegt werden. Jedes sich Verlassen auf diese Richtlinie ohne Einholung solchen Rates geschieht absolut auf eigene Gefahr. Wir geben keine irgendwie oder Zusicherungen Gewährlei= gearteten stungen, ausdrücklich oder dem Sinne nach, bezüglich der Vollständigkeit, Genauigkeit, Verlässlichkeit oder Maßgeblichkeit dieser Richtlinie.

Die Richtlinie wurde ursprünglich in Englisch verfasst. Wir übernehmen keine Verantwortung für irgendwelche Ungenauigkeiten, die in Übersetzungen dieser Richtlinie in andere Sprachen als Englisch enthalten sind.

Die Richtlinie wird kostenlos zur Verfügung gestellt und wir sind daher unter keinen Umständen haftbar für Verluste oder Schäden, einschließlich – ohne jede Einschränkung – indirekter oder Folgeverluste oder –schäden, oder sonstiger Verluste oder Schäden, die aus einem sich Verlassen auf diese Richtlinie herrühren.

Keiner dieser Ausschlüsse oder Beschränkungen zielt jedoch darauf ab, irgendwelche Rechte, die nicht abbedungen werden können, zu begrenzen, oder Haftbarkeiten für Tod oder Personenschäden für Sie auszuschließen oder zu begrenzen, die aus unserer mangelnden Sorgfalt oder anderen Haftungsgründen herrühren, die wir aus gesetzlichen Gründen weder abbedingen noch begrenzen können

Disclaimer

The information contained in this document is considered by us to be good practice and industry guidance (**Guidance**). The Guidance is provided by a commission of FESI (www.fesi.eu), and is considered to be correct at the date of publication. Whilst we are confident the information contained within it is up to date and accurate, it is a reference document only. It is your responsibility to ensure your knowledge of the matters discussed in the Guidance is kept up to date.

The Guidance is intended to be used for general purposes only and is not intended to take precedence over appropriate national and international standards, guidelines or laws (where applicable). The Guidance is not intended to replace detailed calculations and assessments of prevailing physical conditions in complicated building assignments.

The Guidance does not constitute professional advice and specific queries should be referred to qualified professionals. Any reliance placed on the Guidance without seeking such advice is strictly at your own risk. We make no representations or warranties of any kind, express or implied, about the completeness, accuracy, reliability or suitability of the Guidance.

The Guidance in its original form is written in English. We accept no responsibility for any inaccuracies contained in any translation of the Guidance in languages other than English.

The Guidance is provided free of charge and as such in no event will we be liable for any loss or damage including, without limitation, indirect or consequential loss or damage, or any loss or damage whatsoever arising from any reliance placed on the Guidance.

None of these exclusions or limitations, however, are intended to limit any rights which may not be excluded, nor to exclude or limit liability to you for death or personal injury resulting from our negligence or for other liability which we cannot exclude or limit by law.