

Schallimmissionsmessung in Gebäuden

Bachelor-Arbeit

durchgeführt von

Andreas Zehetner

Institut für Breitbandkommunikation
der Technischen Universität Graz

Leiter: Univ.-Prof. DI. Dr. Gernot Kubin

Betreuer: DI Thorsten Rohde

Graz, im Jänner 2011

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Zusammenfassung

Im Zuge dieser Bachelor-Arbeit war eine Wohnung akustisch zu vermessen, da sich der Eigentümer durch Schallimmissionen des Nachbarn gestört fühlte. Diese Arbeit gibt nun einen Überblick über die theoretischen Grundlagen der Bauakustik, deren Kenngrößen, die Stellung der Bauakustik im Bauwesen und zulässige Grenzwerte. Die Luftschall- bzw. Trittschalldämmung werden, als die zwei wichtigsten Vertreter der Bauakustik, näher erklärt. Die verwendeten Messverfahren werden vorgestellt sowie die Messung protokolliert und die Messergebnisse den zulässigen Grenzwerten gegenübergestellt.

Abstract

In the course of this bachelor's thesis an accommodation had to be measured acoustically, because the owner was disturbed by acoustic noise of its neighbour. This work gives an overview of the theoretical fundamentals of architectural acoustics, its parameters, the emplacement of architectural acoustics with respect to building industry and prescriptive limits. Airborne sound insulation and footfall sound insulation as the most important representatives of architectural acoustics will be explained more explicitly. The used measurement methods were introduced, the measurement was recorded in writing and the results of measurement were compared to the prescriptive limits.

Inhalt

1	Was ist Lärm	5
2	Wärme-, Feuchtigkeitsdämmung und Schallschutz	8
	2.1 Wärmedämmung.....	8
	2.2 Feuchtigkeitsdämmung.....	9
	2.3 Schallschutz.....	9
	2.3.1 Luftschalldämmung.....	10
	2.3.2 Trittschalldämmung.....	13
3	Zulässige Grenzwerte	16
4	Messverfahren	18
	4.1 Luftschalldämmung.....	18
	4.2 Trittschalldämmung.....	18
	4.3 Verwendete Geräte.....	18
5	Messung	19
	5.1 Luftschalldämmung.....	19
	5.2 Trittschalldämmung.....	25
6	Literaturverzeichnis	29

Was ist Lärm?

In diesem einführenden Kapitel wird der Begriff *Lärm* kurz näher erklärt. Da diese Arbeit allerdings die akustische Vermessung einer Wohnung beschreiben soll, dient dieses Kapitel lediglich als eine Einführung in das Gebiet des „Lärms“. Zur weiteren Vertiefung sei auf einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Schall ist die mechanische Schwingung eines elastischen Mediums, welche bei Menschen hauptsächlich durch die Ohren aufgenommen wird.

Der von Menschen hörbare Schall liegt im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 20 kHz (=20 000Hz), darunter befindet sich der Infraschallbereich (Frequenzen kleiner als 16Hz), darüber der Ultraschallbereich (Frequenzen über 20kHz).

Obwohl Infra- als auch Ultraschall vom menschlichen Gehör nicht wahrgenommen werden können, verursachen diese Schwingungen dennoch Wahrnehmungen im allgemeinen Sinn.

Schall wird zu einem Reiz, wenn er auf ein Sinnesorgan (bspw. Gehör) trifft. Wird ein Reiz bewusst wahrgenommen, spricht man von einer Empfindung.

Lärm kann nun als wahrgenommener (empfundener) störender Schall definiert werden.

Es hängt allerdings vom Menschen und dessen Verfassung ab, ob Schall als Lärm und somit als störend wahrgenommen wird (bspw. können laute Motorengeräusche für die Einen als störend für die Anderen als wohlklingend eingestuft werden).

Auch die Lautstärke kann ein Grund für Lärm sein (bspw. erwarten Besucher eines Rockkonzerts laute Gitarren und finden es angenehm, während die Nachbarn es als störend empfinden).

Doch auch leiser Schall kann Lärm sein (bspw. andauernder, leiser Straßenlärm kann bei nächtlicher Ruhe als störend empfunden werden).

Lärm ist jedoch nicht nur störend, er kann auch die Gesundheit gefährden. Auswirkungen von Lärm auf den Menschen: [1]

- verengte Blutgefäße
- Verkrampfungen
- erhöhter Blutdruck (Herzinfarkt)
- Magengeschwür
- Stresshormone werden von den Nebennieren ausgeschüttet (Cortisol etc.)
- Tinnitus (permanentes Wahrnehmen eines Ohrgeräusches)
- TTS (Temporal Threshold Shift): zeitweilige Verschiebung der Ruhehörschwelle (ab dieser Schwelle wird Schall wahrgenommen) nach oben (bspw. nach einem Discobesuch)

Akute Hörschäden werden vor allem durch kurze, impulsartige Geräusche mit hohem Schalldruckpegel verursacht, insbesondere durch Knalle oder Explosionen. Spitzenwerte des Schalldruckpegels von mehr als 140dB können zu direkten Verletzungen des Mittelohres (bspw. Zerreißen des Trommelfelles) oder zu Schädigungen des Innenohres führen. [2]

Jugendsünden (bspw. übermäßige Belastung des Gehörs) machen sich erst im Alter durch Schwerhörigkeit bemerkbar.

Im Folgenden sind einige typische Werte angeführt, oberhalb derer mit bestimmten Lärmwirkungen zu rechnen ist: [3]

Schlafstörungen	ab 30 dB(A)
Kommunikationsstörungen	ab 40 dB(A)
Konzentrationsstörungen	ab 45 dB(A)
Vegetative Wirkungen	ab 60 dB(A)
Hörschäden	ab 85 dB(A)

Das A in Klammer bedeutet, dass die einzelnen Messwerte mit der A-Bewertungskurve abgeglichen wurden, da verschiedene Frequenzen von Menschen unterschiedlich stark wahrgenommen werden und somit unterschiedlich stark zu gewichten sind. Weiters handelt es sich hier um äquivalente Dauerschallpegel, d.h. das bspw. kurze (laute) Impulse über eine bestimmte Zeit gemittelt werden und so der ihnen äquivalente Pegel bei Dauerbeschallung ermittelt wird.

Abbildung 1.1 zeigt schematisch, wie der äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} ermittelt wird. [6]

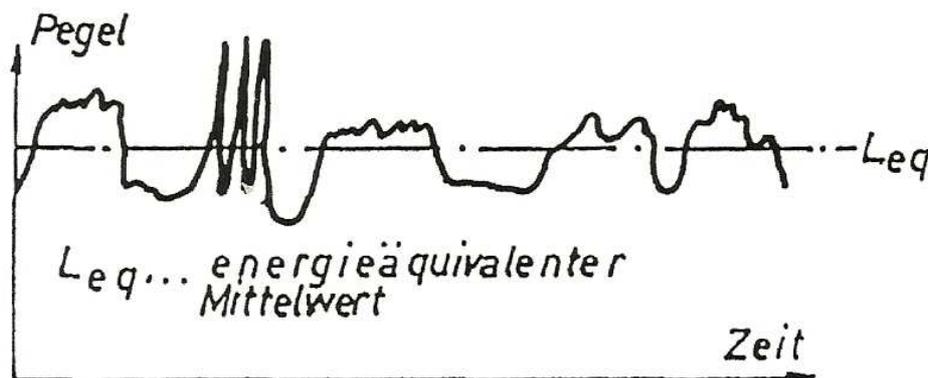


Abb. 1.1: Ermittlung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{eq}

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Störf Wirkung von Schall ist der Informationsgehalt. Im Allgemeinen steigt die Lärmbelastung bei steigendem Informationsgehalt (bspw. kann Sprache bei konzentriertem Arbeiten weit mehr stören als ein gleich lautes Rauschen oder Musik).

In Tabelle 1 finden sich typische Lautstärkewerte verschiedener Schallerzeuger. [4]

	Geräusch (Abstand davon)	Lautstärke dB(A)
unhörbar	sehr leise Uhr	10
	fallendes Blatt	10
sehr leise	Taschenuhr	15-20
	auf weichem Teppich gehen	20
	leichtes Blätterrauschen	20
	Nieselregen	25-30
	Flüstern	25-30

leise leise	Kühlschrank	30-40
	leise Unterhaltung	40
	leises Radio	40-50
	halblaute Unterhaltung (2m)	50
	ruhige Wohnstraße (10m)	50
laut	Waschmaschine (1m)	50-60
	Telefongespräch	55
	Staubsauger (1m)	60
	normale Sprache (2m)	60
	Radio in Zimmerlautstärke	60
	laute Sprache	70
sehr laut	stärkerer Straßenverkehr (10m)	80
	lautes Radio	80-90
	lautes Schreien	90
	Kindergeschrei (1m)	95
unerträglich	Handkreissäge (1m)	100
	größte Lautstärke Radio	100
	Presslufthammer (1m)	100-115
	Düsenflugzeug	110-130
	Explosion	ab 150

Tabelle 1: Lautstärken verschiedener Geräusche

Es gibt eine Reihe von Messverfahren, die versuchen Lärm bzw. die Lästigkeit von Lärm objektiv zu messen, doch ist es aus oben beschriebenen Gründen schwierig (wenn nicht sogar unmöglich) eine objektive Messskala für Lärm einzuführen, da Schall von Mensch zu Mensch subjektiv anders empfunden wird.

Wärme-, Feuchtigkeitsdämmung und Schallschutz

Die 3 „großen“ Gebiete des Hochbaus werden vorgestellt, wobei die ersten beiden Themen nur oberflächlich behandelt werden. Das Hauptaugenmerk wird auf den Schallschutz im Hochbau bzw. dessen Charakterisierung gelegt.

2.1 Wärmedämmung

Wärme kann auf 3 verschiedene Arten transportiert werden:

- **Wärmestrahlung** (elektromagnetische Strahlung; tritt auch im luftleeren Raum auf)
- **Wärmekonvektion** (Transport von Teilchen, die thermische Energie mitführen; tritt nicht im luftleeren Raum auf; besonders stark bei Flüssigkeiten und Gasen (Fluiden) ausgeprägt)
- **Wärmeleitung** (kein Transport von Teilchen, sondern nur von thermischer Energie; es gilt, Wärme fließt vom wärmeren zum kälteren Gegenstand; insbesondere bei Feststoffen)

Abbildung 2.1 zeigt die 3 verschiedenen Möglichkeiten des Wärmetransportes schematisch aufgezeichnet. [4]

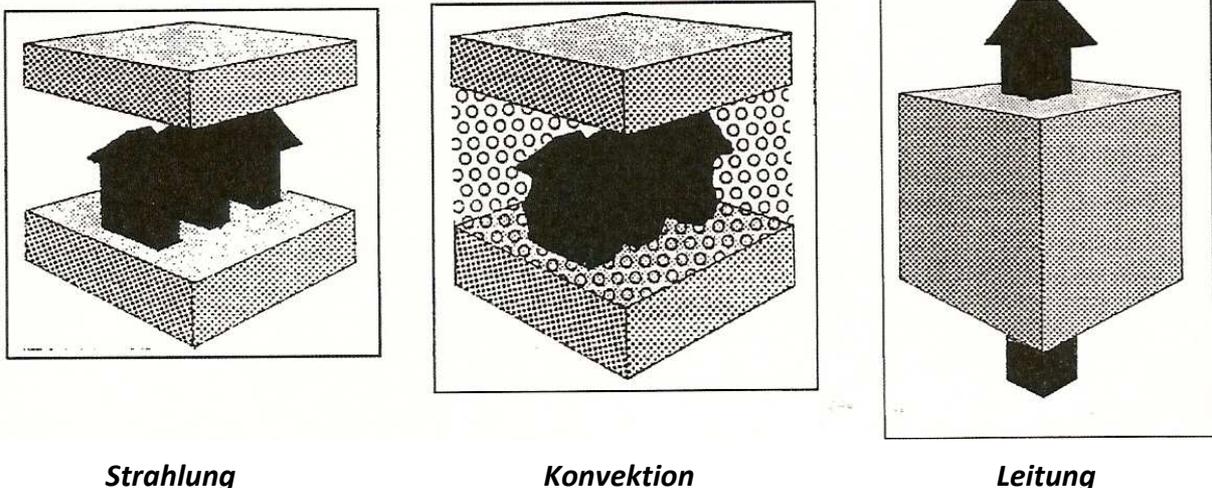


Abb. 2.1: 3 Wege des Wärmetransportes

Im Bauwesen wird hauptsächlich über die Wärmeleitung versucht ein Gebäude gegen äußere Temperaturen zu schützen (bspw. mit bestimmten Dämmstoffen).

Hier gilt:

Je kleiner die Wärmeleitfähigkeit λ eines Baustoffes, desto besser sind seine wärmedämmenden Eigenschaften. [4]

Typische Dämmstoffe sind etwa:

- Kunststoffe wie Polystyrol (Styropor, Polyurethan = „PU Schaum“, u.a.)
- anorganische Stoffe (Mineralwolle, Steinwolle, Glaswolle, Perlite, u.a.)

- Naturstoffe (Holzwohle, Schafwohle, Kork, Zellulose, u.a.)

Es gibt verschiedene Ausführungsformen von Dämmstoffen wie etwa als Platten oder als Schüttdämmstoffe (lose Dämmstoffe).

2.2 Feuchtigkeitsdämmung

Um zu verhindern, dass das Mauerwerk eines Gebäudes durch Schimmelbefall beschädigt wird, muss gegen eindringendes Wasser abgedichtet werden.

Besondere Aufmerksamkeit gebührt der Abdichtung gegen aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Erdreich, auf die aber in dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden soll.

Das **Normalklima** nach DIN 1946, in dem sich auch Menschen am behaglichsten fühlen, ist gekennzeichnet durch: [4]

- eine Lufttemperatur von **18°C bis 23°C**
- eine relative Luftfeuchtigkeit von **30% bis 70%**, das entspricht einem Wassergehalt von ca. 5 bis 11 g/m^3

In Tabelle 2.1 sind einige Werte für die Feuchteproduktion in Wohnungen angegeben. [4] Dividiert man diese Werte durch die Kubikmeter des Zimmers, erhält man den Wassergehalt, der pro Stunde erzeugt wird. Man kann erkennen, dass die obere Grenze von 11 g/m^3 schnell erreicht und ein regelmäßiges Lüften daher notwendig ist.

Mensch	leichte Aktivität	30 – 60 g/h
	mittelschwere Aktivität	120 – 200 g/h
	schwere Aktivität	200 – 300 g/h
Bad	Wannenbad	ca. 700 g/h
	Dusche	ca. 2600 g/h
Küche	Kochvorgänge	600 – 1500 g/h
	Tagesmittel	100 g/h
Wäsche (4,5 kg Trommel)	geschleudert	50 – 200 g/h
	tropfnass	100 – 500 g/h
Pflanzen		5 – 15 g/h
Katze		ca. 6 g/h
Hund (4 – 32kg)		10 – 46 g/h

Tabelle 2.1: Feuchteproduktion in Wohnungen

2.3 Schallschutz

Ein grundlegender Überblick über verschiedene Arten der Schallausbreitung in Gebäuden wird gegeben. Zur weiteren Vertiefung sei auf facheinschlägige Literatur wie etwa *Fasold/Veres; Schallschutz+Raumakustik in der Praxis; Huss Medien; 2.Auflage (2003)* verwiesen. Dieses Kapitel lehnt sich an das angeführte Werk an, daher wird auf genaue Kennzeichnung der aus diesem Werk entnommenen Zitate verzichtet. Andere Quellen werden jedoch weiterhin gekennzeichnet.

Schallschutz spielt im Vergleich zu Wärme- und Feuchtigkeitsdämmung im Bauwesen nur eine untergeordnete Rolle.

Dies ist zum einen sicherlich darauf zurückzuführen, dass die Ergebnisse von schlechter Wärme- bzw. Feuchtigkeitsdämmung viel leichter zu erkennen sind (bspw. an einem zu hohen Energiebedarf bei schlechter Wärmedämmung oder an Schimmelbefall wegen Feuchtigkeitseintritt) als jene Ergebnisse, die von schlechtem Schallschutz hervorgehen und zum anderen auch daran, dass die primären und dominierenden Faktoren für Behaglichkeit unter anderem die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit sind, während akustische Einflüsse lediglich zu den sekundären, vermuteten Faktoren zählen. [4]

Im Schallschutz unterscheidet man zwischen Luftschall- und Trittschalldämmung, nachfolgend werden beide Phänomene genauer erklärt.

2.3.1 Luftschalldämmung

Hier erfolgt die Anregung eines Bauteils durch Luftschallwellen, welche in benachbarten Räumen eine Luftschallabstrahlung bewirken. Diese soll durch geeignete Schalldämmung der Bauteile möglichst gering gehalten werden.

In Abbildung 2.2 sind die verschiedenen Übertragungswege schematisch dargestellt.

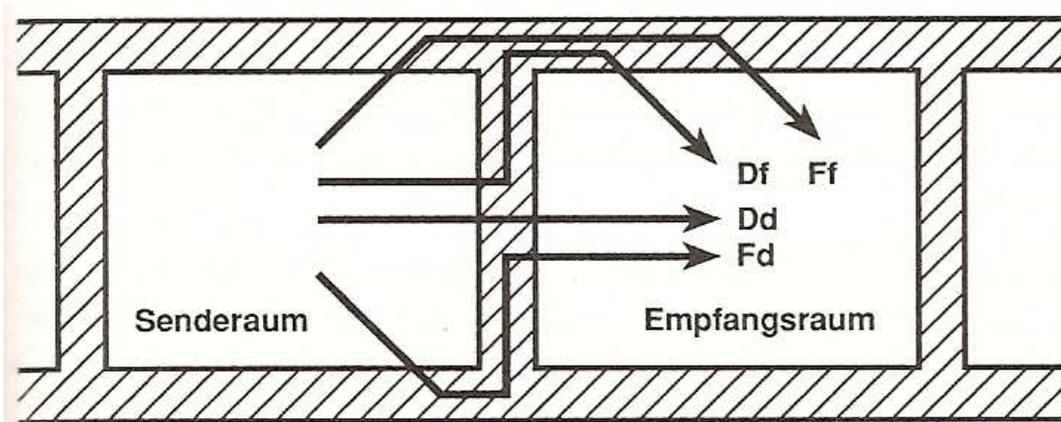


Abb. 2.2: Verschiedene Übertragungswege zwischen 2 Räumen

Man erkennt, dass die Übertragung auf 4 verschiedenen Wegen möglich ist: [4]

Dd	Leitung über trennenden Bauteil (D)	Abstrahlung über trennenden Bauteil (d)
Ff	Leitung über flankierenden Bauteil (F)	Abstrahlung über flankierenden Bauteil(f)
Fd	Leitung über flankierenden Bauteil (F)	Abstrahlung über trennenden Bauteil (d)
Df	Leitung über trennenden Bauteil (D)	Abstrahlung über flankierenden Bauteil (f)

Als Maß für die Schallübertragung dient der Schalltransmissionsgrad τ bzw. τ' , welcher folgendermaßen definiert ist:

$$\tau = \frac{W_1}{W_2} \tag{2.1}$$

bzw.

$$\tau' = \frac{W_2+W_3}{W_1} \tag{2.2}$$

wobei W_1 die einfallende Schalleistung, W_2 die direkt übertragene Schalleistung und W_3 die über angrenzende Bauteile (auf sog. Flankenwegen) übertragene Leistung darstellt.

Wesentlich gebräuchlicher ist allerdings das Schalldämm-Maß R bzw. das Bau-Schalldämm-Maß R' , welches aus dem Kehrwert des Schalltransmissionsgrades definiert ist als:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \text{ dB} \quad (2.3)$$

bzw.

$$R' = 10 \log \frac{1}{\tau'} \text{ dB} \quad (2.4)$$

Typische Werte für R liegen im Bereich von 10 bis 80 dB. Grenzwerte laut Norm werden im Kapitel 3 angeführt.

Beide Maße werden in Terz- oder Oktavschritten in einem Frequenzbereich von üblicherweise 100 bis 3150 Hz angegeben.

Neben den oben beschriebenen Schalldämm-Maßen, wird noch eine weitere Kennzahl definiert, die Aussagen über die Schallpegeldifferenz zwischen bspw. zwei benachbarten Räumen oder Wohnungen macht. Anders als das Schalldämm-Maß, welches nur die Bauteileigenschaften charakterisiert, gibt die Schalldruckpegeldifferenz D auch Auskunft über die Eigenschaften des Bauteils samt seiner spezifischen Einbausituation und seiner Wirkung in Gebäuden.

$$D = L_{p1} - L_{p2} \text{ dB} \quad (2.5)$$

Die Schalldruckpegeldifferenz wird allerdings durch die Eigenschaften des Empfangsraumes beeinflusst, weshalb eine Beschreibung der Schalldämmung durch sie nicht sinnvoll wäre. Deshalb definiert man als Beschreibungsgröße die Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,A}$ bzw. $D_{n,T}$:

$$D_{n,A} = D - 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (2.6)$$

bzw.

$$D_{n,T} = D - 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (2.7)$$

wobei

A die äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum in m^2 ,

A_0 die Bezugsoberfläche (i.a. $10 m^2$),

T die Nachhallzeit im Empfangsraum in s und

T_0 die genormte Nachhallzeit von 0,5s ist.

Der Zusammenhang zwischen Schalldruckpegeldifferenz D und Bau-Schalldämm-Maß R' wird von der Fläche S des Trennbauteils (in m^2) und von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche A des Empfangsraumes (in m^2) beeinflusst und kann folgendermaßen beschrieben werden:

$$D = R' - 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB} \quad (2.8)$$

Erfolgt die Schallübertragung ausschließlich durch das Trennbauteil, steht anstelle von R' das Schalldämm-Maß R .

Voraussetzung für die Gültigkeit obiger Gleichung ist, dass in beiden Räumen ein diffuses Schallfeld vorherrscht.

Zwischen D_{nT} und R' besteht folgende Beziehung:

$$D_{n,T} = R' + 10 \log \frac{V}{S} - 5 \text{ dB} \quad (2.9)$$

mit

S Fläche der Trennwand in m^2

V Volumen des Empfangsraumes in m^3 ist.

Um nun ein Bauteil möglichst wirklichkeitsgetreu durch eine einzelne Zahlenangabe zu charakterisieren wurde ein Bezugskurvenverfahren eingeführt. [5]

Die frequenzabhängige (gemessene) Schalldämmkurve wird mit einer Bezugskurve (sie entspricht der Schalldämm-Maß Kurve einer 25 cm dicken Vollziegelwand) verglichen und dabei so lange nach oben oder unten verschoben (gedanklich), bis die Summe der Unterschreitungen ein Maximum, höchstens jedoch 32 dB bei Werten in 16 Terzbändern oder 10 dB bei Werten in 5 Oktavbändern erreicht.

Dadurch wird eine mittlere Unterschreitung von 2 dB gewährleistet ($\frac{32}{16}$ bzw. $\frac{10}{5}$). Nun kann der Wert des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w als jener Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz ermittelt werden.

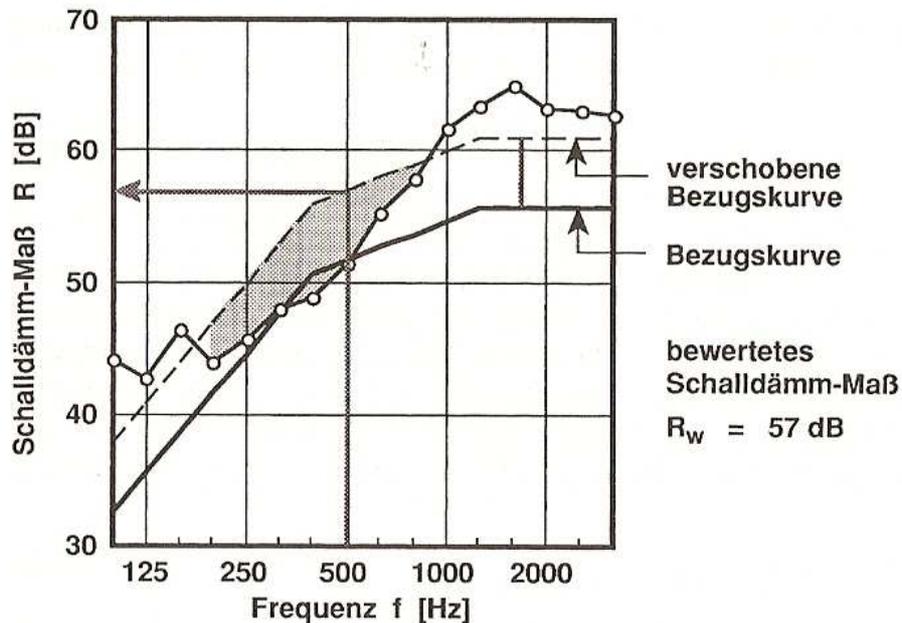


Abb. 2.3: Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w

In Bild 2.3 ist ersichtlich, dass tiefe Frequenzen durch die Bewertung weniger berücksichtigt werden als höhere. Es sind aber vor allem tiefe Frequenzen, die im Wohnbereich oder durch Verkehrslärm entstehen. Deshalb wurden die beiden Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} definiert.

Um die Anpassungswerte zu ermitteln, muss die gemessene Schalldämm-Maß Kurve R wiederum mit einem Referenzspektrum verglichen werden (Referenzspektrum siehe [5]).

Im ersten Schritt werden die Differenzen der Schalldämm-Maß Kurve R und der Referenzkurve wie folgt berechnet:

$$R_A = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_i - R_i)/10} \text{ dB(A)} \quad (2.10)$$

bzw.

$$R_{A,tr} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{i,tr} - R_i)/10} \text{ dB(A)} \quad (2.11)$$

wobei

L_i Werte des verwendeten Referenzspektrums 1 und

$L_{i,tr}$ Werte des verwendeten Referenzspektrums 2 sind.

Nun ergeben sich die Spektrum-Anpassungswerte als Differenz der Schalldruckpegeldifferenzen und der bewerteten Schalldämm-Maße:

$$C = R_A - R_W \text{ dB} \quad (2.12)$$

und

$$C_{tr} = R_{A,tr} - R_W \text{ dB} \quad (2.13)$$

In Tabelle 2.2 sind Beispiele angeführt, welcher Anpassungswert bei welcher Lärmquelle zu berechnen ist.

Lärmquelle	Spektrum-Anpassungswert
Wohnaktivitäten (Reden, Musik, TV) Kinderspielen Schienenverkehr mit mittlerer und hoher Geschwindigkeit Autobahnverkehr (>80 km/h) Düsenflugzeug in kleinem Abstand Betriebe, die überwiegen mittel- und hochfrequenten Lärm abstrahlen	C
städtischer Straßenverkehr Schienenverkehr mit geringer Geschwindigkeit Propellerflugzeug Düsenflugzeug in großem Abstand Discomusik Betriebe, die überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm abstrahlen	C_{tr}

Tabelle 2.2: Bsp. für die Bestimmung der Spektrum-Anpassungswerte

2.3.2 Trittschalldämmung

Es handelt sich hierbei um eine Form der Körperschallanregung (direkte mechanische Anregung des Bauteils).

Beispiele für Trittschall wären: Begehen eines Bauteils, Möbelrücken, Herabfallen von Gegenständen, Betrieb von Haushaltsgeräten u.a.

Um die Trittschalldämmung erfassen zu können, ist eine Anregung erforderlich. Diese geschieht mit Hilfe eines Norm-Hammerwerkes, welches 10 impulsartige Schläge pro Sekunde auf das zu prüfende Bauteil abgibt.

In Abbildung 2.4 sind die Übertragungswege bei Trittschallanregung dargestellt.

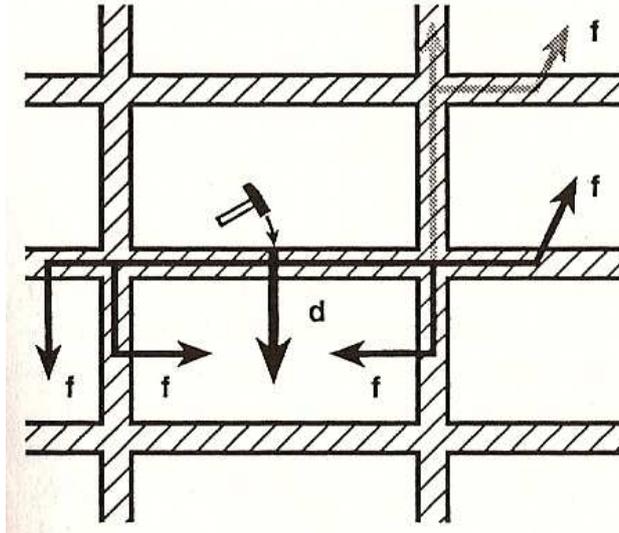


Abb. 2.4: Übertragungswege bei Trittschallanregung

Der Norm-Trittschallpegel L_n wird nun wie folgt definiert:

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (2.14)$$

mit

L_i Trittschallpegel im Empfangsraum

A äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum in m^2 , bestimmt aus einer Nachhallzeitmessung

A_0 Bezugsabsorptionsfläche, im Allgemeinen $10 m^2$.

Werden zusätzlich auch Flankenwege berücksichtigt, wird der Norm-Trittschallpegel mit L'_n bezeichnet. Weiters wird der Standard-Trittschallpegel wie folgt definiert:

$$L'_{nT} = L_i + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ dB} \quad (2.15)$$

wobei

T Nachhallzeit im Empfangsraum in s und

T_0 Bezugsnachhallzeit, für Wohnräume 0,5s

Es gilt folgender Zusammenhang:

$$L'_{nT} = L'_n - 10 \log \frac{V}{30} \text{ dB} \quad (2.16)$$

wobei V das Volumen des Empfangsraumes in m^3 ist.

Die Trittschallminderung ΔL ist nun die Differenz zwischen der Norm-Trittschalldämmung einer Decke ohne und mit Deckenauflage. Als Deckenauflage kommen bspw. schwimmende Estriche oder Bodenbeläge (Teppichböden) in Frage.

$$\Delta L = L_{n,0} - L_n \text{ dB} \tag{2.17}$$

$L_{n,0}$ Norm-Trittschallpegel ohne Deckenauflage

L_n Norm-Trittschallpegel mit Deckenauflage

Die Werte für die Trittschalldämmung werden in Terz- oder Oktavschritten zwischen üblicherweise 100 und 3150Hz angegeben.

Analog zur Luftschalldämmung wird hier zur Bewertung der Trittschalldämmung eine Bezugskurve mit der gemessenen Kurve verglichen. Die Bezugskurve stellt dabei den Mittelwert der Norm-Trittschallpegelverläufe einer Vielzahl von Holzbalkendecken dar.

Die Bezugskurve wird so lange nach oben oder unten verschoben, bis die Summe der Überschreitungen ein Maximum erreichen, jedoch höchstens um 32 dB in 16 Terzbändern bzw. 10 dB in 5 Oktavbändern abweichen.

Nun ist der Wert der Bezugskurve bei 500Hz der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$.

Abbildung 2.5 zeigt die Abminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels für beliebig benachbarte Räume. [7]

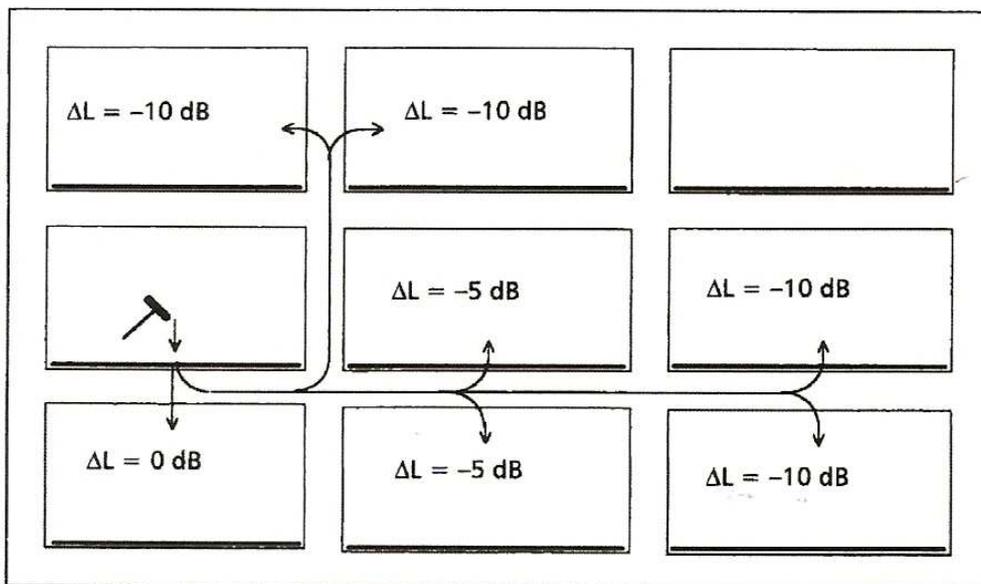


Abb. 2.5: Abminderung des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$

Zulässige Grenzwerte

Nun werden einige typische Werte sowie Grenzwerte aus Normen angegeben, mit denen die Messung aus Kapitel 5 verglichen werden soll.

Zwischen dem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß R_w' und der bewerteten (später auch gemessenen) Standard-Schallpegeldifferenz $D_{n,T,w}$ gilt die Beziehung (2.9) mit

$$V_{\text{Wohnzimmer}} = 67\text{m}^3 \quad S_{\text{Wohnzimmer}} = 27\text{m}^2$$

$$V_{\text{Schlafzimmer}} = 37\text{m}^3 \quad S_{\text{Schlafzimmer}} = 15\text{m}^2$$

In die Beziehung (2.9) eingesetzt ergibt sich für beide Räume:

$$D_{n,T,w} = R_w' - 1 \text{ dB} \tag{3.1}$$

Selbst bei Einhaltung der Mindestanforderungen kann nicht erwartet werden, dass Geräusche benachbarter Räume überhaupt nicht wahrzunehmen sind. Tabelle 3.1 zeigt Beispiele für verschiedene Schalldämmungen und das Wahrnehmen von Sprache aus dem Nachbarraum. [8]

Sprachverständlichkeit	erforderliches bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R_w' [dB]	
	Grundgeräuschpegel $L_A = 20 \text{ dB(A)}$	Grundgeräuschpegel $L_A = 30 \text{ dB(A)}$
nicht zu hören	67	57
zu hören, jedoch nicht zu verstehen	57	47
teilweise zu verstehen	52	42
gut zu verstehen	42	32

Tabelle 3.1: Zusammenhang zwischen Schalldämmung und der Wahrnehmung von Sprache

Die folgende Tabelle 3.2 gibt sowohl die Mindestanforderungen als auch die Anforderungen für erhöhten Schallschutz bezüglich Luft- und Trittschalldämmung auszugsweise wieder. [10] [11]

Bauteil	Mindestschallschutz		erhöhter Schallschutz	
	R_w' [dB]	$L_{n,w}'$ [dB]	R_w' [dB]	$L_{n,w}'$ [dB]
Geschoßhäuser mit Wohnungen und Arbeitsräumen				
Decken unter allgemein nutzbaren Dachräumen	53	53	≥55	≤46
Wohnungstrenndecken, Decken unter Bad und WC	54	53	≥55	≤46
Treppen, Treppenläufe und -podeste	-	58	-	≤46
Wohnungstrennwände und Wände zwischen fremden Arbeitsräumen	53	-	≥55	-

Einfamilien-Doppelhäuser und Einfamilien-Reihenhäuser				
Decken	-	48	-	≤38
Treppenläufe und –podeste und Decken unter Fluren	-	53	-	≤46
Haustrennwände	57	-	≥67	-

Tabelle 3.2: Anforderungen an die Luft- und Trittschalldämmung

In Wohnungen wurden speziell 3 Schallschutzstufen (SSt) zur Beschreibung der schalltechnischen Güte eingeführt. [9]

Kennwerte der SSt1 entsprechen bezüglich der Luft- bzw. Trittschalldämmung den Mindestanforderungen nach Tabelle 3.2, Kennwerte der SSt2 den Werten bei erhöhtem Schallschutz.

In der SSt3 wird für die Luftschalldämmung ein um 3dB erhöhtes bewertetes Bau-Schalldämm-Maß, für die Trittschalldämmung ein um 7dB niedriger bewerteter Norm-Trittschallpegel als in der SSt2 verlangt.

Tabelle 3.3 gibt einen Überblick über die subjektive Beurteilung üblicher Geräusche aus Nachbarwohnungen für die drei Schallschutzstufen. [9]

Geräuschemission	Beurteilung der Immission in der Nachbarwohnung		
	SSt1	SSt2	SSt3
laute Sprache	verstehbar	i. allg. verstehbar	i. allg. nicht verstehbar
Sprache mit angehobener Sprechweise	i. allg. verstehbar	i. allg. nicht verstehbar	nicht verstehbar
Sprache mit normaler Sprechweise	i. allg. nicht verstehbar	nicht verstehbar	nicht hörbar
Gehgeräusche	i. allg. störend	i. allg. nicht störend	nicht störend
Geräusche aus Wasserinstallationen	unzumutbare Belästigungen werden i. allg. vermieden	gelegentlich störend	nicht oder nur selten störend
Hausmusik, laut eingestellte Radio- und Fernsehgeräte, Parties	deutlich hörbar		i. allg. hörbar

Tabelle 3.3: Subjektive Beurteilung üblicher Geräusche für die drei Schallschutzstufen

Messverfahren

In diesem Kapitel wird das verwendete Messverfahren für die Luftschall- bzw. für die Trittschalldämmung vorgestellt, sowie die verwendeten Geräte angeführt.

3.1 Luftschalldämmung (Zweiraumverfahren)

Mittels Dodekaeder-Lautsprecher wird der Prüfschall (Maximum Length Sequence) im Senderraum erzeugt. Im Sende- und Empfangsraum werden die mittleren Schalldruckpegel mit einem Mikrofon gemessen, um daraus die Schalldruckpegeldifferenz zu bestimmen, welche in Terzen ausgewertet werden. Die Mikrofonposition im Empfangsraum wird dabei verändert und weiters sowohl eine zeitliche als auch eine räumliche Mittelung durchgeführt (bei der Messung in Kapitel 5 wurden die Mittelungen automatisch von der Software berechnet).

Um Einflüsse, die die Eigenschaften des Empfangsraumes verändern (z.B.: Anbringen von schallabsorbierenden Materialien) zu eliminieren muss zusätzlich noch die Nachhallzeit im Empfangsraum gemessen werden und in die Berechnung einfließen (2.7).

3.2 Trittschalldämmung

Die Schallerregung erfolgt an mehreren, unregelmäßig verteilten Stellen mittels Norm-Hammerwerk, welches zehn impulsartige Schläge pro Sekunde auf das zu prüfende Bauteil, in unserem Fall die Decke, abgibt (siehe Abbildung 2.4). Im darunter liegenden Empfangsraum werden die Trittschallpegel mit einem Mikrofon gemessen und ebenfalls wieder in Terzen ausgewertet. Es wird an verschiedenen Mikrofonpositionen gemessen.

Analog zur Luftschalldämmung muss auch hier die Nachhallzeit im Empfangsraum gemessen und in die Berechnung einfließen (2.16).

3.3 Verwendete Geräte

Schallpegelmesser: 01dB; Symphonie

Prüflautsprecher: 01dB-Dodekaeder

Mikrofone: Gras; 40AF

Computer: Fujitsu; Lifebook E780 YL4AO

Verstärker: TOA DA-550F 4-Kanal; digitaler Leistungsverstärker

Normhammerwerk: Norsonnic NOR 277

diverse Kabel, Mikrofonständer

Messung

Die Messung sowie die Ergebnisse und eine Interpretation derselben werden angeführt.

5.1 Luftschalldämmung

Da die beiden Wohnungen den gleichen Grundriss haben und lediglich übereinander liegen, wurden die einzelnen Mikrofonpositionen, Hammerwerkpositionen und Lautsprecherpositionen in einen Plan eingezeichnet. Zu beachten ist, dass die Empfangsmikrofone klarerweise ein Stockwerk unter dem Lautsprecher sowie dem Hammerwerk waren.

Das Wohnzimmer der Empfangswohnung ist in Abbildung 5.1 und 5.2 zu sehen, das Schlafzimmer der Empfangswohnung in Abbildung 5.3.



Abb. 5.1: Wohnzimmer Empfangswohnung



Abb. 5.2: Wohnzimmer Empfangswohnung



Abb. 5.3: Schlafzimmer Empfangswohnung

Zur Nachhallbestimmung wurde als Anregungsquelle eine Schreckschusspistole verwendet. Mit ihr wurde in beiden Räumen (Wohnzimmer, Schlafzimmer) der Empfangswohnung je viermal geschossen, um an vier verschiedenen Mikrofonpositionen den Nachhall zu bestimmen (Mikrofonpositionen Wohnzimmer siehe Abbildung 5.4, Mikrofonpositionen Schlafzimmer siehe Abbildung 5.5). Die Werte wurden gemittelt und automatisch in der weiteren Berechnung der Luftschalldämmung berücksichtigt (Software).

Auch das Hintergrundrauschen wurde in beiden Räumen der Empfangswohnung mittels der Messmikrofone bestimmt und ist in die weitere Berechnung eingeflossen.

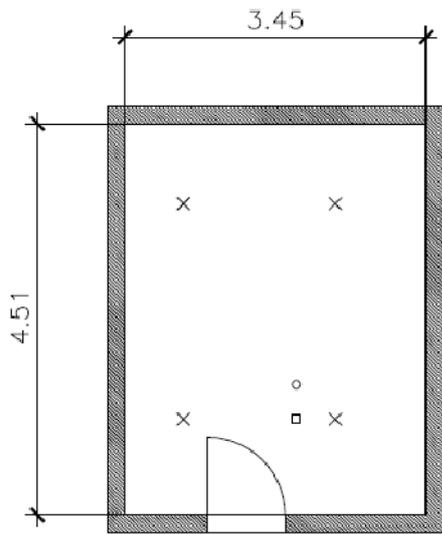


Abb. 5.4: Grundriss (Skizze) Schlafzimmer

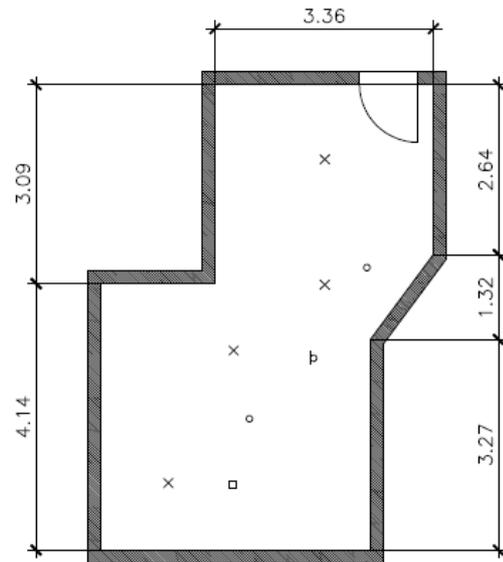


Abb. 5.5: Grundriss (Skizze) Wohnzimmer

Legende

- Dodekaeder (Senderraum)
- Norm-Hammerwerk
- × Mikrofone (Empfangsraum)
- ⊞ Mikrophon (Senderraum)

Nun wurde der Dodekaeder-Lautsprecher in beiden Senderäumen wie in Abbildung 5.4, 5.5 und 5.6 zu sehen aufgestellt (Höhe 1,2m) und eine MLS erzeugt.



Abb. 5.6: Dodekaeder-Lautsprecher im Schlafzimmer der Sendewohnung

In beiden Senderäumen wurde mittels Messmikrofon der Schallpegel L_{p1} und in den Empfangsräumen der Schallpegel L_{p2} (an den in Abbildung 5.4 und 5.5 angegebenen Mikrofonpositionen) gemessen.

Die einzelnen Messungen wurden von der Software automatisch gemittelt und daraus die Schalldruckpegeldifferenz gebildet.

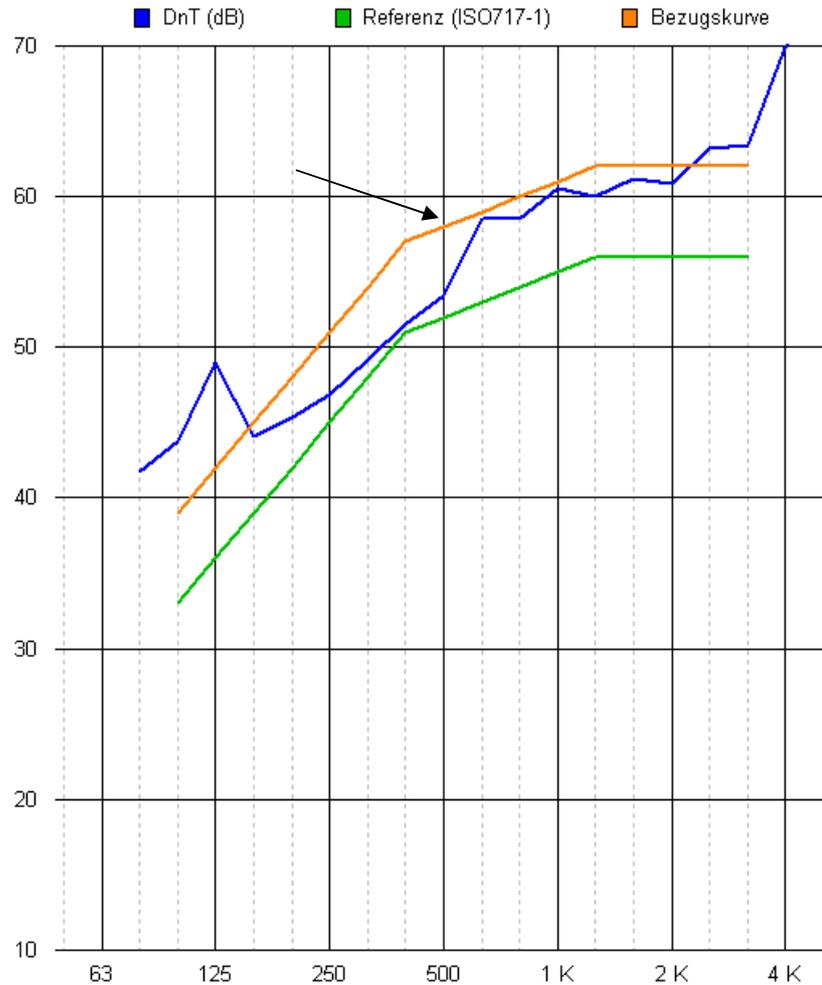
Der von der Software automatisch generierte Prüfbericht für das Wohn- bzw. Schlafzimmer ist auf den nächsten vier Seiten zu sehen.

Standard- Schallpegeldifferenz nach ISO 140-4
Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden

Prüfdatum:30.11.2010

Wohnzimmer

Frequenz f, (Hz)	Dn,T (Terz), (dB)
50	---
63	---
80	41,7
100	43,8
125	49,0
160	44,1
200	45,4
250	46,9
315	49,2
400	51,5
500	53,4
630	58,5
800	58,5
1000	60,6
1250	60,0
1600	61,2
2000	60,9
2500	63,2
3150	63,4
4000	69,9
5000	73,7



Bewertung nach ISO 717-1: **Dn,T,w (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=58 (-1 ; -4)**

Die Ermittlung basiert auf Gebäudemessungen, die in Terzen gewonnen wurden.

Standard- Schallpegeldifferenz nach ISO 140-4
Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden

Prüfdatum: 30.11.2010

Beschreibung von Aufbau und Lage des Trennbauteiles und der Prüfanordnung:

Parkettboden mit Trittschalldämmung. Lautsprecher 1,2m über Boden.

Frequenz f, (Hz)	T60 (Terz), (s)
50	1,75
63	1,94
80	2,65
100	3,26
125	2,60
160	2,99
200	2,52
250	1,91
315	1,96
400	1,84
500	1,81
630	1,75
800	1,60
1000	1,54
1250	1,43
1600	1,39
2000	1,33
2500	1,24
3150	1,14
4000	1,01
5000	0,88

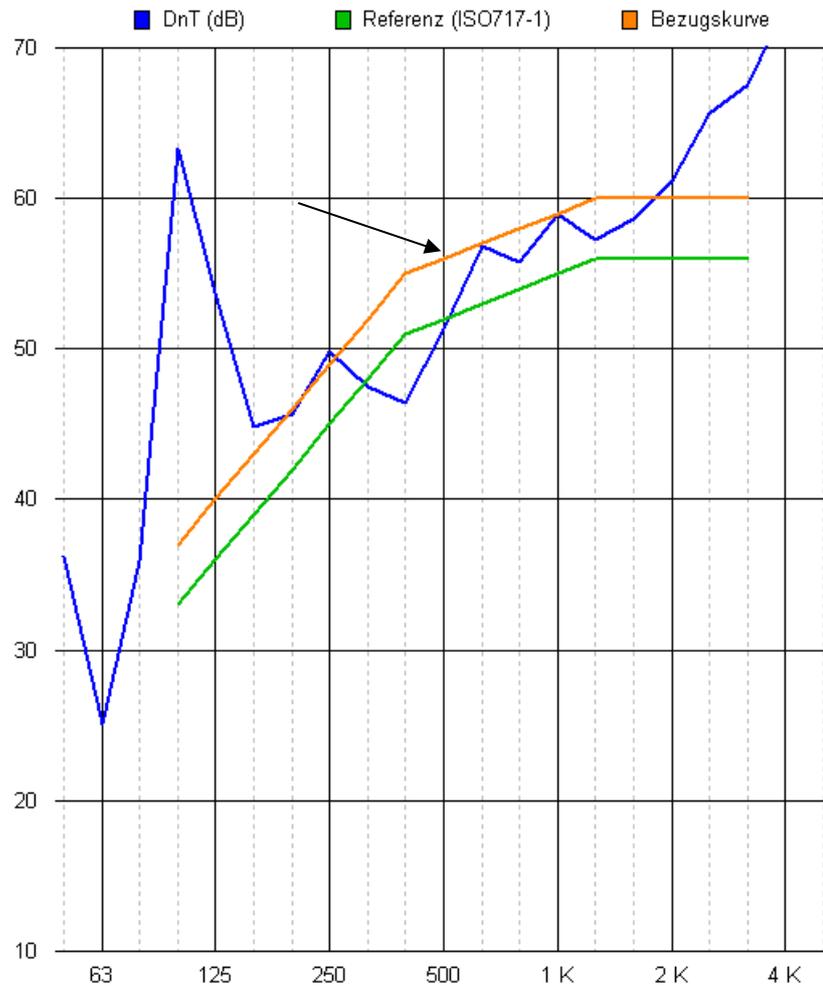


Standard- Schallpegeldifferenz nach ISO 140-4
Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden

Prüfdatum: 30.11.2010

Schlafzimmer

Frequenz f, (Hz)	Dn,T (Terz), (dB)
50	36,2
63	25,1
80	35,9
100	63,3
125	53,8
160	44,8
200	45,7
250	49,8
315	47,5
400	46,4
500	51,3
630	56,8
800	55,8
1000	59,0
1250	57,3
1600	58,6
2000	61,2
2500	65,6
3150	67,6
4000	72,8
5000	76,8



Bewertung nach ISO 717-1: **Dn,T,w (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=56 (-1 ; -3)**

Die Ermittlung basiert auf Gebäudemessungen, die in Terzen gewonnen wurden.

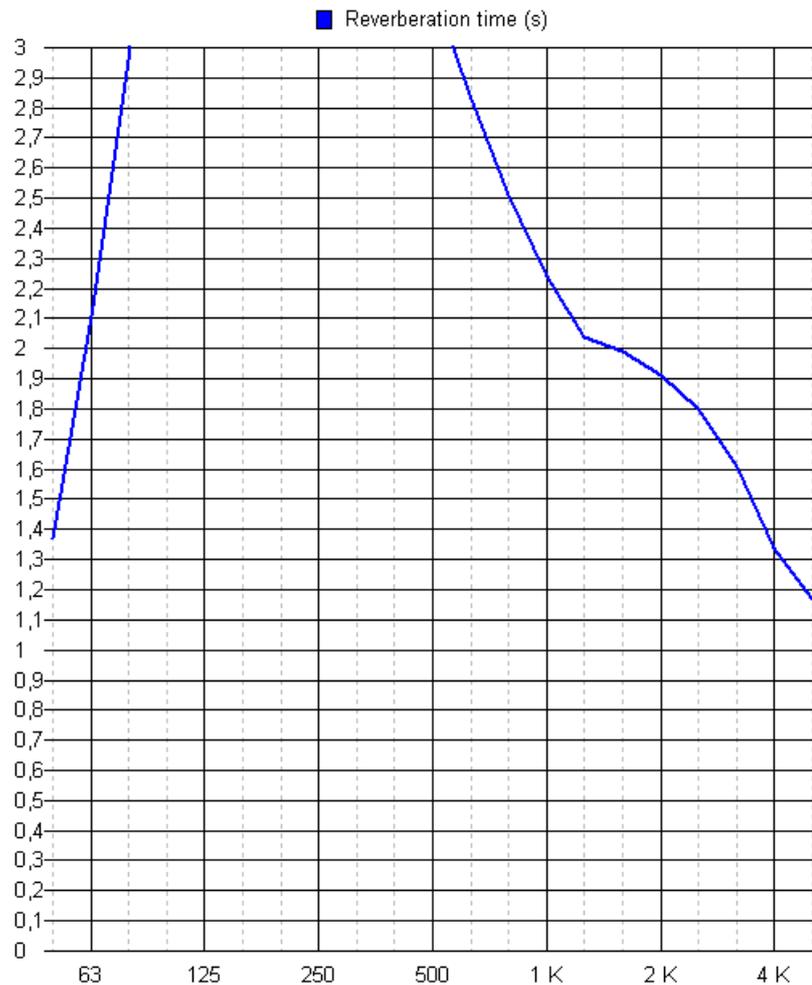
Standard- Schallpegeldifferenz nach ISO 140-4
Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden

Prüfdatum: 30.11.2010

Beschreibung von Aufbau und Lage des Trennbauteiles und der Prüfanordnung:

Parkettboden. Lautsprecher 1,2m über Boden.

Frequenz f, (Hz)	T60 (Terz), (s)
50	1,37
63	2,11
80	2,96
100	5,80
125	4,53
160	6,43
200	5,03
250	4,05
315	3,45
400	3,63
500	3,19
630	2,83
800	2,51
1000	2,24
1250	2,04
1600	1,99
2000	1,91
2500	1,80
3150	1,61
4000	1,34
5000	1,17



Die Werte der rot hervorgehobenen Frequenzen wurden für die Berechnung berücksichtigt. Es ist zu erkennen, dass als Standard-Schallpegeldifferenz $D_{n,T,w}$ jener Wert angegeben wird, welchen die verschobene Bezugskurve (orange) bei einer Frequenz von 500Hz, wie in Kapitel 2.3.1 angeführt, hat.

Da im Schlafzimmer die gemessene (blaue) Kurve doch erheblich von der verschobenen Referenzkurve (orange) bei tiefen Frequenzen abweicht, sollte hier auch noch der Spektrumanpassungswert C berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.3.1).

Somit kommt man auf die Ergebnisse, die in Tabelle 5.1 zu sehen sind. Verglichen mit den in Kapitel 3 (Tabelle 3.2) vorgestellten Grenzwerten (zu berücksichtigen ist die Beziehung (3.1), da $D_{n,T,w}$ und nicht R_w' gemessen wurde) befinden sich beide Messergebnisse im erlaubten Bereich.

	$D_{n,T,w}$ gemessen [dB]	Mindestschallschutz $D_{n,T,w}$ [dB]	erhöhter Schallschutz $D_{n,T,w}$ [dB]
Wohnzimmer	58	53	≥54
Schlafzimmer	55	53	≥54

Tabelle 5.1: Messergebnisse der Luftschalldämmung und Vergleich mit Grenzwerten

5.2 Trittschalldämmung

Die Nachhallzeit und das Hintergrundrauschen wurden aus der Messung der Luftschalldämmung übernommen und fließen durch die Software automatisch in die Berechnung mit ein.

Das Normhammerwerk wurde wie in Abbildung 5.4 und 5.5 gekennzeichnet in beiden Senderäumen aufgestellt, in den Empfangsräumen wurde mittels Messmikrofon an den gekennzeichneten Positionen der Schallpegel gemessen, gemittelt und daraus der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,T,w}$ berechnet.

Die beiden von der Software automatisch generierten Prüfberichte sind auf den nächsten zwei Seiten zu sehen. Da die Nachhallzeit von Kapitel 5.1 übernommen wurde, wird sie hier nicht angeführt.

Abbildung 5.7 zeigt ein Photo eines Normhammerwerkes.



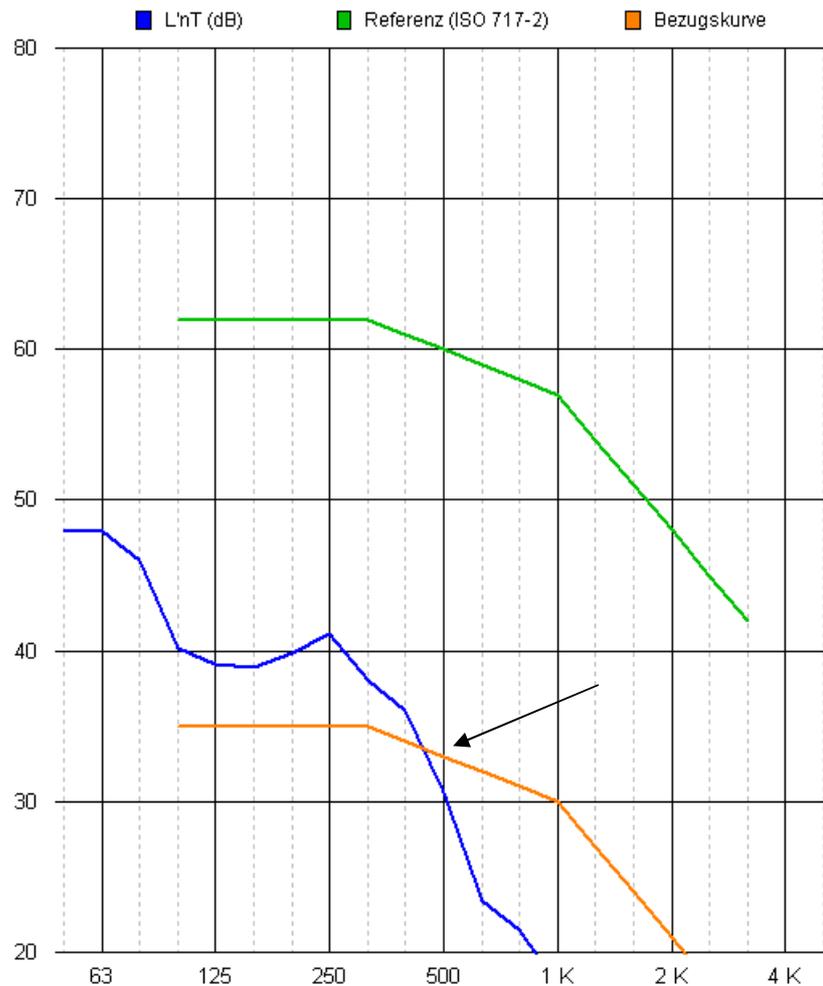
Abb. 5.7: Norm-Hammerwerk

Standard-Trittschallpegel nach ISO 140-7
Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden

Prüfdatum: 30.11.2010

Wohnzimmer

Frequenz f, (Hz)	L'nT (Terz) , dB
50	48,0
63	47,9
80	46,0
100	40,2
125	39,1
160	38,9
200	39,9
250	41,1
315	38,1
400	36,0
500	30,6
630	23,4
800	21,5
1000	17,8
1250	<= 13,6
1600	<= 9,6
2000	<= 5,4
2500	<= 3,7
3150	<= 2,9
4000	<= 2,8
5000	<= 3,2



Bewertung nach ISO 717-2: **L'nT,w (CI) (dB): 33 (0)**

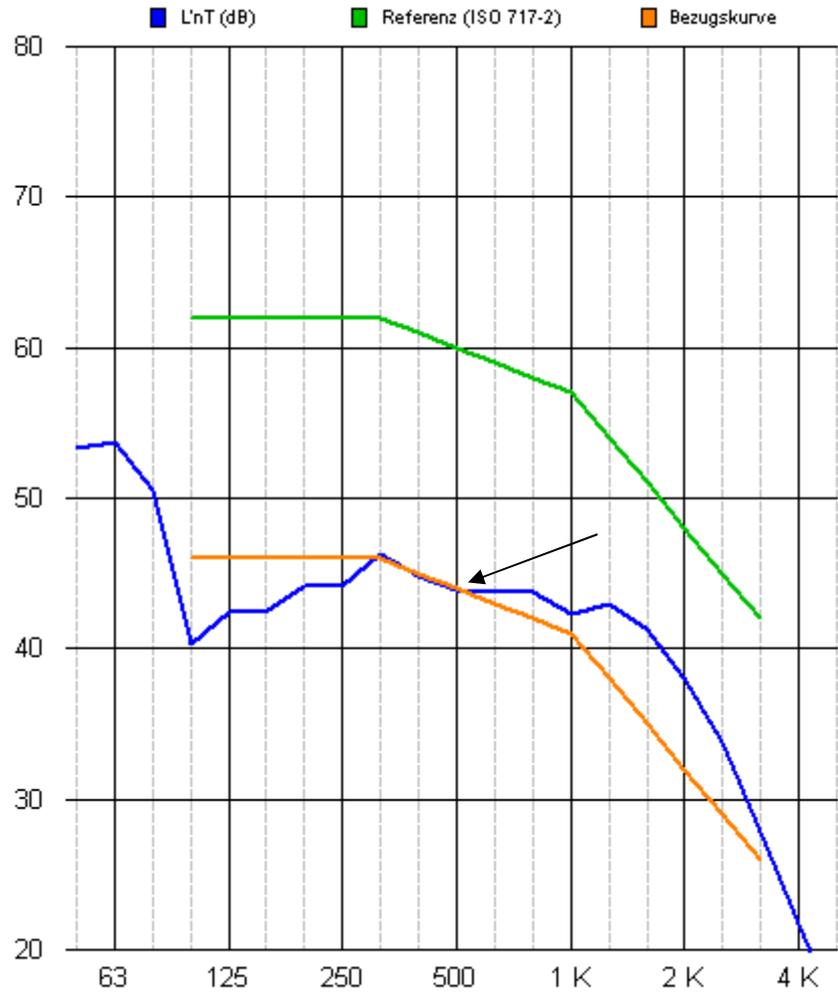
Die Ermittlung basiert auf Gebäude-Messungen, die in Terzbändern gewonnen wurden.

Standard-Trittschallpegel nach ISO 140-7
Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden

Prüfdatum: 30.11.2010

Schlafzimmer

Frequenz f, (Hz)	L'nT (Terz) , dB
50	53,3
63	53,7
80	50,5
100	40,3
125	42,4
160	42,4
200	44,2
250	44,1
315	46,3
400	44,8
500	43,9
630	43,8
800	43,8
1000	42,3
1250	43,0
1600	41,2
2000	38,0
2500	33,8
3150	27,8
4000	21,7
5000	15,8



Bewertung nach ISO 717-2: **L'nT,w (CI) (dB): 44 (-4)**

Die Ermittlung basiert auf Gebäude-Messungen, die in Terzbändern gewonnen wurden.

Auch hier wird jener Wert als bewerteter Standard-Trittschallpegel $L_{n,T,w}$ angegeben, welchen die verschobene Bezugskurve (orange) bei einer Frequenz von 500Hz einnimmt.

Der große Unterschied zwischen den beiden gemessenen Werten von mehr als 10dB ist dadurch zu erklären, dass im Wohnzimmer zusätzlich ein trittschalldämmender Boden eingebaut wurde.

Vergleicht man die gemessenen Ergebnisse wiederum mit den in Kapitel 3 (Tabelle 3.2) angeführten Grenzwerten, ist zu erkennen, dass sich beide Werte im erlaubten Bereich befinden.

	$L_{n,T,w}$ gemessen [dB]	Mindestschallschutz $L_{n,T,w}$ [dB]	erhöhter Schallschutz $L_{n,T,w}$ [dB]
Wohnzimmer	33	53	≤46
Schlafzimmer	44	53	≤46

Tabelle 5.1: Messergebnisse der Trittschalldämmung und Vergleich mit Grenzwerten

Zusammenfassend ist also zu sagen, dass die vermessene Wohnung sowohl bei der Luft- als auch bei der Trittschalldämmung den geforderten Ansprüchen genügt.

Literaturverzeichnis

- [1] Vorlesungsunterlage zur Vorlesung Psychoakustik an der TU Graz; Erstellt von Mag. Phillipp M. Krejci; Herausgegeben vom Skriptenreferat der ÖH (2000)
- [2] Dieroff, H.-G.: Die Lärmschwerhörigkeit in der Industrie; Johann Ambrosius Barth; Leipzig (1984)
- [3] Becher, S.: Lärmstörungen im Alltag. Medizinische Grundlagen zur Einschätzung der Belästigung; Deutsche Wirtschaftswoche 46 (1994), H. 5, S. 130
- [4] Vorlesungsunterlage zur Vorlesung Bauphysik und Lärm am Institut für Hochbau und Bauphysik an der TU Graz; Graz (2009)
- [5] ISO 717-1: Akustik-Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung (1996)
- [6] Mayr, W.: Lärm und Lärmbekämpfung, Band 2
- [7] DIN 4109 Beiblatt 1
- [8] Fasold W., Veres E.: Schallschutz und Raumakustik in der Praxis; HUSS Medien Verlag Bauwesen; 2. Auflage (2003)
- [9] VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen; Kriterien für Planung und Beurteilung (1994)
- [10] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise (1989) mit Berichtigung 1 (1992)
- [11] DIN 4109: Beiblatt 2; Schallschutz im Hochbau; Hinweise für Planung und Ausführung; Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz; Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich (1989)