

In-situ Korrektur für Bauteile im Massivbau

Steffen Blessing, Heinz-Martin Fischer, Martin Schneider, Moritz Späh, Bernard Zobec

Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik Fachbereich Bauphysik Schellingstraße 24 70174 Stuttgart

Im CEN-Rechenverfahren nach prEN 12354, welches für die Teile 1 "Luftschalldämmung" und 2 "Trittschalldämmung" im Schlußentwurf vorliegt, soll die in-situ-Korrektur bewirken, daß die unterschiedlichen Werte des Verlustfaktors der an der Schallübertragung beteiligten Bauteile zwischen der Prüfung im Labor und dem Einsatz im Gebäude berücksichtigt werden. Die Änderung des Verlustfaktors wird dabei im Wesentlichen von der veränderten Energieableitung über die Ränder der Bauteile bestimmt. Durch den geänderten Verlustfaktor des Bauteils ergeben sich auch Änderungen anderer akustischer Kenngrößen des Bauteils, wie beispielsweise des Schalldämm-Maßes. Das Schalldämm-Maß eines Bauteils wird demnach wie folgt korrigiert:

$$R_{situ} = R - 10 \times \log \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \text{ dB}$$

S_{itu} : Schalldämm-Maß des Bauteils in situ
 R : Schalldämm-Maß des Bauteils im Labor
 $T_{s,situ}$: Körperschall-Nachhallzeit des Bauteils in situ
 $T_{s,lab}$: Körperschall-Nachhallzeit des Bauteils im Labor

Um die für die Berechnung der einzelnen Übertragungswege notwendige Schnellepegeldifferenz zu erhalten, ist folgende Gleichung zu berechnen:

$$\overline{D}_{v,ij,situ} = K_{ij} - 10 \times \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_{i,situ} \times a_{j,situ}}}$$

mit:

$$a_{i,situ} = \frac{2,2\pi S_i}{c_0 T_{s,i,situ}} \sqrt{\frac{f_{ref}}{f}}$$

mit:

f_{ref} : Referenzfrequenz, 1000 Hz
 f : Frequenz in Hz
 S_i : Fläche des Bauteils in m²
 c_0 : Schallgeschwindigkeit in Luft, 340 m/s
 $T_{s,i,situ}$: Körperschall-Nachhallzeit des Bauteils in situ, in s
 l_{ij} : Länge der Stoßstelle, in m

Betrachtet man den gesamten Formalismus zur Berechnung der Flankenübertragung, so läßt sich der Einfluß der Körperschall-Nachhallzeit auf das Rechenergebnis wie folgt darstellen:

$$R_{ij} = \dots - 10 \times \log(T_{s,i,situ} \times T_{s,j,situ})$$

Berechnungsverfahren

Um die Berechnungen nach dem CEN-Modell durchführen zu können, ist es notwendig den in-situ-Verlustfaktor der jeweiligen Bauteile zu kennen. Um die Schalldämmung in der jeweiligen Situation im Voraus berechnen zu können, muß demnach die in-situ-Körperschall-Nachhallzeit bekannt sein. Zur Berechnung der Körperschall-Nachhallzeit existieren mehrere Berechnungsmöglichkeiten. Für die vorliegende Untersuchung werden folgende Methoden dargestellt bzw. untersucht:

1. Berechnung für das detaillierte Modell nach prEN 12354-1, entsprechend informativem Anhang C:

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{2\rho_0 c_0 \sigma}{2\pi f m'} + \frac{c_0}{\pi^2 S \sqrt{ff_c}} \sum_{k=1}^4 l_k \alpha_k$$

$$\alpha_k = \sum_{j=1}^3 \sqrt{\frac{f_{c,j}}{f_{ref}}} 10^{-K_{ij}/10}$$

Die Genauigkeit der Berechnung ist dabei im Wesentlichen von der Größe des Stoßstellendämm-Maßes und dem Abstrahlgrad abhängig

2. Berechnung für das vereinfachte Modell nach prEN 12354-1:

Berechnung erfolgt durch die Annahme: $a_{i,situ} = S_i$

$$\text{daraus erhält man: } T_{s,situ} = \frac{2}{\sqrt{f}} \Rightarrow \eta_{tot} = \frac{1,1}{\sqrt{f}}$$

3. Einfache Berechnung nach Craik (Craik Robert JM: Sound transmission through buildings using statistical energy analysis Gower Publishing, 1996):

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{f}} + \eta_{int}$$

für η_{int} wird als guter Mittelwert 0,015 angegeben.

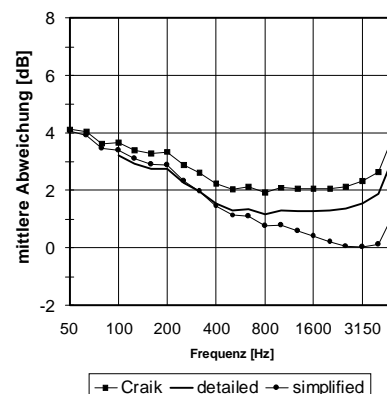
Um die Qualität der rechnerischen Vorhersage des Verlustfaktors beurteilen zu können, müssen die errechneten Werte mit gemessenen Werten verglichen werden.

Im Rahmen mehrerer an der Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik laufender Forschungsprojekte wurden bereits eine Vielzahl von Verlustfaktormessungen in ausgeführten Gebäuden durchgeführt. Für die Vergleiche von Messung und Rechnung wurden 164 einzelne Messungen verwendet. Für den Vergleich wird wie folgt vorgegangen:

1. Berechnung des Verlustfaktors für jedes gemessene Bauteil nach jeder der 3 vorgenannten Verfahren, wobei Verfahren 2 (vereinfachtes Modell) und 3 (Craik) von der Einbausituation des einzelnen Bauteils unabhängig sind
2. Umrechnung des Verlustfaktors auf dB-Werte. Dabei wird der Wert von 1e-12 als Bezugsgröße verwendet
3. Betrachtung der Differenz in dB zwischen Meß- und Rechenwert für jedes Bauteil und jedes Rechenverfahren
4. Ermittlung der mittleren Abweichung zwischen Meß- und Rechenwert, sowie der Standardabweichung für jede Vorhersagemethode

Die folgende Grafik zeigt die Abweichungen zwischen Rechen- und Meßwert:

Differenz zwischen Rechen- und Meßwert des Verlustfaktors



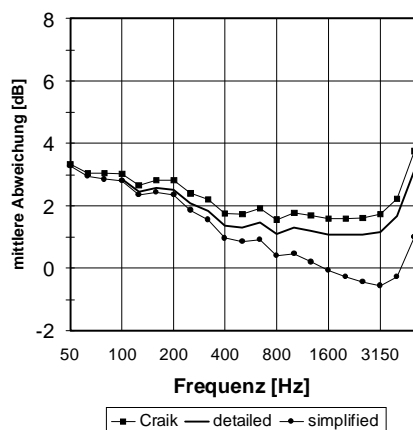
Für den Frequenzbereich von 100 – 3150 Hz:

Berechnung nach	Anhang C	Vereinfacht	Craik
Mittlere Abweichung [dB]	1,83	1,44	2,51
Standardabweichung [dB]	2,82	2,44	2,44

Im Mittel liegt der Rechenwert deutlich über den gemessenen Werten, d.h. der Verlustfaktor wird überschätzt und damit eine zu hohe Schalldämmung errechnet. Die großen Abweichungen bei hohen Frequenzen liegen in Meßfehlern der Körperschall-Nachhallzeit begründet. Berücksichtigt wurden nur massive Bauteile mit kraftschlüssiger Anbindung an andere Bauteile.

Bei Betrachtung der einzelnen Bauteile fällt auf, daß sich wesentliche Unterschiede zwischen leichten und schweren massiven Bauteilen ergeben. Schwere Bauteile sind hierbei Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse nach DIN 4109 von $m' \geq 145 \text{ kg/m}^2$. Diese Grenze ergibt sich aufgrund der untersuchten Bauteile. Im Folgenden wird die Abweichung zwischen Berechnung und Messung des Verlustfaktors jeweils für schwere und leichte Bauteile dargestellt.

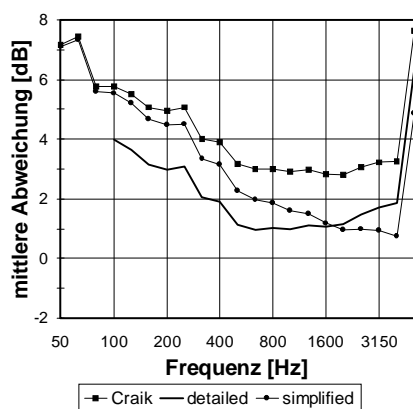
Differenz zwischen Rechen- und Meßwert des Verlustfaktors für schwere Bauteile



Für den Frequenzbereich von 100 – 3150 Hz:

Berechnung nach	Anhang C	Vereinfacht	Craik
Mittlere Abweichung [dB]	1,64	0,98	2,05
Standardabweichung [dB]	2,72	2,03	2,03

Differenz zwischen Rechen- und Meßwert des Verlustfaktors für leichte Bauteile



Für den Frequenzbereich von 100 – 3150 Hz:

Berechnung nach	Anhang C	Vereinfacht	Craik
Mittlere Abweichung [dB]	1,96	2,76	3,83
Standardabweichung [dB]	2,16	2,29	2,29

Die dargestellten Kurven und Tabellen zeigen unbefriedigende Ergebnisse bezüglich der Übereinstimmung zwischen Rechnung und

Messung. Vor allem für die Berechnung nach Anhang C zu EN 12354-1 sind die Ergebnisse sehr unbefriedigend, vergleicht man den hohen Aufwand zur Berechnung gegenüber den anderen einfachen Verfahren.

Eine nähere Betrachtung der in-situ-Verlustfaktoren zeigt, daß diese am Bau im Gegensatz zur Berechnung nach Anhang C nur in relativ engen Grenzen schwanken und offensichtlich im Wesentlichen nur von der Frequenz abhängen. Wie bereits gezeigt ist es notwendig zwischen leichten und schweren Bauteilen zu unterscheiden.

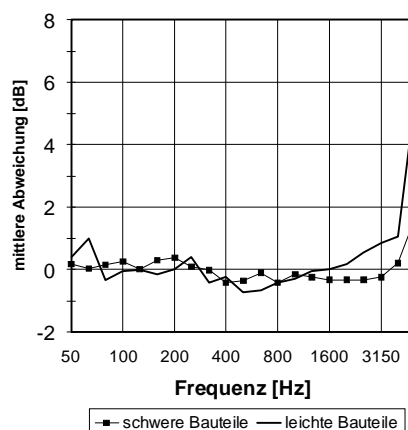
Um die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung zu verbessern wird ein neues Berechnungsverfahren, basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen aus obigen Vergleichen und mittels Regression aus den gemessenen Werten erzeugt, vorgeschlagen. Mit den folgenden Berechnungsformeln konnte die beste Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung erzielt werden.

Für schwere Bauteile ($m' \geq 145 \text{ kg/m}^2$): $10 \times \log \eta = -5,9 - 3,1 \times \log f$

Für leichte Bauteile ($m' < 145 \text{ kg/m}^2$): $10 \times \log \eta = -12,6 - 1,3 \times \log f$

Wird der Verlustfaktor nach diesen Formeln berechnet, so ergibt sich folgendes Bild für die Differenz zwischen Rechen- und Meßwert:

Differenz zwischen Rechen- und Meßwert des Verlustfaktors für die neue Berechnungsmethode



Für den Frequenzbereich von 100 – 3150 Hz:

Bauteilart	schwer	leicht
Mittlere Abweichung [dB]	-0,13	-0,07
Standardabweichung [dB]	2,03	2,29

Die mittlere Abweichung wird mit dieser Berechnungsmethode praktisch Null. Die Standardabweichung ändert sich naturgemäß für die angegebenen Berechnungsformeln kaum. Die angegebenen Berechnungsformeln liefern wesentlich bessere Ergebnisse als die oben betrachteten Methoden und dies verglichen mit der Methode nach Anhang C mit wesentlich geringerem Berechnungsaufwand.

Da wie gezeigt der in-situ-Verlustfaktor der massiven Bauteile mit üblichen massiven Anschlüssen am Bau sich nur geringfügig unterscheidet, sollten akustische Meßwerte aus Laborprüfungen, wie z.B. das Schalldämm-Maß, auf die angegebenen Verlustfaktoren bezogen angegeben werden. Damit würden die Prüfzeugnisse direkt die am Bau zu erwartenden Werte enthalten und eine weitere Umrechnung wäre hinfällig.

Diese Untersuchung wurde gefördert durch die Arge Mauerziegel im Bundesverband der deutschen Ziegelindustrie und im Rahmen von AIF-Vorhaben durch die Forschungsvereinigung Porenbetonindustrie e.V., die Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V. und die Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft der Bimsindustrie mbH.