

Zweckmäßigkeit komplementärer Rechenverfahren zur DIN 4109-2

T. Hils¹

¹ hils consult gmbh, ing.-büro f. bauphysik, Kolpingstr. 15, 86916 Kaufering, Email: info@hils-consult.de

In der DIN 4109-2:2018-01 werden die allgemeinen anzuwendenden Rechenverfahren für bauakustische Prognosen und insbesondere den öffentlich-rechtlichen Nachweis („Schallschutznachweis“) festgelegt. Diese beruhen auf einem verbindlich anzuwendenden Bauteilkatalog in Verbindung mit langjährig bekannten Verfahren wie z.B. der DIN EN ISO 12354-ff und werden nichtspektral als bewertete Kenngrößen geführt. In diesem Zusammenhang soll anhand von Beispielen erörtert werden, ob eine „Öffnungsklausel“ in der Norm zielführend ist, die bei komplexen Fällen die Möglichkeit zulässt auch auf andere ingenieurtechnische Verfahren zurückgreifen zu können.

Einleitung - Motivation

In der DIN 4109-2:2018-01 „Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen“ [1] werden die allgemeinen anzuwendenden Rechenverfahren für bauakustische Prognosen und insbesondere den öffentlich-rechtlichen Nachweis („Schallschutznachweis“) festgelegt. Diese beruhen auf einen verbindlich anzuwendenden Bauteilkatalog in Verbindung mit langjährig bekannten Verfahren aus der Normenreihe der DIN EN ISO 12354-ff und werden nichtspektral als bewertete Kenngrößen geführt. Komplementäre Verfahren sind bislang nicht zulässig.

Möglicherweise sind jedoch für besondere Fälle, Geometrien und/oder Bauweisen bisweilen andere, nicht in DIN 4109-2 geregelte Bauteileigenschaften und Berechnungsansätze besser geeignet oder bilden eine spezielle Problematik besser ab. Dies könnten zum Beispiel detailliertere, frequenzabhängige Bauteileigenschaften oder Berechnungsverfahren sein, die auf ein spezielles Problem konkret angepasst sind. Auch ist in diesem Zusammenhang zu erörtern, ob grundsätzlich die Beschreibung bzw. Reduktion der physikalischen Zusammenhänge auf einen Einzahl-Kennwert zielführend ist.

In diesem Zusammenhang soll anhand von Beispielen erörtert werden, ob die Einführung einer „Öffnungsklausel“ in die Norm zielführend wäre, die bei komplexen Fällen die Möglichkeit zulässt auch auf andere ingenieurtechnische Verfahren zurückgreifen zu können. Vorbild hierbei ist die ebenfalls bauaufsichtsrechtlich eingeführte DIN 4108-3:2014-11 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz“ [3], wo explizit darauf hingewiesen wird, dass unter bestimmten Randbedingungen „mit Hilfe weiterführender Berechnungsmethoden die Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden darf“

Bbl. 1 zu DIN 4109:1989-11:

Das vorangegangene (Berechnungs-)Verfahren nach Bbl. 1 zu DIN 4109:1989-11 basiert weitgehend auf (semi-)empirischen Methoden und wurde letztlich als Tabellenverfahren in die Norm implementiert und angewendet. Während es sich für viele Standardsituation zwar über Jahrzehnte bewährt hat, zeigt sich jedoch, dass bei zunehmend komplexeren Misch- und Hybridbauweisen, vielfältigeren Geometrien und letztlich stärker variierenden Randbedingungen das Verfahren an seine Grenzen gelangt und damit die Gefahr von Fehlprognosen steigt. Auch war es teilweise schwierig nachzuvollziehen, welche Vorhaltemaße und/oder Unsicher-

heiten in den Tabellenwerten bereits berücksichtigt waren, so dass nachträgliche quantitative Fehlerbetrachtungen meist nur schwer möglich waren.

DIN 4109-2:2018-01:

Das gemäß DIN 4109-2 anzuwendende Berechnungsverfahren basiert auf dem europäisch harmonisierten Rechenverfahren der Normenreihe DIN EN 12354-ff und bildet die physikalisch-/akustischen Prozesse bei der Schallübertragung deutlich konsequenter ab, als die vielfach (semi-)empirischen Methoden im vorangegangenen Bbl. 1 zu DIN 4109:11/89. Während in der ursprünglichen Systematik die Schalldämmung im Wesentlichen mit Blick auf das Trennbauteil bestimmt wurde, gehen nunmehr die Abmessungen der Räume und beteiligten Bauteile sowie die jeweiligen Stoßstellen in das neue Verfahren ein. Auch wenn dabei noch nicht sämtliche baulichen Gegebenheiten ausreichend abgebildet und mit entsprechend zufriedenstellender Genauigkeit prognostiziert werden können, ist die grundsätzliche auf den Verfahren der statistischen Energieanalyse basierende Methode der richtige Ansatz. Das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w ergibt sich demnach im Sinne einer Energiebilanz aus der energetischen Addition der an der Schallübertragung beteiligten Übertragungswege:

$$R'_w = -10 \text{Log} \left[10^{-(R_{Dd,w} + \Delta R_{Dd,w})/10} + \frac{l_0 \cdot l_f}{S_s} \sum_{i,j} 10^{-\left(\frac{R_{i,w}}{2} + \frac{R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij}\right)/10} \right]$$

wobei:

- R'_w bewertetes Bau-Schalldämm-Maß
- $R_{Dd,w}$ bewertetes Schalldämm-Maß für die Direktübertragung
- $\Delta R_{Dd,w}$ bewertetes Luftschallverbesserungsmaß durch zusätzliche Vorsatzschale des Trennbauteils
- $R_{i,w}$ bewertetes Flankendämm-Maß der Flanke ij
= $(R_{i,w} + R_{j,w})/2 + \Delta R_{ij,w} + K_{ij,w} + 10 \log S_s/l_f$
- $\Delta R_{ij,w}$ bewertetes Luftschallverbesserungsmaß durch zusätzliche Vorsatzschalen der Flanke ij
- K_{ij} Stoßstellendämm-Maß
- S_s Fläche des trennenden Bauteils
- l_f Kanten-/Kopplungslänge

Im Hinblick auf das normativ anzuwendende Rechenverfahren ist z.B. kritisch zu hinterfragen, warum ausschließlich auf das vereinfachte Verfahren mit Einzahlwerten gem. DIN EN ISO 12354-1 abgestellt und das detaillierte, frequenzabhängige Verfahren nicht für den Nachweis zugelassen wird. Argumentiert wurde hier bislang, dass mit dem Einzahlverfahren eine bessere Übereinstimmung mit Messungen und geringere Streuungen erzielt würden. Inwieweit dies allgemein in der Praxis tatsächlich zutrifft, kann derzeit nicht abschließend beurteilt werden.

Anhand des nachfolgenden Beispiels soll erörtert werden, ob in Einzelfällen weitergehende eine „*Öffnungsklausel*“ im Hinblick auf die anzuwendende Rechenmethodik sinnvoll sein kann.

Spektraler Verlauf der Schalldämmung:

1) Messung

Eine Luftschallmessung (gem. DIN EN ISO 140-4) einer 24 cm Stahlbeton-Wohnungstrennwand, die beidseitig mit überputzten Hartschaumplatten bekleidet war, liefert erwartungsgemäß ein „Lehrbuchergebnis“ von $R'_w = 48$ dB bedingt durch einen Resonanzeinbruch um mehr als 10 dB bei etwa 700 Hz.

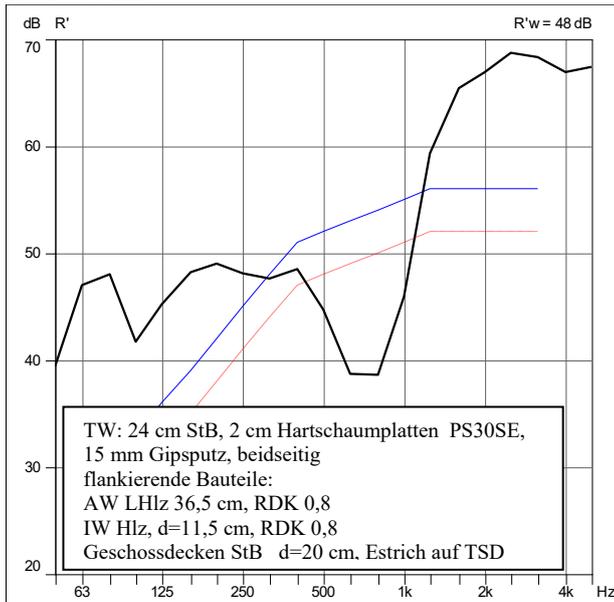


Abb. 1: R'_w StB-Wohnungstrennwand beidseitig bekleidet

2) Rechnerische Bestimmung der Schalldämmung R'_w

Die rechnerische Bestimmung der bewerteten Schalldämmung gemäß DIN 4109-2:2018-01 ergibt mit $R'_w = 47,4$ dB (ohne Abzug des Sicherheitsbeiwerts) eine sehr gute Übereinstimmung im Einzahlwert mit dem Messergebnis.

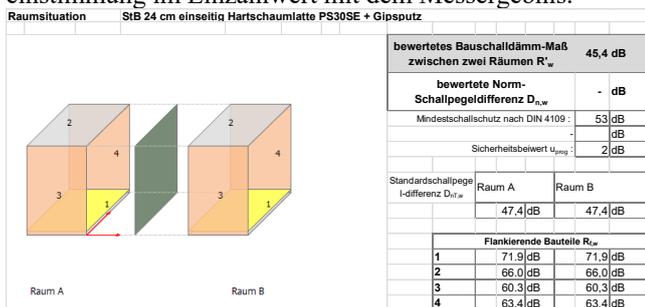


Abb. 2: Berechnung gem. DIN 4109-2

Jedoch kann verfahrensbedingt durch die Reduktion auf einen Einzahlwert keine nähere Information zum Frequenzverlauf angegeben werden. Im vorliegenden Fall wäre aber gerade die Information über den erheblichen Einbruch im sprachrelevanten Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 800 Hz besonders wichtig zur Einschätzung des hohen subjektiven Störpotentials. Nachfolgend soll daher versucht werden einen verbesserten Berechnungsansatz zu entwickeln, der dem spektralen Verlauf und insbesondere Resonanzeinbruch besser Rechnung trägt

3) Verbesserter spektraler Berechnungsansatz

Für den Bereich unterhalb der Knick- bzw. Koinzidenzgrenzfrequenz f_g erfolgt ausgehend von der Vergrößerungsfunktion des gedämpften Einmassenschwingers eine Abschätzung der Resonanzüberhöhung und damit des spektralen Verlaufs der Luftschallverbesserung durch die Vorsatzschale.

Mit der Vergrößerungsfunktion V [4],

$$V(\eta) = \sqrt{\frac{1 + (2D\eta)^2}{(1 - \eta^2)^2 + (2D\eta)^2}}$$

ergibt sich die Pegeländerung ΔR durch die Vorsatzschale wie folgt:

$$\Delta R = -20 \cdot \lg |V| \text{ [dB]}$$

wobei:

ΔR Luftschallverbesserungsmaß durch Vorsatzschale

V Vergrößerungsfunktion des gedämpften harmonischen Oszillators

$\eta = f/f_0$, Frequenzabstimmverhältnis bezogen auf die Resonanzfrequenz f_0

D Lehr'sches Dämpfungsmaß

Damit ergibt sich für eine Vorsatzschale folgender prinzipieller Verlauf der Pegeländerung über die Frequenz. Mit dem Dämpfungsgrad als Parameter ergibt sich im Bereich und unterhalb der Resonanzfrequenz eine ausgeprägte Verschlechterung, oberhalb eine zunehmende Verbesserung der Schalldämmung.

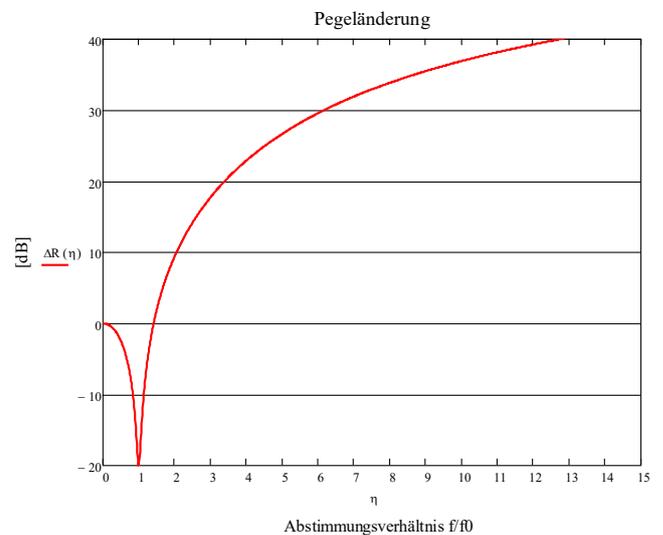


Abb. 3: Spektraler Verlauf Pegeländerung ΔR bei typischer Dämpfung $D=0,05$

Bei einem Dämpfungsgrad von $D = 0,05$ ergibt sich im Bereich der Resonanzfrequenz eine Verschlechterung der Schalldämmung um etwa $\Delta R = 20$ dB, eine Oktave höher bereits eine Verbesserung um 5 dB. Die mit der Frequenz zunehmend ansteigende Pegelminderung endet im Bereich der Koinzidenzgrenzfrequenz f_g .

Der Bereich der Knick- bzw. Koinzidenzgrenzfrequenz wird in Anlehnung an [5] empirisch über einen Einbruch in der Wirksamkeit (Pegelminderung) der Vorsatzschale durch Festlegung eines oberen Grenzwertes wie folgt abgebildet:

$$\Delta R(f \geq f_k) \rightarrow \Delta R(f_k) = \text{const}$$

Damit ergibt sich für das Luftschallverbesserungsmaß durch die Vorsatzschale insgesamt folgender generischer Frequenzverlauf, wobei zur besseren Darstellung, die Koinzidenzgrenzfrequenz ebenfalls über das Abstimmverhältnis η ausgedrückt wird.

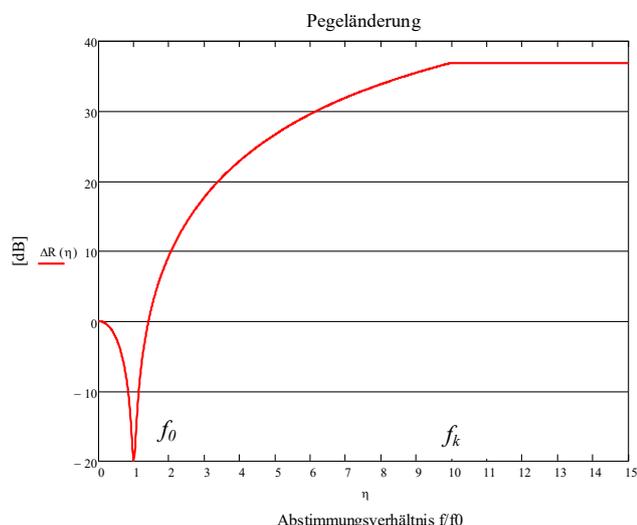


Abb. 4: Spektraler Verlauf Luftschallverbesserungsmaß ΔR bei typischer Dämpfung $D=0,05$ und einer angenommenen Knickfreq. bei $f_k = 10\eta$

4) Beidseitige Anordnung Vorsatzschale (VS)

Bei einer beidseitigen Anordnung der o.g. Vorsatzschale, ist u.a. aufgrund der großen Sperrmasse durch die Stahlbetonwand von einer weitgehenden Entkopplung der beiden Oszillatoren auszugehen. Die Vergrößerungs- bzw. Übertragungsfunktionen der Einzeloszillatoren lassen sich im Frequenzbereich daher multiplizieren, was durch die Logarithmierung im Pegelraum sich zu einer Addition reduziert. Von folgender maximaler Verbesserung wird ausgegangen:

$$\Delta R(f \geq f_k) = 15 \text{ dB (bei Summierung VS1+VS2)}$$

5) Ergebnis spektraler Berechnungsansatz

Für das obige Beispiel ergibt sich mit dem Berechnungsansatz aus 3) und 4) sowie konkreten Parametern für Resonanz- und Koinzidenzgrenzfrequenz folgendes Ergebnis für den spektralen Verlauf der Schalldämmung R_w der Stahlbetonwand mit beidseitiger Bekleidung aus verputzten Hartschaumplatten (vgl. Abb. 5). Hierbei ist zu beachten, dass der Übersichtlichkeit halber zunächst auf eine Berücksichtigung bzw. Modellierung der zusätzlichen Schallübertragung durch die weiteren Flankenbauteile verzichtet wird, so dass das rechnerische Ergebnis verglichen mit dem Messergebnis aus Abb. 1 nicht vollständig übereinstimmen kann und naturgemäß noch zu hoch ausfällt.

Unter Berücksichtigung des letztgenannten Aspekts zeigt sich sowohl beim spektralen Verlauf der Schalldämmung als auch im Einzahlwert eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Messergebnis. Tatsächlich können weder Aspekte wie eine leichte gegenseitige Verstimmung der beiden Oszillatoren noch die dämpfungsabhängige Resonanzfrequenz hinreichend abgebildet werden, so dass neben anderen Aspekten insbesondere die Frequenzbreite des Einbruchs der Dämmkurve zu schmal erscheint.

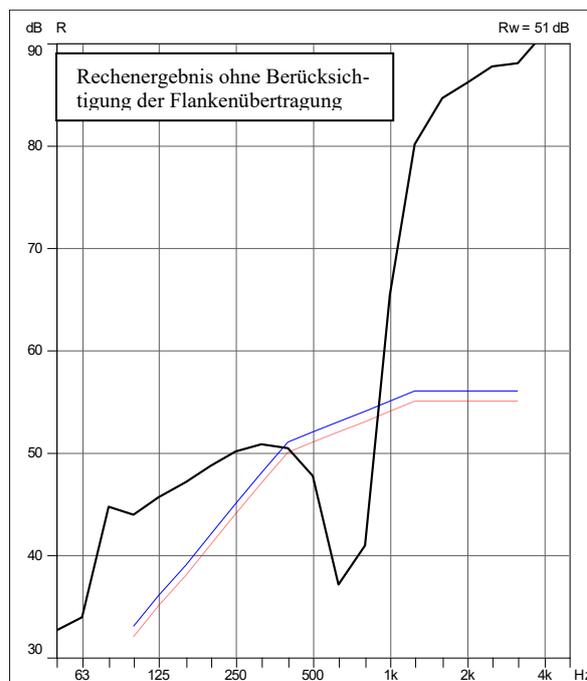


Abb. 5: rechnerischer Verlauf R_w StB-Wohnungstrennwand beidseitig Hartschaumplatten verputzt (ohne Flankenübertragung)

Fazit:

Hier wird in Analogie zum Wärmeschutz vorgeschlagen so zu verfahren wie in DIN 4108-2:2013-02, wo beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes neben dem „Standardverfahren“ auch weitere „ingenieurmäßige Verfahren“ ausdrücklich zugelassen werden. Es kann und darf nicht sein, dass man sich normungsbedingt im baulichen Schallschutz modernen Rechenmethoden, die für spezielle Situationen und Aufgabenstellungen möglicherweise besser geeignet sind oder gerade hierfür entwickelt wurden, künftig verschließt.

Ausblick:

- Ausdehnung der Untersuchung auf weitere Situationen insbesondere im Hinblick auf „problematische“ Bauteile, wo die bisherigen Verfahren an ihre Grenzen gelangen
- Möglicherweise macht es Sinn auch in der Bauakustik verstärkt Ergebnisse aus komplexeren numerischen Simulationen einzusetzen und die analytischen Standardverfahren - dort wo zweckmäßig - damit zu ergänzen.

Literatur

- [1] DIN 4109-2 „DIN 4109 Teil 2, Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen“, Ausgabe Juli 2016
- [2] DIN 4109-32 „DIN 4109 Teil 32, Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) - Holz-, Leicht- und Trockenbau“, Ausgabe Juli 2016
- [3] DIN 4108-3 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Ausgabe November 2014
- [4] H. Kramer, *Angewandte Baudynamik*, Ernst & Sohn 2007
- [5] W.Schirmer, *Technischer Lärmschutz*, Kap. 5, VDI Verlag, 1996