

Anforderungen – nationale Vergleiche

Judith Lang
Konsulent
AT-Wien



Anforderungen – nationale Vergleiche

1. Wie wichtig ist Schallschutz in Wohngebäuden?

In den europäischen Ländern wird dem Schallschutz in Gebäuden, speziell in Wohnhäusern, schon seit Jahrzehnten große Bedeutung beigemessen. So wurde z.B. in Österreich schon 1936 die ÖNORM B 2115 „Hochbau – Schutz gegen Schall und Erschütterungen“ herausgegeben. In Deutschland waren 1938 in der DIN 4110 zum ersten Mal Schallschutzanforderungen. Nach dem Krieg startete dann in allen europäischen Ländern eine intensive Normungsarbeit auf dem Gebiet der Akustik, insbesondere auch der Bauakustik und schon am Beginn der 50-er Jahre arbeitete in der Internationalen Normungsorganisation ISO das Technische Komitee TC43 „Acoustics“ an der Verfassung von ISO-Normen über die Definition der Größen zur Beschreibung des Schallschutzes und Verfahren für bauakustische Messungen. Die Diskussion der bestgeeigneten Größen zur Beschreibung des Schallschutzes in Gebäuden nahm damals ihren Anfang und ist bis heute nicht abgeschlossen. Sie wird jetzt intensiv in der COST-Action „Integrating and Harmonising Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions“ betrieben. Auch die Messverfahren, sowohl in Prüfständen als auch in Gebäuden werden immer wieder bearbeitet und dem Stand der Technik angepasst.

Die Anforderungen an den Schallschutz werden jedoch nicht in internationalen Normen festgelegt, sie sind ausschließlich nationalen Gremien überlassen. In allen europäischen Ländern werden diese auf verschiedenen Ebenen (in Normen, in regionalen oder nationalen Verordnungen, von Bauforschungsinstituten und ähnl.) erarbeitet.

Im Hinblick auf die in allen Ländern erfolgte Festlegung von Anforderungen an den Schallschutz in Gebäuden, insbesondere Wohngebäuden, ist es interessant Angaben über die Störung durch den Lärm der Nachbarn in den Wohnhäusern, aus den in verschiedenen europäischen Ländern durchgeführten Befragungen zur Störung durch Lärm zu vergleichen.

So ergab z.B. in Österreich die letzte Befragung 2007, dass 39% der Bevölkerung insgesamt durch Lärm gestört sind und den größten Anteil der Straßenverkehrslärm hat (51% der Lärmgestörten nennen den Straßenverkehrslärm als Ursache der Störung). Die zweithäufigste Quelle der Lärmstörung ist der Lärm der Nachbarn (Anteil an der Lärmstörung 15 % in Österreich gesamt und deutlich höher mit 23 % in Wien, wo der Anteil der Mehrfamilienhäuser größer ist).

Auch in Deutschland ist der Straßenverkehr die am meisten störende Lärmquelle (von rd. 60 % mit unterschiedlichem Störgrad genannt), am zweithäufigsten (mit rd. 45 %) wird der Lärm der Nachbarn genannt.

Aus einer in der Schweiz im Rahmen einer Abhandlung zur Erlangung der Doktorwürde durchgeführten Repräsentativbefragung bei der Bevölkerung über Lärmempfinden und Störung durch Lärm 2000 können auch Angaben über die Störung durch Lärm im allgemeinen und die Ursachen entnommen werden. Auf die allgemeine Frage nach dem Stellenwert der Lärmproblematik in einer allgemeinen Sichtweise für die Schweiz und einer persönlichen Sichtweise wurde auf einer Skala von 1 bis 6 (1 = betrifft überhaupt nicht, 6 = betrifft sehr stark) Straßenverkehrslärm am höchsten mit 4,2 aus allgemeiner Sichtweise und 3 aus persönlicher Sicht der einzelnen Befragten eingestuft, der Nachbarschaftslärm mit 2,5 und 2 deutlich geringer. Gut 83 % der (auch nicht lärmgeplagten) Bevölkerung sind der Ansicht Häuser und Wohnungen sollten besser gegen Schall isoliert werden.

2. Grundlagen für den Vergleich der Anforderungen an den Schallschutz

Im Hinblick auf die nicht unbedeutende Zahl der durch den Lärm der Nachbarn (zum Teil stark und sehr stark) gestörten Bewohner von Mehrfamilienhäusern ist es wichtig festzustellen, welche Anforderungen an den Schallschutz in den europäischen Ländern bestehen

und welchen Schutz diese erwarten lassen. Als Grundlage für den Vergleich sind die für die Beschreibung des Schallschutzes einzusetzenden Größen zu betrachten.

2.1. Größen zur Beschreibung des Schallschutzes

Dazu ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen den Größen zur Beschreibung des Schallschutzes eines Bauteils und den Größen zur Beschreibung des Schallschutzes zwischen Räumen im Gebäude (der durch mehrere Bauteile und ihr Zusammenwirken bestimmt wird).

Im Gebäude ist sowohl die Übertragung von Luftschall (Schall, der durch Anregung von Luftschwingungen, wie z. B. durch Unterhaltung mit Reden und Lachen, Musik von Musikinstrumenten oder aus Lautsprechern entsteht) als auch die Übertragung von Trittschall (Schall, der durch Gehen auf Decken, Sesselrücken und Fallenlassen von Gegenständen entsteht) als auch der Schall, der durch den Betrieb haustechnischer Einrichtungen entsteht und sich als Luftschall und Körperschall (Ausbreitung in den Bauteilen) fortpflanzt. Im folgenden sollen nur Luftschall und Trittschall behandelt werden.

Alle Größen werden in Dezibel (ein logarithmisches Maß)¹ angegeben; alle sind frequenzabhängig; üblich wird seit Jahrzehnten der Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz betrachtet; in den letzten Jahren wurde für Messungen der Frequenzbereich bis 50 Hz zu tieferen Frequenzen und bis 5000 Hz zu höheren Frequenzen erweitert. Zur einfacheren Beschreibung des Schallschutzes wird für die verschiedenen Größen auch eine Einzahlangabe (ein Wert über den gesamten Frequenzbereich) berechnet und angegeben. Alle Größen zur Beschreibung des Schallschutzes sind in den einzelnen Teilen der ISO-Normen-Reihe 140 (zum Teil neu in ISO 10140) angeführt und die Verfahren zur Bestimmung der Einzahlangaben sind in den Normen ISO 717-1 und 717-2 festgelegt.

2.1.1. Luftschallschutz von Bauteilen

Die Beschreibung des Luftschallschutzes von Bauteilen erfolgt durch Angabe des Schalldämm-Maßes R (10-facher Logarithmus des Verhältnisses der auf den Bauteil auffallenden Schallleistung zu der von dem Bauteil abgestrahlten Schallleistung) in Abhängigkeit von der Frequenz und einer daraus durch Vergleich mit einer Bezugskurve nach ISO 717-1 abgeleiteten Einzahlangabe, des bewerteten Schalldämm-Maßes R_w .

In einer Neuauflage 1996 der ISO 717-1 wurden ergänzend dazu zwei Spektrumanpassungswerte festgelegt, C für rosa Rauschen (gleiche Pegelanteile über den ganzen Frequenzbereich, etwa entsprechend Musik, Gespräch, Schall von schnell fahrenden Eisenbahnzügen) und C_{tr} für ein tieffrequentes Geräusch (etwa Straßenverkehrslärm, viele Betriebsgeräusche, Discomusik). Mit der Summe aus R_w und dem jeweils dem Spektrum entsprechenden Anpassungswert C oder C_{tr} kann unmittelbar die Differenz der A-bewerteten Schallpegel ermittelt werden². Diese Spektrum-Anpassungswerte können sowohl für den seit Jahrzehnten für die Beschreibung des Schallschutzes festgelegten Frequenzbereich 100-3150 Hz angegeben werden als auch für den erweiterten Frequenzbereich 50-3150 Hz oder 50-5000 Hz oder 100-5000 Hz; der Frequenzbereich ist dann jeweils als Index anzugeben, z.B. $C_{50-5000}$ oder $C_{tr,50-5000}$.

Zur Ermittlung der Einzahlangabe durch Vergleich mit der Bezugskurve und die Bedeutung der Wahl des Frequenzbereichs siehe Abbildung 1 und Abbildung 2. Die Einzahlangabe ergibt sich aus dem Wert der gegen die Messkurve verschobenen Bezugskurve (bis zu einer erlaubten Unterschreitung durch die Messkurve um im Mittel 2 dB) bei 500 Hz. Die Festlegung der Bezugskurve (ursprünglich „Sollkurve“) erfolgte in den 50er-Jahren und entsprach den damals vorherrschenden massiven Bauteilen mit dem beispielsweise eingezeichneten Verlauf der Schalldämmung über der Frequenz, wie Abbildung 1 zeigt. Abbildung 2 zeigt zum Vergleich den Frequenzverlauf für die erst in den letzten Jahrzehnten

¹) Ein Schallpegelunterschied von 1 dB entspricht einem kaum wahrnehmbaren Lautheitsunterschied, 3 dB einem deutlich wahrnehmbaren Lautheitsunterschied, 10 dB Unterschied bedeutet etwa doppelte bzw. halbierte Lautheit.

²) Der A-bewertete Schallpegel beschreibt (zum Unterschied vom physikalischen Schallpegel) ein Schallereignis etwa dem menschlichen Höreindruck entsprechend.

vermehrt eingesetzten leichten mehrschaligen Wände. Es ist deutlich ersichtlich, dass diese im untersten Frequenzbereich einen geringeren Schallschutz, im oberen Frequenzbereich einen höheren Schallschutz aufweisen. Es kann für diese Bauteile der Frequenzbereich 100-3150 Hz den Schallschutz nicht angemessen beschreiben. Es wurden daher die Spektrumanpassungswerte ab 50 Hz als erforderlich eingeführt.

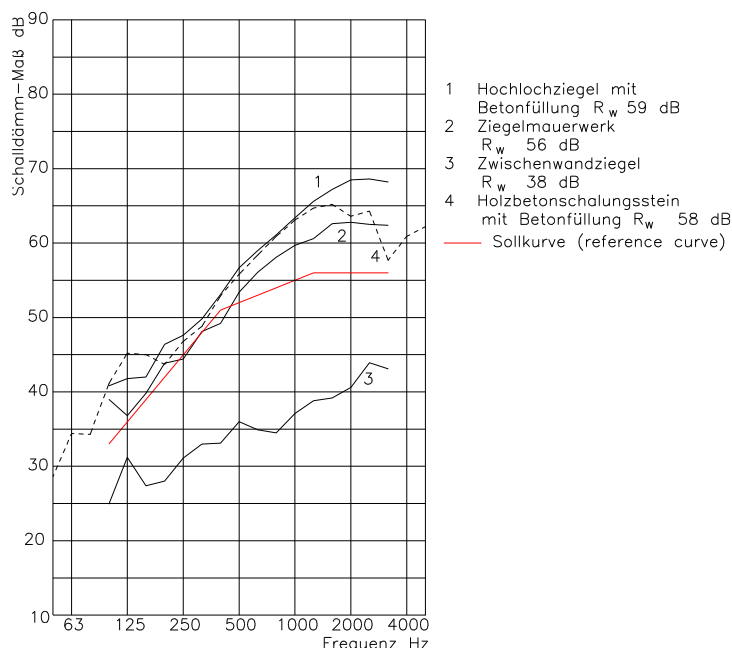


Abbildung 1: Zur Bestimmung des bewerteten Schalldämm-Maßes mit der Bezugskurve (früher „Sollkurve“) und Frequenzverlauf des Schalldämm-Maßes für massive Wände.

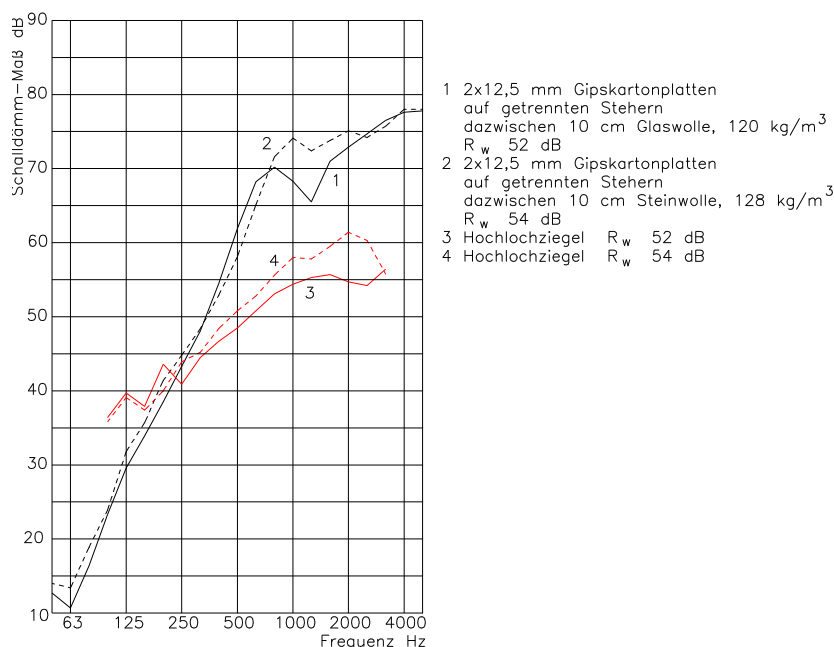


Abbildung 2: Vergleich des Frequenzverlaufs des Schalldämm-Maßes von massiven und leichten mehrschaligen Wänden. Bei etwa gleichem bewerteten Schalldämm-Maß ist das Schalldämm-Maß der leichten mehrschaligen Wände bei den tiefen Frequenzen wesentlich geringer, bei den hohen Frequenzen deutlich höher als für die massiven Wände.

Die Messung und Beschreibung des Luftschallschutzes von Bauteilen mit dem bewerteten Schalldämm-Maß und den Spektrumanpassungswerten erfolgt einheitlich in allen Ländern Europas, sodass der Vergleich und die Übertragung von schalltechnischen Kennwerten für Bauteile aus verschiedenen Prüfstellen und Ländern ohne Schwierigkeiten möglich ist.

2.1.2. Luftschallschutz zwischen 2 Räumen

Zur Beschreibung des Luftschallschutzes zwischen zwei Räumen werden in verschiedenen Ländern (bedingt durch die historische Entwicklung) verschiedene Größen verwendet, die auch den nationalen Festlegungen in den verschiedenen Ländern folgend alle in die ISO-Normen übernommen wurden. Aus der Tradition der ursprünglichen Annahme, dass die Schallübertragung im Gebäude nur durch den Trennbauteil erfolgt, wird das Schalldämm-Maß auch für die Schalldämmung zwischen Räumen im Gebäude eingesetzt; um aber der inzwischen gewonnenen Erkenntnis Rechnung zu tragen, dass im Gebäude die Schallübertragung in der Regel über den Trennbauteil und die Flankenbauteile erfolgt wird zur Unterscheidung das im Bauwerk gemessene Schalldämm-Maß als Bau-Schalldämm-Maß R' bezeichnet³. Die Einzahlangaben bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w und C und C_{tr} werden in gleicher Weise wie vor beschrieben ermittelt und angegeben.

Zur klaren Unterscheidung zwischen der Schalldämmung eines Bauteils und der Schalldämmung zwischen zwei Räumen im Gebäude wird die Schallpegeldifferenz D zwischen den beiden Räumen angegeben. Da der Schallpegel im Empfangsraum auch durch die Schallabsorption im Raum bestimmt wird (je höher die Schallabsorption, desto geringer der Schallpegel und damit desto höher die Schallpegeldifferenz), ist diese Schallpegeldifferenz auf eine genormte Absorption zu beziehen; zwei Größen sind dazu genormt: die Norm-Schallpegeldifferenz D_n , bezogen auf 10 m^2 Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum und die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} bezogen auf 0,5 Sekunden Nachhallzeit im Empfangsraum⁴. Zahlreiche Messungen haben gezeigt, dass die Nachhallzeit in den Räumen in Wohnungen, unabhängig vom Volumen, etwa 0,5 Sekunden beträgt und daher die Standard-Schallpegeldifferenz besser den praktisch gegebenen akustischen Verhältnissen entspricht [1].

Der Schallschutz, der von den Bewohnern wahrgenommen wird, wird am besten durch die Standard-Schallpegeldifferenz⁵ D_{nT} beschrieben. Eine Umfrage im Rahmen der COST-action ergab auch, dass der größte Teil der Experten $D_{nT,w}$ (ohne oder mit Spektrumanpassungswerten) für bestgeeignet hält.

Alle die vorgenannten Größen werden in Abhängigkeit von der Frequenz bestimmt, zumindest für den Frequenzbereich 100-3150 Hz, bzw. für den erweiterten Frequenzbereich und die Einzahlangaben bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w , bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,w}$ und bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ nach den in ISO 717-1 beschriebenen Verfahren ermittelt und angegeben. Ergänzend zu bewertetem Bau-Schalldämm-Maß, bewerteter Norm-Schallpegeldifferenz und bewerteter Standard-Schallpegeldifferenz werden die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} für den jeweils betrachteten Frequenzbereich angegeben.

Alle die vorbeschriebenen Größen werden in europäischen Ländern zur Beschreibung der Anforderungen an den Luftschallschutz in Wohngebäuden eingesetzt, wie in der nachfolgenden Tabelle 1 für die Mindestanforderungen dargestellt; für die höheren Anforderungen werden zum Teil davon abweichende Größen eingesetzt.

³) ausgesprochen R-Strich, der Strich soll angeben, dass es sich um ein im Gebäude ermitteltes Schalldämm-Maß handelt

⁴) Die Schallabsorptionsfläche A ergibt sich aus dem Volumen V und der Nachhallzeit T aus $A = 0,16 \cdot V/T$; ersichtlich wächst die Schallabsorptionsfläche mit wachsendem Volumen bei unabhängig vom Volumen gleich bleibender Nachhallzeit.

⁵) In Deutschland wird die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} auch als nachhallzeitbezogene Schallpegeldifferenz bezeichnet.

Tabelle 1: Größen, die zur Beschreibung der Mindestanforderungen an den Luftschallschutz in Wohngebäuden in den europäischen Ländern verwendet werden [2]

Größe	Land
R'_w	Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Norwegen, Slowakei, Slowenien, Tschechische Republik, Ungarn ^{*)}
$R'_w + C$	
$R'_w + C_{50-3150}$	Polen
$D_{nT,w}$	Schweden
$D_{nT,w} + C$	Belgien, Österreich, ^{**) (***)}
$D_{nT,w} + C_{100-5000}$	Frankreich, Niederlande, Schweiz
$D_{nT,w} + C_{tr}$	Spanien
$D_{n,w}$	UK
	Portugal

^{*)} neu $R'_w + C$

^{**) nach neuem Vorschlag auch Litauen (vgl. [3])}

^{***)} nach dem Entwurf zu DIN 4109-1 auch in Deutschland

Die häufigste Anwendung von R'_w ist aus der historischen Entwicklung entstanden, aus der Zeit als die Meinung bestand, dass der Schallschutz zwischen 2 Räumen nur durch das Schalldämm-Maß des Trennbauteils bestimmt ist und man daher die Anforderung mit dem Schalldämm-Maß des Trennbauteils festlegte⁶⁾. Als der Einfluss der Schallübertragung in den Flankenbauteilen bekannt wurde, wurde dann einfach das Schalldämm-Maß durch das Bau-Schalldämm-Maß ersetzt. Mit der Einhaltung des Bau-Schalldämm-Maßes ist aber der tatsächlich in einem Gebäude zwischen 2 Räumen gegebene Schallschutz je nach Raumkonfiguration unterschiedlich. Der Nachbar hört nämlich die Schallpegeldifferenz, die auch durch die Fläche des Trennbauteils und das Raumvolumen bestimmt wird; je größer die Fläche, desto mehr hört der Nachbar bei gleichem Bau-Schalldämm-Maß. Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass in der DIN für die Decken ein um 1 dB höheres Bau-Schalldämm-Maß vorgeschrieben ist als für Trennwände. Eine Vorschrift eines einheitlichen bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes bedeutet damit eine Vorschrift unterschiedlichen Schallschutzes gegen den Nachbarn je nach Größe des Trennbauteils. Zwischen den Größen R' und D_{nT} besteht der Zusammenhang:

$$D_{nT} = R' - 10 \cdot \lg(S \cdot 0,5 / 0,16 \cdot V) = R' - 10 \cdot \lg(3,125 \cdot S / V),$$

wenn S die Fläche des Trennbauteils und V das Volumen des Empfangsraumes ist.

In Tabelle 2 ist der Vergleich von R'_w und $D_{nT,w}$ für $R'_w = 53$ dB für verschiedene Beispiele von Volumen des Empfangsraumes und Fläche des Trennbauteils gezeigt.

Tabelle 2: Standard-Schallpegeldifferenz zwischen Räumen bei unterschiedlicher Fläche des Trennbauteils und unterschiedlichem Volumen des Empfangsraumes bei einem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß $R'_w = 53$ dB

Volumen (m ³)	$D_{nT,w}$ (dB) bei Fläche des Trennbauteils (m ²)							
	7,5	10	12,5	15	20	25	30	50
30	54,1	52,8	51,9					
40	55,3	54,1	53,1	52,3				
50	56,3	55,0	54,1	53,3	52,0			
75	58,1	56,8	55,8	55,0	53,8	52,8	52,0	
100	59,3	58,1	57,1	56,3	55,0	54,1	53,3	
125	60,3	59,0	58,1	57,3	56,0	55,0	54,2	52,0

Man sieht, dass eine Vorschrift von R' den Bewohnern ganz unterschiedlichen Schallschutz in ihren Räumen sichert, je nach Größe des Raumes und der Trennwandfläche.

Z.B. ist die Schallpegeldifferenz für einen 30 m³ großen Empfangsraum bei einer Deckenfläche von 12,5 m² 51,9 dB, bei der Trennwandfläche von 7,5 m² aber 54,1 dB, d.h. der Bewohner hört von dem nebenliegenden Nachbarn um 2 dB weniger als vom darüber

⁶⁾ Z.B. war in manchen österreichischen Bauordnungen noch bis vor wenigen Jahren ein mindesterforderliches bewertetes Schalldämm-Maß des Trennbauteils vorgeschrieben (unabhängig davon, dass in der ÖNORM schon seit Jahrzehnten die Schallpegeldifferenz zur Beschreibung des Schallschutzes eingesetzt wurde).

liegenden Nachbarn. Für den Bewohner eines großen Wohnzimmers mit einer Deckenfläche von 50 m^2 und einem Volumen von 125 m^3 ist die Schallpegeldifferenz gegen oben oder unten $52,0 \text{ dB}$, gegen den Nachbarn aber mit einer Trennwandfläche von 15 m^2 $57,3 \text{ dB}$; d.h. der Bewohner hört vom Nachbarn daneben um 5 dB weniger als vom Nachbarn darüber oder darunter, wenn die Nachbarn alle ihr TV-Gerät gleich laut eingestellt haben.

Es ist daher auch ein exakter Vergleich von Schallschutzanforderungen in verschiedenen Ländern, die in unterschiedlichen Größen festgelegt sind, nicht möglich.

2.1.3. Der Einfluss des zugrunde gelegten Frequenzbereichs

Wesentliche Unterschiede in den Anforderungen ergeben sich mit Einbeziehung der Spektrumanpassungswerte in die verwendeten Größen, wie z.B. in der Schweiz mit $D_{nT,w}+C$ oder in Schweden mit $R'_w+C_{50-3150}$. Da sich die Werte für C und insbesondere die Werte für $C_{50-3150}$ für die verschiedenen Bauarten wegen des unterschiedlichen Frequenzgangs unterscheiden, bedeutet dies sehr große Unterschiede in den Anforderungen. Abbildung 3 zeigt Beispiele für die Spektrumanpassungswerte für massive Wände und für leichte mehrschalige Wände aus Gipskartonplatten. Abbildung 4 zeigt die Spektrumanpassungswerte für massive Decken ohne und mit schwimmendem Estrich und für Holzbalkendecken.

Aus den Diagrammen sind die wesentlichen Unterschiede für die verschiedenen Bauarten deutlich erkennbar. So sind für massive Wände die Werte für C im Bereich von 0 bis -3 dB (ein einzelner Wert -7 dB), für leichte mehrschalige Wände im Bereich von 0 bis -5 dB . Für massive Decken ohne und mit Fußboden liegen die Werte für C im Bereich von 0 bis -6 dB , für Holzbalkendecken -1 bis -8 dB . D.h. bei gleichem R'_w oder gleichem $D_{nT,w}$ kann der tatsächlich gehörte Schallschutz je nach dem Frequenzgang der Schalldämmung (und damit unterschiedlichem Wert für C) noch größere Unterschiede aufweisen.

Wesentlich deutlicher werden die Unterschiede mit Einbeziehung der tiefen Frequenzen ab 50 Hz . Für massive Wände liegt $C_{50-3150}$ im Bereich von 0 bis -1 dB (nur 3 Werte verfügbar), für leichte mehrschalige Wände ist $C_{50-3150}$ im Bereich von -1 bis -13 dB ⁷⁾, für massive Decken ohne und mit Fußboden (mehrschalig durch schwimmenden Estrich) bei 0 bis -10 dB (in einem Einzelfall bis -22 dB), für Holzbalkendecken bei 0 bis -25 dB .

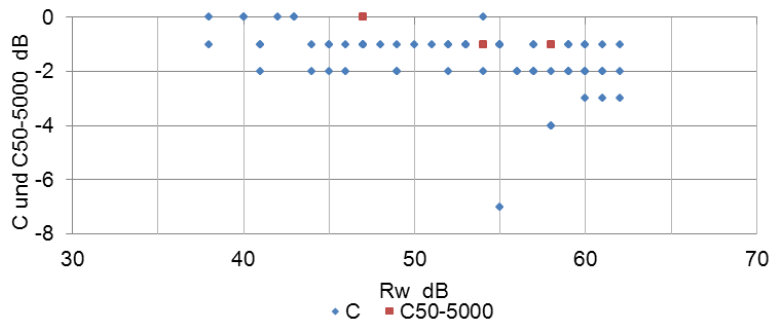


Abbildung 3a: Spektrumanpassungswerte für massive Wände.

⁷⁾ Eine große Zahl von Daten von Spektrumanpassungswerten für die verschiedenen Bauarten von Wänden und Decken wurden zusammengestellt in [4]

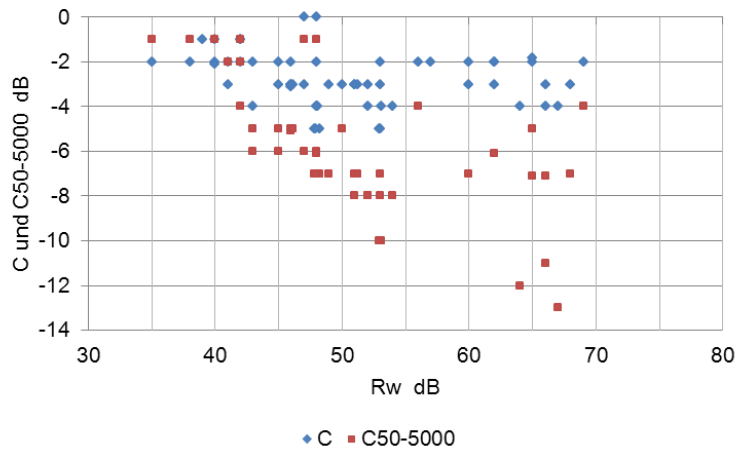


Abbildung 3b: Spektrumanpassungswerte für leichte mehrschalige Wände aus Gipskartonplatten.

Man kann erkennen, dass mit steigenden Werten von R_w die Spektrumanpassungswerte, insbesondere die ab 50 Hz immer kleiner werden, sodass $R_w + C_{50-5000}$ mit steigendem R_w nur wenig wächst, und für massive Decken (derzeitiger Bauart), ebenso wie für Holzbalkendecken (derzeitiger Bauart) $R_w + C > 65$ dB und $R_w + C_{50-5000} > 52$ dB nicht erreicht wird⁸⁾.

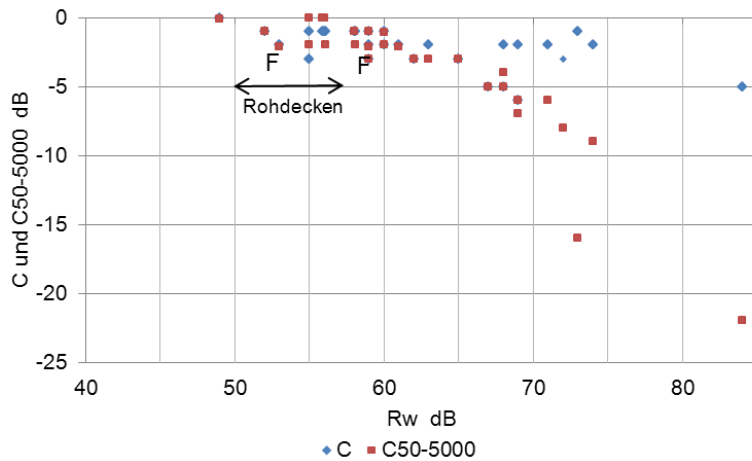


Abbildung 4a: Spektrumanpassungswerte für massive Decken, Rohdecken (Bereich gekennzeichnet, darin 2 Decken mit Fußboden F) und Decken mit Fußboden.

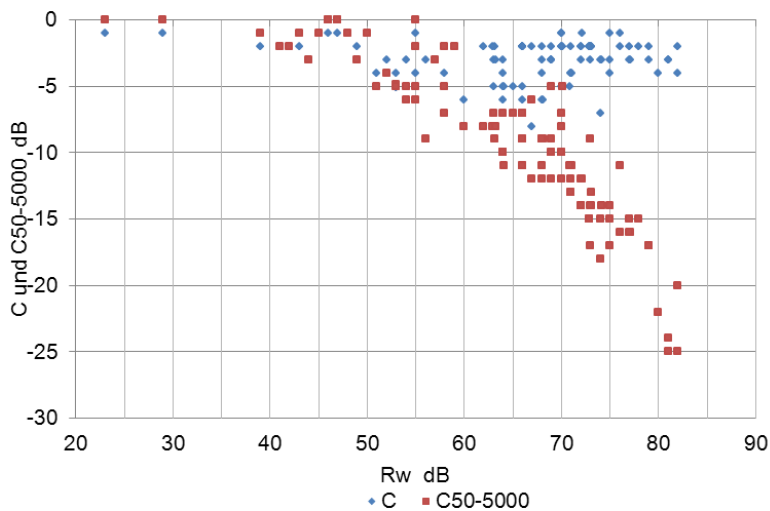


Abbildung 4b: Spektrumanpassungswerte für Holzbalkendecken.

⁸⁾ Die Werte für $C_{50-5000}$ und $C_{50-3150}$ unterscheiden sich um 0 bis 1 dB.

Die großen Unterschiede der Werte für $C_{50-5000}$ für die einzelnen Bauarten zeigen, wie wichtig die Einbeziehung in Anforderungen ist; die Beachtung des tieffrequenten Bereichs dient ganz wesentlich zur Sicherung des erforderlichen Schallschutzes.

Die negativen Werte von $C_{50-3150}$ sind insbesondere dadurch bedingt, dass entsprechend dem seit Jahrzehnten beachteten Frequenzbereich 100 bis 3150 Hz mehrschalige Konstruktionen so ausgelegt wurden, dass die Resonanzfrequenz (mit geringer Schalldämmung) unter 100 Hz liegt und damit in dem mit dem Spektrumanpassungswert $C_{50-5000}$ erfassten Bereich. Im Hinblick auf den vermehrten Einsatz von leichten mehrschaligen Wänden und Decken wird es zur Sicherung des erforderlichen Schallschutzes erforderlich werden die Anforderungen für den Frequenzbereich 50-3150 Hz festzulegen⁹, d.h. es werden dann entsprechende Bauarten insbesondere für leichte mehrschalige Wände und Holzbalkendecken mit günstigen Werten für $C_{50-3150}$ zu entwickeln sein, im wesentlichen zu erreichen durch Bemessung der Resonanzfrequenz unter 50 Hz.

2.1.4. Trittschallschutz von Decken

Die Beschreibung des Trittschallschutzes von Decken erfolgt durch Angabe des Norm-Trittschallpegels, d. i. des Schallpegels, der bei Beaufschlagung der Decke mit einem Norm-Hammerwerk in einem Prüfstand im Raum unter der Decke entsteht und auf 10 m² Schallabsorptionsfläche im Raum bezogen wird. Aus dem in Abhängigkeit von der Frequenz ermittelten Norm-Trittschallpegel wird durch Vergleich mit einer in ISO 717-2 genormten Bezugskurve eine Einzahlangabe berechnet, der bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$.

In einer Neuauflage der ISO 717-2 wurde ergänzend dazu ein Anpassungswert C_I festgelegt. Dieser Spektrum-Anpassungswert kann sowohl für den seit Jahrzehnten festgelegten Frequenzbereich 100-3150 Hz angegeben werden als auch für den erweiterten Frequenzbereich 50-2500 Hz; der Frequenzbereich ist dann als Index anzugeben, z. B. $C_{I,50-2500}$. Die Summe aus $L_{n,w}$ und C_I kennzeichnet den linearen Trittschallpegel und entspricht besser dem A- bewerteten Trittschallpegel, wie er beim Gehen auf Decken entsteht.

Decken in Wohngebäuden bestehen meist aus einer Rohdecke und einem Fußboden. Rohdecken allein haben keinen für Wohngebäude ausreichenden Trittschallschutz. Nur mit der zusätzlichen Trittschalldämmung durch einen Fußboden kann der erforderliche Trittschallschutz erreicht werden. Für die Planung ist es daher erforderlich, den Trittschallschutz der Rohdecke und die Trittschallverbesserung durch den Fußboden zu kennen und damit den Trittschallschutz der gesamten Decke zu ermitteln. Dazu wurden für beide Eigenschaften Einzahlangaben festgelegt, der äquivalente bewertete Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$ der (massiven) Rohdecke und die bewertete Trittschallminderung ΔL_w . Aus dem äquivalenten Norm-Trittschallpegel $L_{n,eq,0,w}$ der Rohdecke abzüglich der bewerteten Trittschallminderung ΔL_w ergibt sich der Norm-Trittschallpegel der gesamten Decke.

Für Holzdecken kann nicht die bewertete Trittschallminderung für einen Fußboden ΔL_w eingesetzt werden, sondern es wurden in einer neuen Ausgabe der ISO 717-2 eigene Größen für die Trittschallminderung durch Fußböden auf Holzdecken festgelegt, die getrennt zu bestimmen sind (durch Messung auf einer in ISO 10140 genormten Holzdecke) und mit den Einzahlangaben $\Delta L_{t,w}$ für den Trittschallschutz auf Holzbalkendecken und $\Delta L_{tv,w}$ für den Trittschallschutz auf Brettstapeldecken¹⁰. In einer Forschungsarbeit wurden die Grundlagen zur Festlegung dieser Größen und die Größen $\Delta L_{t,w}$ und $\Delta L_{tv,w}$ für eine große Zahl von gebräuchlichen Fußbodenbauarten auf Holzdecken bestimmt [5]. In dieser Arbeit wurde auch für eine Reihe von Holzdecken mit verschiedenen Fußbodenbauarten der Luft- und Trittschallschutz gemessen und weiters auch durch Vergleich mit dem Geräusch von Gehen von Versuchspersonen auf den Decken ein Zusammenhang des mit dem Hammerwerk gemessenen Trittschallschutzes mit dem bei Gehen gegebenen ermittelt.

⁹) Die Neufassung der ISO-Norm 717 mit Festlegung von neuen Einzahl-Angaben mit Einschluss des Frequenzbereichs ab 50 Hz wurde bereits vorgeschlagen.

¹⁰) Der Index t wurde gewählt für das englische Wort timber, der zusätzliche Index v wurde gewählt für das englische Wort vertically laminated für Brettstapeldecken.

Die Messung und Beschreibung des Trittschallschutzes von Decken und der Verbesserung des Trittschallschutzes von Fußböden erfolgt einheitlich in allen Ländern Europas, sodass der Vergleich der schalltechnischen Kennwerte aus verschiedenen Prüfstellen und Ländern ohne Schwierigkeiten möglich ist.

2.1.5. Trittschallschutz im Gebäude

Der Trittschallschutz im Gebäude wird durch Beaufschlagung mit dem genormten Hammerwerk in gleicher Weise wie im Prüfstand gemessen. Es wird jedoch (in verschiedenen Ländern unterschiedlich) der Trittschallpegel auf die Schallabsorptionsfläche 10 m^2 bezogen (Normtrittschallpegel $L'_{n,w}$ und Einzulangabe $L'_{n,w}$) oder auf die in der Praxis in Wohnräumen unabhängig von der Größe gegebene Nachhallzeit von 0,5 Sekunden (Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ und Einzulangabe $L'_{nT,w}$).

In den Normen der verschiedenen Länder werden beide Größen zur Festlegung von Anforderungen an den Trittschallschutz im Gebäude, der bewertete Norm-Trittschallpegel¹¹ $L'_{n,w}$ oder der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ eingesetzt, in einigen Ländern auch unter Berücksichtigung des Anpassungswertes C_I , auch für unterschiedliche Frequenzbereiche. Eine genaue Umrechnung zwischen den verschiedenen Werten ist nicht möglich, da der Zusammenhang über das Volumen V des Empfangsraumes besteht mit $L'_{nT,w} = L'_{n,w} - 10 \cdot \lg 0,032 \cdot V$; d.h. für Räume mit einem Volumen über 31 m^3 ist $L'_{nT,w}$ kleiner als $L'_{n,w}$.

Auch für die Anforderungen an den Trittschallschutz in Wohngebäuden werden in den nationalen Normen und Gesetzen unterschiedliche Größen eingesetzt, wie in Tabelle 3 für die Mindestanforderungen dargestellt (für die höheren Anforderungen werden zum Teil davon abweichende Größen eingesetzt).

Tabelle 3: Größen, die zur Beschreibung der Mindestanforderungen an den Trittschallschutz in Wohngebäuden in den europäischen Ländern verwendet werden [2]

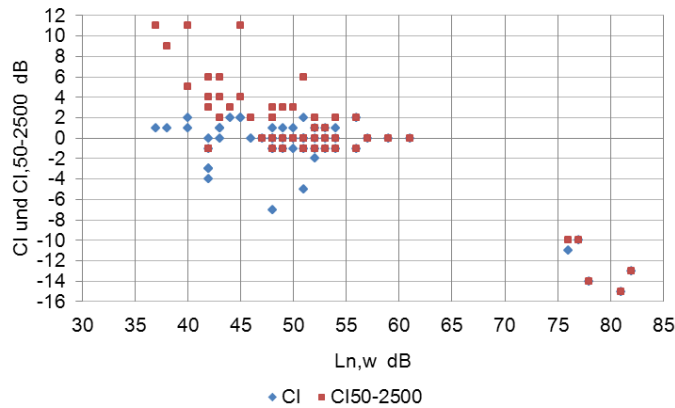
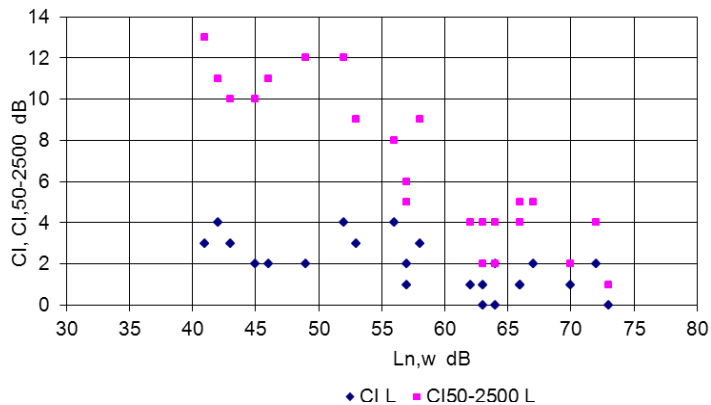
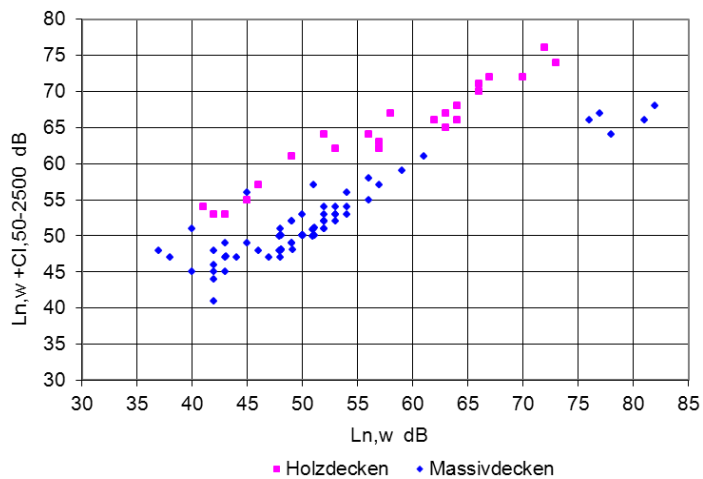
Größe	Land
$L'_{n,w}$	Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Norwegen, Polen, Portugal, Slowakei, Slowenien, Tschechische Republik, Ungarn
$L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$	Schweden
$L'_{nT,w}$	Belgien, Frankreich, Österreich, Spanien, Vereinigtes Königreich
$L'_{nT,w} + C_I$	Niederlande, Schweiz

Mit der zusätzlichen Größe C_I wird der Frequenzgang des Trittschallpegels besser berücksichtigt. Zum besseren Schutz vor dem tieffrequenten Trittschallgeräusch, wie es vor allem bei Holzdecken auftreten kann, wurde der Spektrumanpassungswert für die tiefen Frequenzen $C_{I,50-2500}$ vor allem in den Ländern mit vielen Holzdecken, wie in Schweden und den anderen skandinavischen Ländern (für höhere Anforderungsklassen) eingeführt.

2.1.6. Der Einfluss des zugrunde gelegten Frequenzbereichs

Die Spektrumanpassungswerte zeigen sehr große Unterschiede je nach Bauart der Decke und der dadurch event. bedingten Resonanz, z.B. durch den schwimmenden Estrich oder eine abgehängte Untersichte. In Abbildung 5 sind einige Werte für massive Decken und Holzbalkendecken dargestellt; sie zeigen, dass für günstig kleine Werte des bewerteten Norm-Trittschallpegels $L_{n,w}$ die Spektrumanpassungswerte, insbesondere die für den tiefen Frequenzbereich, ansteigen, sodass die Werte $L_{n,w} + C_{50-2500}$ ungünstiger werden. Abbildung 6 zeigt für massive Decken und Holzbalkendecken die Werte für $L_{n,w} + C_{50-2500}$. Ersichtlich sind die Werte für $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ bei den tiefen Werten von $L_{n,w}$ deutlich höher als die für $L_{n,w}$ und für die Holzdecken etwas deutlicher als für die massiven Decken, dies dadurch bedingt, dass im Trittschallpegel von Holzdecken die tiefen Frequenzen in der Regel höher sind als für massive Decken. Auch im Trittschallschutz ist der tieffrequente Bereich wichtig, wie zahlreiche Klagen von Bewohnern immer wieder zeigen. Die hohen Trittschallpegel bei den tiefen Frequenzen sind insbesondere durch die in diesem Bereich liegende Resonanzfrequenz von schwimmenden Estrichen und Untersichten bedingt. Es ist daher darauf zu achten, dass beim Aufbau von Decken die Resonanzfrequenz der verschiedenen Baustoffschichten unter 50 Hz liegen muss.

¹¹⁾ Zur Kennzeichnung, dass es sich um den Trittschallschutz im Gebäude handelt, ist der Strich hinzugefügt zu $L'_{n,w}$.

Abbildung 5a: Spektrumanpassungswerte C_I und $C_{I,50-2500}$ für massive Decken.Abbildung 5b: Spektrumanpassungswerte C_I und $C_{I,50-2500}$ für Holzbalkendecken.Abbildung 6: $L_{n,w} + C_{I,50-2500}$ für Holzdecken und Massivdecken.

Die Darstellungen zeigen, dass auch die Anforderungen für den Trittschallschutz aus verschiedenen Ländern kaum zu vergleichen sind, wenn die zugrunde liegenden Größen unterschiedlich sind.

2.2. Vergleich der Mindestanforderungen

Ein umfassender Vergleich der Anforderungen in allen europäischen Ländern wurde von B.Rasmussen veröffentlicht [6]. Nachstehend sind in Tabelle 4 die Anforderungen an den Schallschutz zwischen Wohnungen in Mehrfamilienhäusern und in Reihenhäusern in Deutschland, Schweiz und Österreich verglichen; dazu sind auch die Werte für Schweden angeführt, in dem vergleichsweise strenge Anforderungen für die tiefen Frequenzen bestehen (insbesondere im Hinblick auf die vielfach eingesetzten Wohngebäude in Holzkonstruktionen). Ersichtlich sind in diesen vier Ländern vier verschiedene Größen für die Anforderungen eingesetzt, sodass nur ein ungefährender Vergleich möglich ist.

Tabelle 4: Mindestanforderungen an den Luft- und Trittschallschutz

Land	Luftschallschutz (dB)		Trittschallschutz (dB)	
	Mehrfamilienh.	Reihenhäuser	Mehrfamilienh.	Reihenhäuser
Deutschland DIN 4109 – 1989 Entwurf - 2006	$R'_w \geq 53$ (54) ¹⁾ $D_{nT,w} \geq 53$	$R'_w \geq 57$ $D_{nT,w} \geq 57$	$L'_{n,w} \leq 53$ $L'_{nT,w} \leq 55$	$L'_{n,w} \leq 48$ $L'_{nT,w} \leq 48$
Österreich	$D_{nT,w} \geq 55$	$D_{nT,w} \geq 60$	$L'_{nT,w} \leq 48$	$L'_{nT,w} \leq 43$
Schweiz	$D_{nT,w} + C \geq 52$	$D_{nT,w} + C \geq 55$	$L'_{nT,w} + C_I \leq 53$	$L'_{nT,w} + C_I \leq 50$
Schweden	$R'_w + C_{50-3150} \geq 53$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 53$	$L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 56$ ²⁾	$L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 56$ ²⁾

¹⁾ Der Klammerwert gilt vertikal

²⁾ Dieser Wert ist auch für $L'_{n,w}$ zu erfüllen

Für den Luftschallschutz kann unter Zugrundelegung des Zusammenhangs von R'_w und $D_{nT,w}$ nach Tabelle 2 und des Bereichs für die Spektrumanpassungswerte C nach Abbildung 3 und 4 ausgesagt werden, dass die Anforderungen in den Ländern Deutschland (derzeit), Österreich und Schweiz etwa den gleichen Schallschutz bedeuten, in der Schweiz aber dem tieffrequenten Bereich etwas mehr Bedeutung gegeben ist; die Anforderung in Schweden wird je nach Bauart ein höheres R'_w bedeuten, wesentlich abhängig von der Bauart. Nimmt man aus Abbildung 3 und 4 bei $R_w \approx 55$ dB etwa $C_{50-5000}$ (gleich mit $C_{50-3150}$) = -5 dB, bedeutet die Anforderung $R'_w + C_{50-3150} \geq 53$ etwa $R'_w \geq 58$ dB (damit etwa entsprechend den Anforderungen für Reihenhäuser in Deutschland und Österreich). Dabei ist gesichert, dass der Schallschutz im Bereich der tiefen Frequenzen ausreichend ist, was bei den Anforderungen ohne Spektrumanpassungswerte nicht der Fall ist. Nach dem neuen Entwurf der DIN 4109 ist die Anforderung deutlich geringer als die in Österreich und in der Schweiz.

Für den Trittschallschutz ist die Anforderung in Österreich deutlich die günstigste. Die Anforderung in der Schweiz entspricht etwa der in Deutschland (unter Zugrundelegung des Bereichs für C von ± 2 dB). Die Anforderung in Schweden mit $L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 56$ dB entspricht unter Zugrundelegung der Daten in Abbildung 6 für Holzdecken etwa (unter Außerachtlassen des Unterschiedes von $L'_{n,w}$ und $L'_{nT,w}$) der österreichischen Anforderung für $L'_{nT,w}$; für massive Decken ist sie ungünstiger; allerdings ist im Hinblick auf die Sicherung des Trittschallschutzes im Bereich der tiefen Frequenzen mit der schwedischen Anforderung eine Aussage kaum möglich. Die Anforderung an den Trittschallschutz zwischen Reihenhäusern ist für Deutschland und Schweiz etwa gleich, für Österreich deutlich günstiger.

Zu der Feststellung, dass die Mindestanforderungen in den vier betrachteten Ländern etwa (soweit ein Vergleich möglich ist) ähnlich sind, kann man nun fragen, wie viel Schutz bedeutet diese Mindestanforderung. Dazu kann aus der österreichischen Norm ÖNORM B 8115-2 zitiert werden: „In dieser ÖNORM werden....Anforderungen an den Mindestschallschutz mit dem Ziel festgelegt, normal empfindende Menschen vor störender Luft- und Trittschallübertragung bei üblichem Verhalten zu schützen.“ Es wird also nur der *normal empfindende* Bewohner vor *störendem* Schall (nicht vor hörbarem Schall) und nur bei *üblichem* Verhalten der anderen Bewohner geschützt. Ganz ähnliche Erklärungen sind auch in der Schweizer Norm SIA 181 und in der DIN 4109 enthalten.

Es ist daher verständlich, dass mit steigendem Ruhebedürfnis und Wohlstand und Qualität der Wohnhäuser einerseits und den zur Verfügung stehenden Musikwiedergabegeräten andererseits auch in vielen Ländern Klassen für erhöhten Schallschutz festgelegt wurden oder zurzeit ausgearbeitet werden.

2.3. Klassifizierung für erhöhten Schallschutz

In Österreich ist in der ÖNORM angeführt, dass erhöhter Schallschutz (gesondert zu vereinbaren) gegeben ist, wenn $D_{nT,w}$ um mindestens 3 dB höher und $L'_{nT,w}$ um mindestens 5 dB geringer ist als die Mindestanforderung. Ein Entwurf zu ÖNORM B 8115-5 Klassifizierung wird zurzeit ausgearbeitet; darin sind für die höheren Klassen die Spektrumanpassungswerte für den Frequenzbereich ab 50 Hz vorgesehen.

In der Schweizer Norm gelten für die erhöhten Anforderungen (die grundsätzlich bei Doppel- und Reihen-Einfamilienhäusern sowie bei neu gebautem Stockwerkeigentum gelten) um 3 dB erhöhte Werte für $D_{nT,w} + C$ und um 3 dB verringerte Werte für $L'_{nT,w} + C_I$.

In Deutschland wurde 2009 die DEGA-Empfehlung 103 „Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis“ veröffentlicht, in der 7 Schallschutzklassen (A*, A bis F) beschrieben sind. Mit Hilfe dieser sieben Klassen kann der gewünschte Schallschutz in der Planungsphase festgelegt oder können bestehende Gebäude aufgrund des tatsächlich erzielten Schallschutzes eingeordnet und mit anderen Gebäuden verglichen werden. Klasse D entspricht den derzeitigen Anforderungen der DIN 4109:1989-11. Es werden (in Anlehnung an die bestehende DIN) die Größen R'_w und $L'_{n,w}$ zur Beschreibung der Anforderungen an Luft- und Trittschallschutz verwendet; eine Umstellung auf die nachhallzeitreduzierten Größen $D_{nT,w}$ und $L_{nT,w}$ ist nach der Umstellung der DIN 4109 beabsichtigt.

Für die Klassen C, B, A und A* ist für den Luftschallschutz $R'_w \geq 57$ dB, ≥ 62 dB, ≥ 67 dB und ≥ 72 dB angegeben, für den Trittschallschutz $L'_{n,w} \leq 46$ dB, ≤ 40 dB, ≤ 34 dB und ≤ 28 dB.

Die bis zu der Klasse A* sehr hohen Anforderungen gewähren einen sehr guten Schutz, der wie folgt beschrieben ist:

Klasse A*: Wohneinheit mit sehr gutem Schallschutz, die ein ungestörtes Wohnen nahezu ohne Rücksichtnahme gegenüber den Nachbarn ermöglicht.

Klasse A: Wohneinheit mit sehr gutem Schallschutz, die ein ungestörtes Wohnen ohne große Rücksichtnahme gegenüber den Nachbarn ermöglicht.

Klasse B: Wohneinheit mit gutem Schallschutz, die bei gegenseitiger Rücksichtnahme zwischen den Nachbarn ein ruhiges Wohnen bei weitgehendem Schutz der Privatsphäre ermöglicht.

Klasse C: Wohneinheit mit gegenüber der Klasse D wahrnehmbar besserem Schallschutz, in der die Bewohner bei üblichem rücksichtsvollem Wohnverhalten im allgemeinen Ruhe finden und die Vertraulichkeit gewahrt bleibt.

Es sind auch grundsätzliche Angaben über die erforderlichen baulichen Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderungen gemacht.

Nach in Österreich vorliegenden Erfahrungen werden in Holzbauweise die Klassen C und B erfüllt werden können, für die höheren Klassen werden spezielle Untersuchungen erforderlich sein.

Die Empfehlung enthält detaillierte Angaben und Tabellen für die Erstellung des Schallschutzausweises. Dabei sind auch Mindestkriterien für den Standort und die Außenlärmbelastung der jeweiligen Klasse zu erfüllen. Beim baulichen Schallschutz darf die Gesamtbewertung maximal eine Klasse besser sein als die geringste Bewertung in einem Einzelkriterium.

Die Bewertung erfolgt für jedes einzelne Kriterium nach einem Punktesystem. Dabei wird auch der Schallschutz im tieffrequenten Bereich berücksichtigt mit zusätzlichen 4 Punkten, wenn die Anforderung bei $R'_w + C_{50-2500}$ erfüllt ist und bei $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ erfüllt ist. Im Hinblick auf die sehr hohen Anforderungen in den obersten Klassen erscheint die Berücksichtigung des tieffrequenten Bereichs zu gering; wie die Abbildungen 3 bis 6 zeigen, sind die Beträge der Spektrumanpassungswerte gerade bei den günstigeren Werten von R_w bzw. $L_{n,w}$ so groß, dass dieser Ansatz in der Praxis kaum eingesetzt werden kann und damit eben der tieffrequente Bereich unberücksichtigt bleibt. Gerade für die höheren Schallschutzgruppen wäre aber die Berücksichtigung der tiefen Frequenzen besonders wichtig; vgl. z.B. in Abbildung 4, dass $C_{50-5000}$ bei $R_w = 75$ dB für massive Decken (derzeit übliche Bauart) etwa -10 dB und für Holzbalkendecken (derzeit übliche Bauart) etwa -15 dB beträgt, d.h. $R_w + C_{50-5000}$ 65 und 60 dB beträgt. In Abbildung 6 ist ersichtlich, dass mit derzeit üblichen Bauarten $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 45$ dB für massive Decken und $L_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 50$ dB für Holzdecken kaum erreicht werden kann. Vielleicht ist aber gerade diese Art der Anforderung (die eigentlich keine Anforderung im strengen Sinn sondern ein Bonussystem für tieffrequenten Schallschutz ist) zweckmäßig, mit der die Industrie zur Entwicklung

von Bauarten, die den tieffrequenten Bereich entsprechend dämmen, angeregt wird und genügend Zeit für diese Entwicklung hat.

In Deutschland wurde auch in der VDI-Richtlinie 4100 ein Konzept mit 3 Schallschutzstufen mit erhöhtem Schallschutz vorgeschlagen, wobei die SSt I den DIN-Werten entspricht. Die Ausgabe aus 2007 verwendet die Größen R'_w und $L'_{n,w}$ gemäß der derzeit geltenden DIN, ein neuer Entwurf E VDI 4100 vom Mai 2010 verwendet die im neuen DIN-Entwurf eingesetzten Größen.

Keine der bestehenden oder in Ausarbeitung befindlichen Anforderungen in Deutschland berücksichtigt den für die Schallschutzqualität entscheidenden Bereich der tiefen Frequenzen <100 Hz oder auch nur die Spektrumanpassungswerte für den Bereich >100 Hz.

In der in Ausarbeitung befindlichen ÖNORM „Klassifizierung“ sind in den höheren Schallschutzklassen auch Anforderungen für den Schallschutz zwischen Räumen innerhalb einer Nutzungseinheit, auch Einfamilienhaus, angegeben. Empfehlungen für den Schallschutz zwischen Räumen innerhalb einer Nutzungseinheit enthalten auch die DEGA-Empfehlung 103 und die VDI 4100 und die Schweizer Norm.

Schallschutz-Klassifikationen bestehen auch in Dänemark, Finnland, Frankreich, Island, Italien, Litauen, Niederlande, Norwegen, Schweden; dabei sind in den einzelnen Ländern die Anzahl der Klassen und die Stufen zwischen den Klassen unterschiedlich; eine Darstellung der Anforderungen in verschiedenen Ländern ist in [7]. Es werden für die höheren Schallschutzklassen die Größen mit Spektrumanpassungswerten ab 100 Hz z.B. in den Niederlanden und in Frankreich, die Spektrumanpassungswerte ab 50 Hz z.B. in Dänemark, Finnland, Schweden eingesetzt.

In der Cost-Action ist geplant einen Vorschlag für ein einheitliches Klassifikations-System für Europa auszuarbeiten.

3. Planung und Nachweis des Schallschutzes im Gebäude

Für die Planung des Schallschutzes zwischen den Nutzungseinheiten wird einheitlich in Europa das Verfahren nach der europäischen Norm EN 12354 mit in nationalen Katalogen zur Verfügung gestellten Bauteil-Daten (z.B. Teil 3 im neuen Entwurf der DIN 4109) eingesetzt.

Der Nachweis des Schallschutzes kann rechnerisch nach EN 12354 oder vorzugsweise messtechnisch nach einheitlich festgelegten europäischen Messnormen der Serie EN ISO 140 durchgeführt werden.

4. Literatur

- [1] Lang, J.: Normanforderungen – Schallschutz von Bauteilen oder Schallschutz zwischen Räumen. Proceedings DAGA 1985, Stuttgart.
- [2] Nurzynski, J.: Evaluation of acoustic performance of multifamily buildings, open building manufacturing approach. Proceedings inter-noise 2007, Istanbul.
- [3] Jagniatinskis, A., Fiks, B.: Application of different descriptors for in situ sound insulation. Proceedings inter-noise, 2004, Prag.
- [4] Lang, J.: Zur Erweiterung des bauakustischen Frequenzbereichs bis 50 Hz. wksb Heft 62 (2009).
- [5] Lang, J.: Luft- und Trittschallschutz von Holzdecken und die Verbesserung des Trittschallschutzes durch Fußböden auf Holzdecken. wksb Heft 52 (2004).
- [6] Rasmussen, B.: Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. Applied Acoustics, 2010, 71(4), 373-385.
- [7] Lang, J.: Schallschutz in Europa. Bauphysik-Kalender 2009. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin