

Holzbau und Geräusche-Immissionen – Schallschutz ist ein bedeutendes Thema bei der Mehrgeschossigkeit von Gebäuden. Das in der Deutschschweiz führende Institut für Lärmschutz Kühn und Blickle hat einen Forschungsbericht mit dem Titel «Berechnung der Gehgeräusche-Immissionen und Trittschalldämmung von Geschossdecken aus Holz im Frequenzbereich von 16 bis 200 Hz» verfasst. Der «Schweizer Holzbau» bringt Auszüge aus der wegweisenden Forschungsarbeit.

Hauptkomponenten des Gehgeräuschs bei 16 bis 200 Hz

In den letzten Jahren konnte eine starke Zunahme von Geschossdecken aus Holz festgestellt werden, sei es bei der Renovation bzw. beim Umbau von alten Wohnhäusern oder bei der Erstellung von Ein-

Von Beat Kühn und Rudolf Blickle*

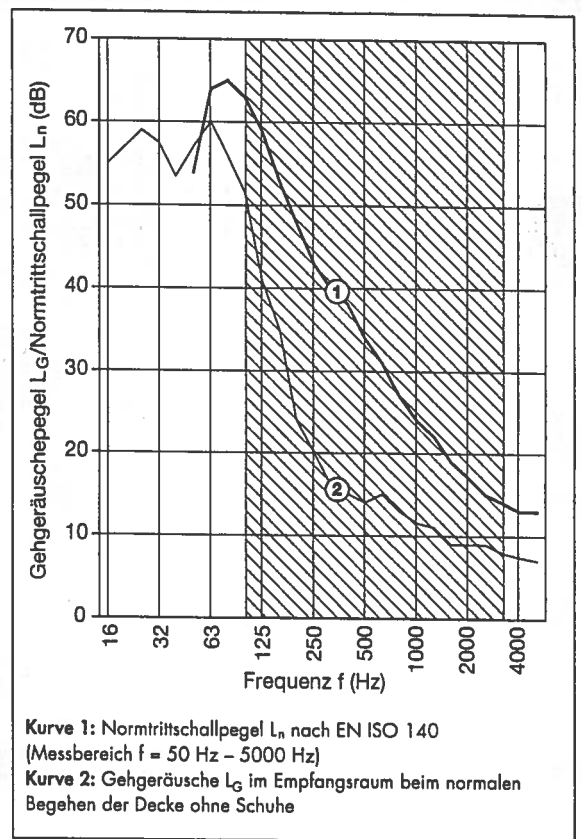
und Mehrfamilienhäusern. Beim Umbau werden häufig die alten Holzbalkendecken derart aufgerüstet, dass die schalltechnischen Anforderungen gemäss der Norm SIA 181 erfüllt werden, während bei Neubauten eher Geschossdecken aus Vollholz bzw. Brettstapeln oder Hohlkastensysteme eingesetzt werden.

Mit dem vermehrten Einsatz von Holzdeckensystemen haben nun parallel dazu die Klagen über störende Gehgeräusche-Immissionen zugenommen. Dabei handelt es sich um dröhnende Gehgeräusche im tieffrequenten Bereich, die beim Begehen der Decke in den darunter liegenden Raum abgestrahlt werden. Eine messtechnische Überprüfung der Geschossdecken gemäss den Richtlinien der gängigen ISO-Normen ergibt dann meistens eine Trittschalldämmung, welche die Anforderungen für einen Mindest- und erhöhten Schallschutz gut erfüllt. Die Kurve 1 im Diagramm (rechts

oben) stellt den gemessenen Normtrittschallpegel der untersuchten Geschossdecke dar. Ihr Dämmwert errechnet sich zu $L_{n,w} = 46$ dB und erfüllt somit die nach der SIA-Norm 181 geforderte Trittschalldämmung für einen erhöhten Schallschutz gut. Bei der Berechnung der Einzulangabe $L_{n,w}$ wird jedoch nur der dargestellte schraffierte Bereich von 100 Hz bis 3150 Hz berücksichtigt, obwohl bei den Holzdecken die Hauptanteile des Normtrittschallpegels und Gehgeräuschepegels darunter liegen. Dies führt daher generell zu einer massiven Unterbewertung von Leichtbaukonstruktionen.

Tieffrequenter Bereich für Holzdecken massgebend

Im Zuge der Einführung der Europeanormen (EN) hat sich in jüngster Zeit eine weitere Grösse zur Beschreibung der Trittschalldämmung etabliert. Die Rede ist vom sogenannten Spektrumanpassungswert C_1 , der besonders den tieffrequenten Bereich der Trittschalldämmung berücksichtigt, nämlich 100 Hz bis 2500 Hz ($C_{1100-2500}$) und 50 Hz bis 2500 Hz ($C_{150-2500}$). Je kleiner nun diese C_1 -Werte ausfallen, desto besser ist die Trittschalldämmung der Holzdecke im tieffrequenten Bereich. Im vorliegenden Beispiel (Dia-



gramm) liegt der Spektrumanpassungswert $C_{1100-2500}$ bei 4 dB.

Die im Diagramm dargestellten Messkurven weisen die für Geschossdecken aus Holz typischen Frequenzgänge auf: sehr hohe Luftschallpegel im Frequenzbereich zwischen 16 Hz und 160 Hz; stark abnehmende Luftschallpegel mit zunehmender Frequenz oberhalb ca. 125 Hz. In anderen Worten ausgedrückt heisst das, dass für die Beurteilung von Holzdecken in erster Linie der tieffrequente Bereich massgebend ist. Wie rechnerische Untersuchungen zeigen, reicht es für die Bestimmung der wichtigen trittschalltechnischen Grössen $L_{n,w}$ und C_1 völlig aus, den tieffrequenten Frequenzbereich bis $f = 200$ Hz zu berücksichtigen, während die Luftschallpegel bei den höheren Frequenzen unberücksichtigt bleiben dürfen. Der bei dieser eingeschränkten Betrachtungsweise auftretende Fehler liegt bei gebrauchsfertigen Geschossdecken (Decken mit Trockenboden, Zementunterlagsboden usw.) bei max. 1 dB.

Berechnung durch vereinfachtes Modell möglich

Aufgrund der Möglichkeit den Frequenzbereich auf 200 Hz einzuschränken, wurde ein vereinfachtes

Gehgeräusche-Immissionen und Trittschalldämmung bzw. Normtrittschallpegel einer mehrschaligen Geschossdeckenkonstruktion aus Holz.

Abbildungen: zVg

Bauphysik

Berechnungsmodell entwickelt, das es erlaubt, sowohl die Gehgeräuschepegel L_G als auch die Normtrittschallpegel L_n von Geschossdecken aus Holz mit ausreichender Genauigkeit terzweise zu bestimmen:

$$L_G(f) = L_{no} + 20 \log \left[\frac{Z_{Bo}}{Z_B + Z_M} \right] - 9 \log \left[\frac{\left(1 - \left(\frac{f}{f_{od}}\right)^2\right)^2 + d_d}{1 + d_d} \right] - 5 \log \left[\frac{\left(1 - \left(\frac{f}{f_{ob}}\right)^2\right)^2 + d_b}{1 + d_b} \right] + \Delta L_G(f) \text{ [dB]}$$

Dabei bedeuten:

L_{no} : Normtrittschallpegel einer fiktiven Bezugsdecke, bestehend aus 22 bis 25 mm dicken Holzspan- oder MDF-Platten, kraftschlüssig mit Holzbalken verbunden (die L_{no} -Zahlen sind empirische Werte):

Frequenz f	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200 (Hz)
L_{no}	59,5	61,0	61,5	63,5	65,5	65,0	61,5	57,0	54,5	54,5	50,5	44,0 (dB)

Z_{Bo} : Eingangsimpedanz der Holzbalken der Bezugsdecke (ρ_o : Dichte Holz; H_o : Balkenhöhe = 0,20 m; B_o : Balkenbreite = 0,12 m; c_o : Dehnwellengeschwindigkeit Holz = 2500 m/s; i : imaginäre Einheit):

$$Z_{Bo} = 2,67 \cdot \rho_o \cdot H_o \cdot B_o \cdot \sqrt{c_o \cdot H_o \cdot f} (1+i)$$

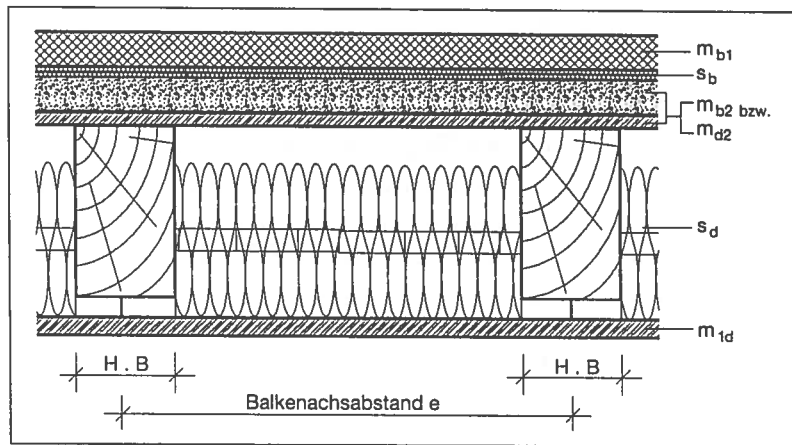
Z_B : Eingangsimpedanz der Holzbalken der Geschossdecke:

$$Z_B = 2,67 \cdot \rho \cdot H \cdot B \cdot \sqrt{c \cdot H \cdot f} (1+i)$$

Z_M : Eingangsimpedanz der Geschossdecke (e : Achsabstand der Holzbalken; m_{b1} : flächenbezogene Masse der Gehschicht; m_{b2} : flächenbezogene Masse der Holzspan- oder MDF-Platten auf den Holzbalken, inkl. einer darauf verlegten Beschwerung):

$$Z_M = 2,67 \cdot e \cdot \sqrt{c \cdot H \cdot f} (m_{b1} + m_{b2}) i$$

f_{od} : Masse-Feder-Masse-Resonanz der Deckenverkleidung unterhalb der



Schnitt durch die Geschossdecke mit den eingetragenen Grössen.

Holzbalken (s_d : dynamische Steifigkeit des Luftpolsters inkl. darin verlegtes Dämmmaterial; m_{d1} : flächenbezogene Masse der abgehängten Decke; m_{d2} : entspricht im Normalfall der Grösse m_{b2} , Ausnahme bei Holzbalken mit Zwischenboden und darauf verlegter Schüttung):

$$f_{od} = 161 \cdot \sqrt{s_d \cdot \left(\frac{1}{m_{d1}} + \frac{1}{m_{d2}}\right)} \text{ [Hz]}$$

d_d : Verlustfaktor des Luftpolsters inklusiv darin verlegtes Dämmmaterial ($d_d = 0,3 - 0,5$).

f_{ob} : Masse-Feder-Masse-Resonanz des aufgelegten Trockenbodens, Zementunterlagsbodens usw., inkl. Einfluss einer darunter verlegten Beschwerung (s_b : dynamische Steifigkeit der Dämmschicht unter dem Trockenboden, Zementunterlagsboden usw.):

$$f_{ob} = 161 \cdot \sqrt{s_b \cdot \left(\frac{1}{m_{b1}} + \frac{1}{m_{b2}}\right)} \text{ [Hz]}$$

d_b : Verlustfakten der Dämmschicht unter dem Trockenboden, Zementunterlagsboden ($d_b = 0,1 - 0,4$).

Bei der Entwicklung des Berechnungsmodells wurden die nachfolgenden Annahmen getroffen:

– die oben verlegten Holzspan- oder MDF-Platten sind kraftschlüssig mit den Holzbalken verbunden (geklebt oder geschraubt im Achsabstand von max. 300 mm)

– die abgehängte Deckenverkleidung ist über Federbügelschienen oder Federbügel elastisch an den Holzbalken befestigt

– der Hohlraum oberhalb der Deckenverkleidung ist zu mind. 2/3 seiner Höhe mit Dämmstoff gefüllt (Steinwolle oder Glaswolle oder ausgeflockt)

– die Trittschallübertragung findet zur Hauptsache über die Geschossdecke statt (Nebenwegübertragung ist untergeordnet).

Zur Veranschaulichung des vorgestellten Berechnungsmodells werden im folgenden zwei Beispiele von gängigen Geschossdeckenkonstruktionen durchgerechnet und mit Messwerten verglichen.

Zur Veranschaulichung des vorgestellten Berechnungsmodells werden im folgenden zwei Beispiele von gängigen Geschossdeckenkonstruktionen durchgerechnet und mit Messwerten verglichen.

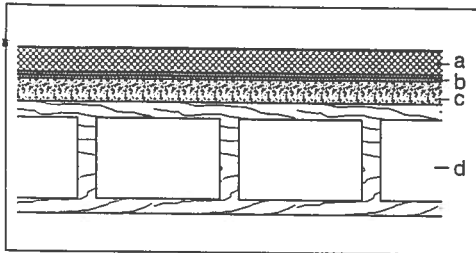
Geschossdecke aus Hohlkastenelementen

Im Bild (nächste Seite oben) zu sehen ist ein Schnitt durch die Konstruktion der Geschossdecke:

- 65 mm dicker Zementunterlagsboden: $m_{b1} = 150 \text{ kg/m}^2$
- 2 x 15 mm dicke Mineralfaserplatten: $s_b = 9,5 \text{ MN/m}^3$
- 40 mm dicke Sandschüttung: $m = 60 \text{ kg/m}^2$

f	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200 (Hz)
ΔL_G	0	0	0	0	0	-3,0	-7,5	-12,0	-16,5	-21,0	-25,5	-30,0 (dB)

$\Delta L_G(f)$: Korrektur bei der Berechnung des Gehgeräuschepegels im Empfangsraum (anstelle des Normtrittschallpegels L_n). Bei der Berechnung des Normtrittschallpegels L_n fallen die Korrekturwerte $L_G(f)$ weg.



d) 180 mm dickes Hohlkastenelement aus Holz: $m = 45 \text{ kg/m}^2$, daraus errechnet sich $m_{b2} = 105 \text{ kg/m}^2$.

Für die Berechnung des Gehgeräuschepegels L_G und des Normtrittschallpegels L_n sind im vorliegenden Fall für die übrigen Größen zu setzen:

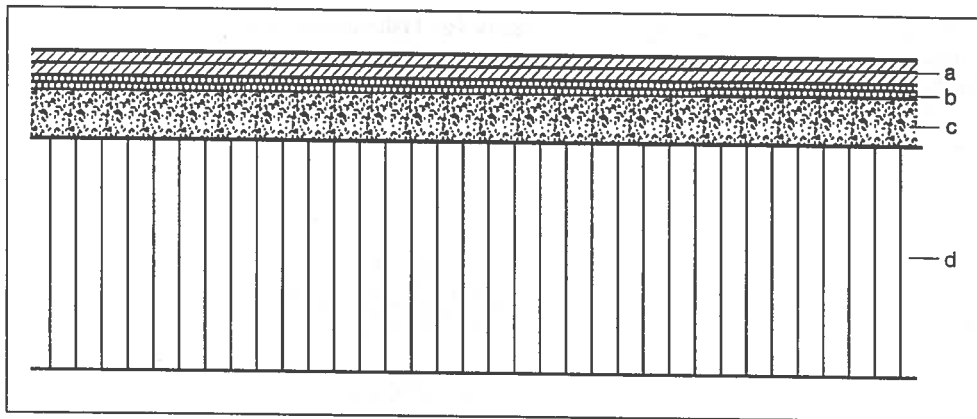
$p = p_o (490 \text{ kg/m}^3)$; $e = 0,65 \text{ m}$

$H = H_o (0,20 \text{ m})$; $m_{d1} 0,01 \text{ kg/m}^2$

$B = B_o (0,12 \text{ m})$; $m_{d2} = m_{b2} =$

105 kg/m^2

$c = c_o (2500 \text{ m/s})$; $s_d = 10^5 \text{ MN/m}^3$.



Die trittschalltechnisch interessierenden Größen bei der Brettstapeldecke mit variabler Beschwerung (unten).

Dicke/Masse der Sandschüttung	m_{b2}	Normtrittschallpegel $L_{n,w}$ nach EN ISO 717	Spektrumanpassungswert nach EN ISO 717		Gehgeräuschepegel* L_{Gr}
			$C_{1100-2500}$	$C_{150-2500}$	
keine	75 kg/m ²	61 dB	-1 dB	0 dB	40 dB(A)
25 mm/38 kg/m ²	113 kg/m ²	58 dB	-1 dB	1 dB	38 dB(A)
50 mm/75 kg/m ²	150 kg/m ²	56 dB	-1 dB	1 dB	36 dB(A)
80 mm/120 kg/m ²	195 kg/m ²	54 dB	-1 dB	1 dB	34 dB(A)
100 mm/150 kg/m ²	225 kg/m ²	53 dB	-1 dB	1 dB	33 dB(A)

*berechnet gemäss DIN 45680: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft

Da keine Deckenverkleidung vorhanden ist, sind die beiden Größen m_{d1} und s_d so zu wählen, dass die daraus resultierende Eigenfrequenz f_{od} weit oberhalb des betrachteten Frequenzbereichs liegt.

Brettstapeldecke mit variabler Beschwerung

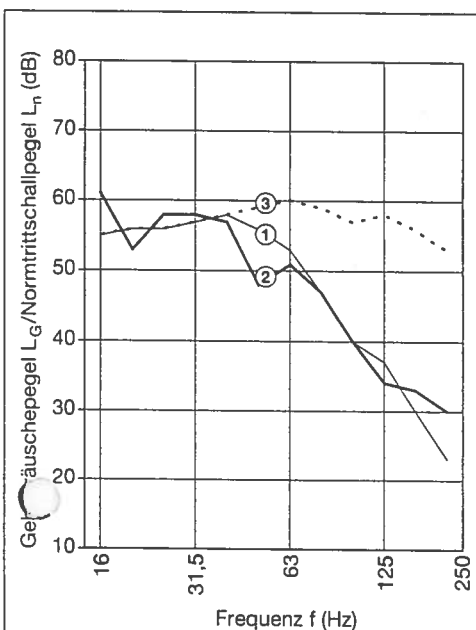
Im Bild (ganz oben) zu sehen ist ein Schnitt durch die Konstruktion der Brettstapeldecke:

- Fussboden aus 2 x 15 mm dicken Gipsfaserplatten: $m_{b1} = 35 \text{ kg/m}^2$
- Dämmschicht aus 25 mm dicken Glaswolleplatten: $s_b = 10,5 \text{ MN/m}^3$
- Sandschüttung mit variabler Dicke (Dichte: 1500 kg/m^3)
- 160 mm dicke Brettstapeldecke: $m = 75 \text{ kg/m}^2$.

Zusammenfassend ergibt sich, dass bei der Beurteilung von Geschossdecken an sich nur der Frequenzbereich von 50 bis 5000 Hz in Betracht gezogen wird. Beim Analysieren des Gehgeräuschs beim Begehen einer Geschossdecke stellt man jedoch sehr starke Luftschallpegelkomponenten auch im Fre-

quenzbereich zwischen 16 Hz und 50 Hz fest (siehe Kurve 2 im Diagramm auf der 1. Seite). Der Grund dafür liegt bei der andersartigen Kraftanregung durch den menschlichen Fuss im Vergleich zum Normhammerwerk, das aus 5 frei fallenden Stahlhämmern besteht. Bei einem Vergleich der beiden Kurven 1 und 2 wird klar, dass die beiden Schallquellen Hammerwerk und Fuss unterschiedliche Frequenzspektren liefern. Die harten Schläge des Hammerwerks verursachen Luftschallpegel, die im üblichen Messbereich mehr als 20 dB über den Luftschallpegeln des Gehgeräuschs liegen. Beim Gehgeräusch ist es eher so, dass seine Hauptkomponenten zwischen 16 Hz und 100 Hz liegen, was für das Dröhnen charakteristisch ist. Leider wird dieser Frequenzbereich mit dem heute gängigen Mess- und Bewertungsverfahren nur ungenügend berücksichtigt. Auch existieren praktisch keinerlei Anforderungen, die für diesen Frequenzbereich zulässige Grenzwerte festlegen. fl

*Beat Kühn und Rudolf Blickle sind Inhaber des Instituts für Lärmschutz Kühn + Blickle, Unterägeri



Kurve 1: Gehgeräuschepegel bei normalem Gehen ohne Schuhe (gerechnet); bewerteter Gehgeräuschepegel $L_{Gr} = 32 \text{ dB(A)}$ (nach DIN 45680)

Kurve 2: Gehgeräuschepegel bei normalem Gehen ohne Schuhe (gemessen); bewerteter Gehgeräuschepegel $L_{Gr} = 33 \text{ dB(A)}$ (nach DIN 45680)

Kurve 3: Normtrittschallpegel bei Anregung mit Hammerwerk (gerechnet); bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w} = 48 \text{ dB}$; Spektrumanpassungswerte $C_{1100-2500} = -1 \text{ dB}$, $C_{150-2500} = 3 \text{ dB}$

Darstellung des Gehgeräuschepegels L_G und des Normtrittschallpegels L_n