

Akustische Sanierung von Wohngebäuden mit Vorsatzschalen und Vorsatzkonstruktionen - Berechnung, Planung, Optimierung

L. Weber, A. Buchele
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) gefördert (Aktenzeichen Z6 - 10.07.03-05.13 / II 13 - 80 01 05 - 13). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Vorsatzschalen - d. h. leichte biegeeweiche Platten, die mit einigen Zentimetern Abstand vor einem schweren Grundbauteil angeordnet werden - sind im Bauwesen weit verbreitet. Sie lassen sich einfach und kostengünstig herstellen und werden deshalb überall dort eingesetzt, wo erhöhter Schallschutz gefordert ist oder schalltechnisch unzureichende Konstruktionen saniert werden müssen. Daneben sind Vorsatzschalen auch im Bereich des Wärmeschutzes zu finden (z. B. als Wärmedämm-Verbundsysteme), so dass sie oft eine doppelte bauphysikalische Funktion erfüllen.

Die Vielfalt von Vorsatzkonstruktionen ist groß und reicht von Vorwänden über schwimmende Estriche bis zu abgehängten Unterdecken. Trotz unterschiedlicher Bauweise beruht die akustische Wirkung in allen Fällen auf dem gleichen Prinzip, bei dem Grundwand und Vorsatzschale als Massen und die dazwischen liegende Luft- oder Dämmschicht als Feder wirken (Masse-Feder-Prinzip).

Ogleich es sich um eine altbewährte Bauweise handelt, ist das akustische Verhalten von Vorsatzschalen noch keineswegs völlig verstanden. Die vorhandenen Planungs- und Berechnungswerkzeuge sind verhältnismäßig ungenau und nur in eingeschränktem Maße für die praktische Anwendung geeignet. In der baulichen Praxis kommt es deshalb häufig zu Planungs- und Herstellungsfehlern, die die Schallschutzwirkung von Vorsatzkonstruktionen erheblich beeinträchtigen.

Das durchgeführte Forschungsvorhaben hatte deshalb das Ziel, die akustischen Zusammenhänge genauer zu untersuchen sowie insbesondere konstruktionsbedingte Einflüsse auf die Schalldämmung zu klären. Auf Grundlage der hierbei gewonnenen Erkenntnisse wurden verbesserte Berechnungsverfahren für die situationsbezogene Planung und Auslegung von Vorsatzschalen entwickelt. Des Weiteren wurden Hinweise für die praktische Umsetzung der Forschungsergebnisse erarbeitet, um abgestimmt auf die baulichen Randbedingungen eine optimale akustische Wirkung von Vorsatzschalen zu erzielen.

2 Durchführung des Forschungsvorhabens

Der Forschungsvorhaben umfasste folgende Bearbeitungsschritte, die teilweise ineinander griffen, zum Teil jedoch auch eigenständige Ziele verfolgten:

- Literaturrecherche zur Vervollständigung des vorhandenen Kenntnisstandes über Vorsatzschalen. Neben experimentellen Untersuchungen wurden dabei vor allem akustische Berechnungsmodelle betrachtet.

- Erstellung einer Datenbank mit Schalldämm-Messungen an Vorsatzkonstruktionen. Sämtliche Datensätze (etwa 110 für die Durchgangs- und 100 für die Längsdämmung) entstammten Messungen in bauakustischen Prüfständen. Neben den akustischen Kennwerten wurden auch alle maßgebenden Angaben zur Bauteilkonstruktion erfasst.
- Datenanalyse zur Bestimmung der akustischen Zusammenhänge und der maßgeblichen Einflussgrößen und Konstruktionsparameter. Die Analyse erfolgte durch Gegenüberstellung gleichartiger Konstruktionen, die sich nur hinsichtlich der jeweils betrachteten Einflussgröße voneinander unterschieden.
- Ergänzende Schalldämm-Messungen zur Schließung von Datenlücken und der Beantwortung weiterreichender Fragen. Dabei wurden insbesondere die Zusammenhänge zwischen Aufbau und akustischen Eigenschaften von Vorsatzkonstruktionen untersucht.
- Entwicklung verbesserter Berechnungsmodelle mit erhöhter Genauigkeit auf Grundlage der in den vorangehenden Arbeitsschritten gewonnenen Erkenntnisse. Die Modelle wurden als Ingenieurverfahren für die praktische Anwendung konzipiert. Da für die bauakustische Planung sowohl Einzahlangaben (häufig) als auch Frequenzspektren (gelegentlich) benötigt werden, wurde zweigleisig vorgegangen und sowohl eine vereinfachte Methode für die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes als auch ein detailliertes Verfahren für frequenzabhängige Berechnungen entwickelt. Die Validierung der Berechnungsverfahren erfolgte durch Abgleich mit den Messergebnissen aus der Datenbank.
- Erarbeitung von Hinweisen zur fachgerechten Auslegung und Montage von Vorsatzschalen. Die Hinweise dienen als Hilfsmittel, um die akustischen Wirkung von Vorsatzschalen situationsbezogen zu optimieren.

Die große Vielzahl unterschiedlicher Vorsatzkonstruktionen machte eine Eingrenzung des Untersuchungsbereichs erforderlich. Wegen ihrer weiten Verbreitung und ihrer repräsentativen akustischen Eigenschaften wurden hierzu Vorsatzschalen an massiven Wänden ausgewählt. Die grundlegenden Bauformen von Vorsatzschalen an Wänden sind in Bild 1 schematisch dargestellt. Wärmedämm-Verbundsysteme wurden nicht betrachtet, da hierzu bereits umfangreiche Untersuchungsergebnisse vorliegen [1, 2].

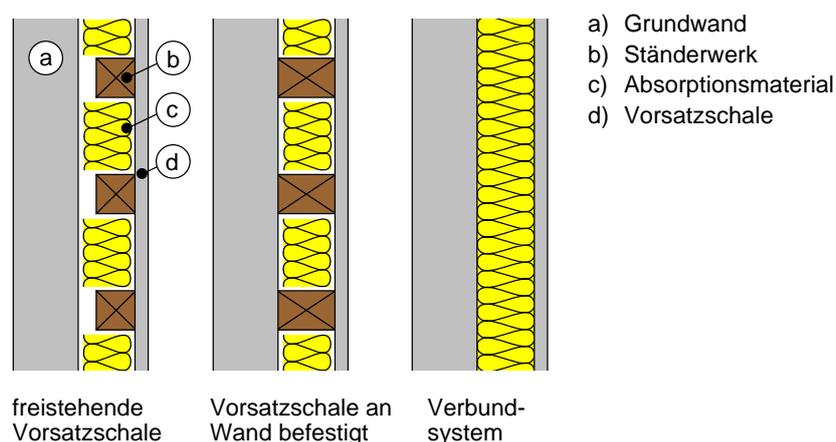


Bild 1 Bauformen von Vorsatzschalen an massiven Wänden. Es ist zwischen freistehenden Schalen (links), an der Grundwand befestigtem Ständerwerk (Mitte) sowie Verbundsystemen (rechts) zu unterscheiden. Bei Verbundsystemen ist die Dämmschicht beidseitig mit Vorsatzschale und Grundwand verklebt.

3 Grundlagen

Die Schallschutzwirkung von Vorsatzschalen wird durch die Verbesserung der Schalldämmung

$$\Delta R = R_{\text{GW+VS}} - R_{\text{GW}} \quad (1)$$

beschrieben, wobei $R_{\text{GW+VS}}$ und R_{GW} das Schalldämm-Maß der Grundwand (GW) mit und ohne Vorsatzschale (VS) bezeichnen. Die Verbesserung ΔR ist eine frequenzabhängige Größe und wird in der Bauakustik zumeist als Terzspektrum angegeben. Um eine Einzahlangabe für die akustische Wirkung von Vorsatzschalen zu erhalten, greift man auf die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes

$$\Delta R_w = R_{w, \text{GW+VS}} - R_{w, \text{GW}} \quad (2)$$

zurück [3, 4].

Die akustische Wirkung von Vorsatzschalen beruht in erster Linie auf dem Masse-Feder Prinzip, wobei Grundwand und die Vorsatzschale als Massen und die dazwischen liegende Luft- oder Dämmschicht als Feder wirken. Der resultierende Frequenzverlauf ist in Bild 2 schematisch dargestellt:

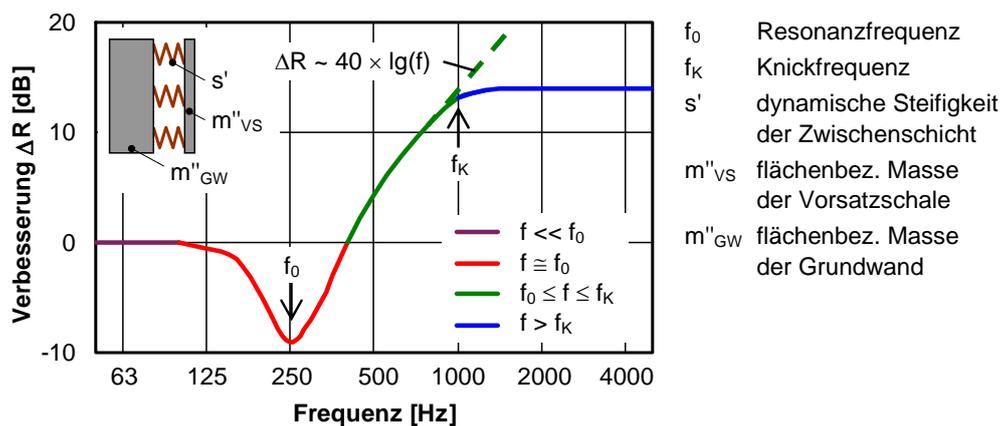


Bild 2 Verbesserung der Schalldämmung einer Massivwand durch eine Vorsatzschale in Abhängigkeit von der Frequenz (schematische Darstellung).

In Bild 2 lassen sich vier typische Frequenzbereiche unterscheiden:

- $f \ll f_0$: Weit unterhalb der Resonanz verhalten sich Vorsatzschalen - abgesehen von einem geringfügigen Zuwachs der Bauteilmasse - akustisch neutral, d. h. es gilt $\Delta R \cong 0$.
- $f \cong f_0$: Im Bereich der Resonanzfrequenz verschlechtert sich die Schalldämmung, so dass sich für die Verbesserung ein negativer Wert ergibt ($\Delta R < 0$).
- $f_0 < f < f_k$: Oberhalb der Resonanz steigt die Verbesserung theoretisch mit $40 \lg(f/f_0) = 12$ dB/Oktave an. In der Praxis fällt der Anstieg zumeist etwas schwächer aus.
- $f \geq f_k$: Bei hohen Frequenzen erfolgt eine Abflachung oder sogar eine Richtungsumkehr des Anstiegs. Die Gründe hierfür sind noch nicht vollständig geklärt.

Gemäß Bild 2 wird das Verhalten von Vorsatzschalen vor allem durch die Resonanzfrequenz f_0 und die Knickfrequenz f_k bestimmt. Je kleiner f_0 , desto besser die akustische Wirkung.

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

4.1 Konstruktionsbedingte Einflüsse auf die Schalldämmung

Die akustische Wirkung von Vorsatzschalen hängt in starkem Maße von der konstruktiven Ausführung sowie auch von den baulichen Randbedingungen ab. Die hierzu durchgeführten Untersuchungen (Analyse des vorhandenen Datenbestandes in Verbindung mit ergänzenden Messungen und Berechnungen) erbrachten folgende Ergebnisse:

- Die akustische Wirkung von Vorsatzschalen wird hauptsächlich von der Resonanzfrequenz und der Masse der Grundwand bestimmt. Je niedriger die Resonanzfrequenz und je leichter die Wand, desto größer die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w . Die Berechnung von ΔR_w kann näherungsweise nach DIN EN 12354-1, Anhang D erfolgen, wobei zur Verbesserung der Genauigkeit die überarbeitete Formel in Abschnitt 4.2 verwendet werden sollte.
- Ist zwischen Vorsatzschale und Grundwand ein Luftspalt vorhanden, so ist eine Bedämpfung des Hohlraums mit Schallabsorptionsmaterial erforderlich. Der Füllgrad sollte dabei mindestens 50 % betragen. Eine Erhöhung des Füllgrades über 50 % hinaus verbessert die Schalldämmung gemäß Bild 3 nur noch unwesentlich.
- Als Masse-Feder-Systeme reagieren Vorsatzschalen empfindlich auf Körperschallbrücken. Je mehr Verbindungen zwischen Vorsatzschale und Grundwand vorhanden sind, desto schlechter die akustische Wirkung. Einzelne Körperschallbrücken sind dabei im allgemeinen nicht kritisch. Ist die Schale allerdings über ein Ständerwerk großflächig mit der Wand verbunden, so vermindert sich ihre Wirkung um ca. 50% (siehe Bild 4).
- Die Wirkung von Vorsatzschalen hängt davon ab, ob die Schallübertragung in Längs- oder in Durchgangsrichtung der Wand erfolgt. Bei der Schall-Längsdämmung ist die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes bei gleichem Aufbau der Vorsatzschale im Mittel um den Faktor 1,37 höher als bei der Durchgangsdämmung.
- Bei zweiseitiger Anbringung von Vorsatzschalen trägt die zweite Schale nur mit einem Teil ihrer normalen Wirkung zur resultierenden Verbesserung der Schalldämmung bei. Bei der Durchgangsdämmung wurde für diesen Anteil ein Wert von ca. 50% ermittelt, was auch den Angaben in DIN EN 12354-1 entspricht (siehe Beispiel in Bild 5). Bei der Längsdämmung beträgt der Anteil demgegenüber etwa 64%.
- Um ihre akustische Wirkung zu erhöhen, werden Vorsatzschalen nicht selten mit doppelter Beplankung ausgeführt. Nach DIN EN 12354-1 wäre hierfür gegenüber einer Einzelschale eine Verbesserung von etwa 3 dB zu erwarten. Die gemessenen Werte liegen jedoch im Mittel deutlich niedriger und betragen 1,8 dB in Durchgangs- und 0,8 dB in Längsrichtung.
- Durch körperschalldämpfende Auflagen, die über eine vollflächige kraftschlüssige Verbindung mit der Vorsatzschale verfügen, lässt sich die akustische Wirkung von Vorsatzkonstruktionen merklich verbessern. Die durchgeführten Voruntersuchungen ergaben ein Verbesserungspotenzial von mindestens 3 dB.
- Im Gegensatz zum Prüfstand, wo die Schallübertragung ausschließlich über die Trennwand erfolgt, ist am Bau zusätzlich auch Flankenübertragung vorhanden. Da sich die Vorsatzschale nur auf einen Teil der Flankenwege auswirkt, ist ihre Wirkung im Vergleich zu dem im Prüfstand gemessenen Wert geringer. Für eine bauübliche Vorsatzschale wurde anhängig von der flächenbezogenen Masse der Grundwand und der Flankenbauteile gemäß Bild 6 eine Verminderung von ca. 4 bis 8 dB ermittelt.

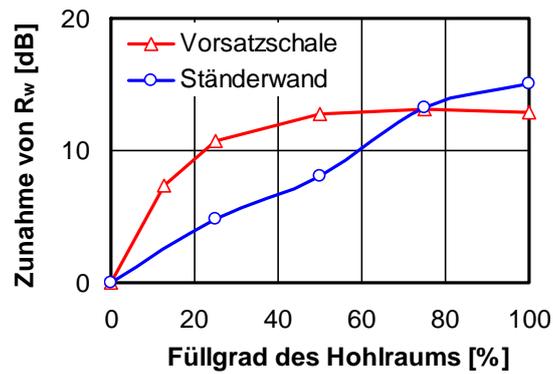


Bild 3 Zunahme des bewerteten Schalldämm-Maßes bei sukzessiver Füllung des Hohlraums mit Mineralwolle. Die Messungen erfolgten an einer Massivwand mit freistehender Vorsatzschale. Zum Vergleich sind außerdem gleichartige Messwerte für eine GKB-Metallständerwand eingezeichnet [5].

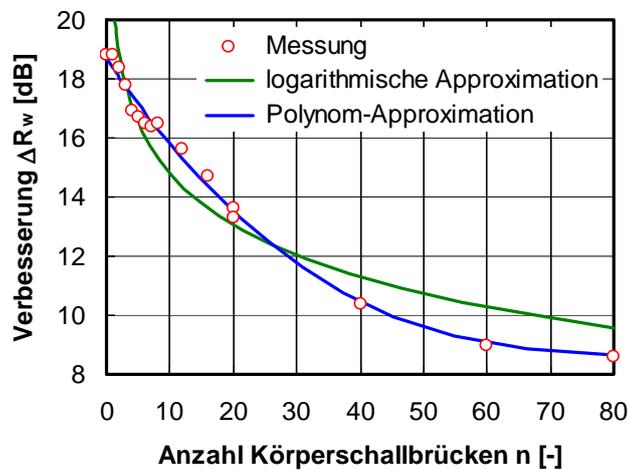


Bild 4 Verbesserung der Schalldämmung durch eine Vorsatzschale in Abhängigkeit von der Anzahl n der vorhandenen Körperschallbrücken. Die beste Übereinstimmung mit den Messwerten ergibt sich durch eine Polynom-Approximation mit der Formel $\Delta R_w = [18,7 - 0,324 n + 0,00344 n^2 - 0,000012 n^3]$ dB.

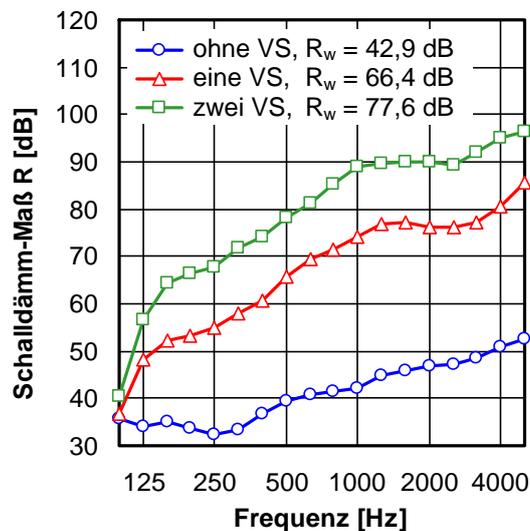


Bild 5 Schalldämmung einer KSV-Wand bei ein- und zweiseitiger Anbringung gleichartiger Vorsatzschalen. Das Verhältnis der ΔR_w -Werte mit zwei und mit einer Vorsatzschale beträgt (siehe Legende): $\Delta R_{w,2VS} / \Delta R_{w,1VS} = (77,6 - 42,9) / (66,4 - 42,9) = 1,48$.

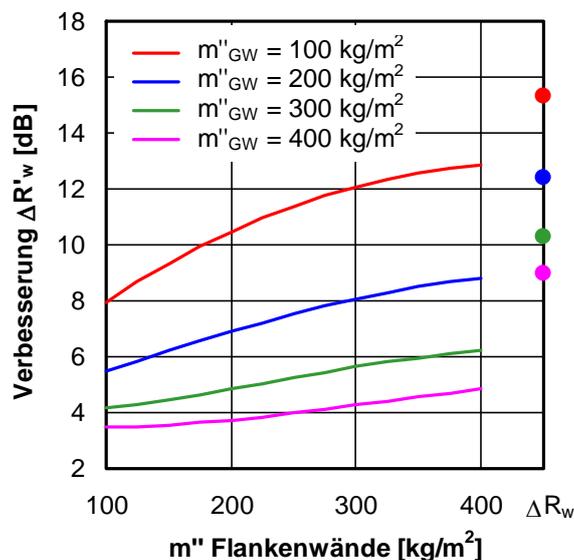


Bild 6 Verbesserung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes einer Trennwand, $\Delta R'_w$, durch eine Vorsatzschale in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse der Flankenwände. Die dargestellten Werte wurden durch eine frequenzabhängige Berechnung in Anlehnung an DIN EN 12354-1 ermittelt, wobei von einer Vorsatzschale mit einer Resonanzfrequenz von $f_0 = 80$ Hz ausgegangen wurde. Die vier gezeigten Kurven beziehen sich auf unterschiedliche Massen der Grundwand, m''_{GW} . Die Punkte am rechten Rand des Diagramms bezeichnen die Verbesserung, die sich ohne Flankenübertragung (also z. B. in einem bauakustischen Prüfstand) ergeben würde.

4.2 Entwicklung verbesserter Berechnungsverfahren

Um den Erfordernissen bei der praktischen Anwendung Rechnung zu tragen, wurde bei der Entwicklung von Berechnungswerkzeugen zweigleisig verfahren: Neben einem vereinfachten Verfahren, mit dem sich die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes bestimmen lässt, wurde außerdem ein detailliertes Verfahren für frequenzabhängige Berechnungen entwickelt.

Die Ausgangsbasis für das vereinfachte Verfahren bildete die in DIN EN 12354-1, Anhang D beschriebene Berechnungsmethode. Bei einem Abgleich mit dem vorhandenen Datenbestand zeigte sich jedoch, dass zwischen Messung und Rechnung eine systematische Abweichung bestand (berechnete Werte im Mittel fast 4 dB zu niedrig). Nachdem die Abweichung durch Überarbeitung der Formeln behoben wurde, stellt das Verfahren nun ein zuverlässiges Planungsinstrument dar. Die korrigierten Formeln lauten:

$$\text{für } f_0 \leq 30 \text{ Hz:} \quad \Delta R_w = [45 - R_{w,GW}/2] \text{ dB} \geq 0, \quad (3)$$

$$\text{für } 30 \text{ Hz} < f_0 \leq 160 \text{ Hz:} \quad \Delta R_w = [74,4 - 20 \lg(f_0) - R_{w,GW}/2] \text{ dB} \geq 0, \quad (4)$$

wobei f_0 die Resonanzfrequenz und $R_{w,GW}$ das bewertete Schalldämm-Maß der Grundwand bezeichnen. Oberhalb des angegebenen Frequenzbereichs sind die DIN EN 12354-1 angegebenen Beziehungen zu verwenden. Die Berechnungsgenauigkeit des überarbeiteten Verfahrens (Standardabweichung der zwischen Rechnung und Messung vorhandenen Differenz) bewegt sich mit etwa 2,7 dB im üblichen Rahmen.

Bei der Entwicklung des frequenzabhängigen Berechnungsverfahrens wurden unterschiedliche Berechnungsansätze miteinander kombiniert und durch Ergänzungen und Korrekturen an die vorhandenen Messdaten angeglichen. Das Verfahren ist erheblich aufwändiger als die vereinfachte Berechnungsmethode und benötigt detaillierte Angaben zu den technischen Eigenschaften der untersuchten Vorsatzkonstruktion. Andererseits ist es das bislang einzige Verfahren, mit sich der Frequenzverlauf der Schalldämmung von Vorsatzschalen mit hinlänglicher Genauigkeit vorherbestimmen lässt. Bezogen auf die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ergibt sich eine Berechnungsgenauigkeit von 2,4 dB.

Wegen der Komplexität des Verfahrens kann hier nur die Grundlage dargestellt werden, die auf einem Modell von Gösele [6] beruht, wonach sich die Verbesserung der Schalldämmung als Summe aus dem Schalldämm-Maß der Vorsatzschale R_{VS} und einem Ausdruck zur Berücksichtigung der elastischen Kopplung zwischen Vorsatzschale und Grundwand ergibt:

$$\Delta R = R_{VS} + 20 \lg \left(\frac{4 \pi f \rho_0 c_0}{s'} \right) \text{ dB} \quad (5)$$

Hierbei bezeichnen ρ_0 und c_0 die Dichte und Schallgeschwindigkeit von Luft, während s' die dynamische Steifigkeit des verbindenden Mediums darstellt.

Für die praktische Anwendung musste die angegebene Berechnungsformel in erheblichem Maße modifiziert und ergänzt werden, wobei insbesondere eine Anpassung für den Bereich oberhalb der Knickfrequenz erforderlich war. In den Bildern 7 und 8 sind ein Beispiel für die praktische Anwendung des Berechnungsverfahrens sowie die statistische Validierung des Verfahrens auf Grundlage des vorhandenen Datenbestandes dargestellt:

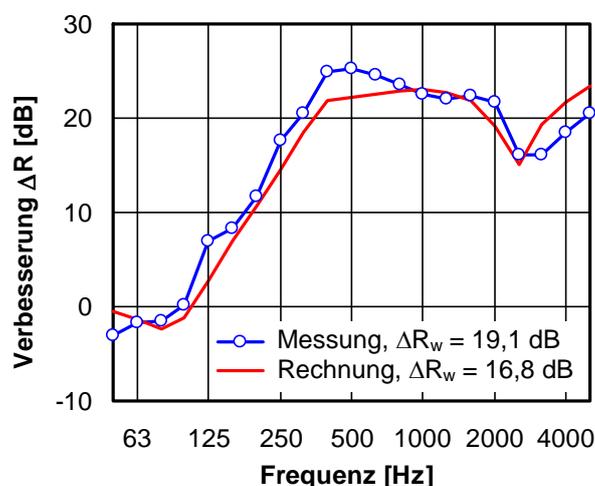


Bild 7 Typisches Beispiel für die Anwendung des frequenzabhängigen Berechnungsverfahrens (freistehende Vorsatzschale aus GKB-Platten vor einer Grundwand aus 100 mm dicken Gipsbausteinen). Bezogen auf die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes besteht zwischen Rechnung und Messung eine Abweichung von 2,3 dB.

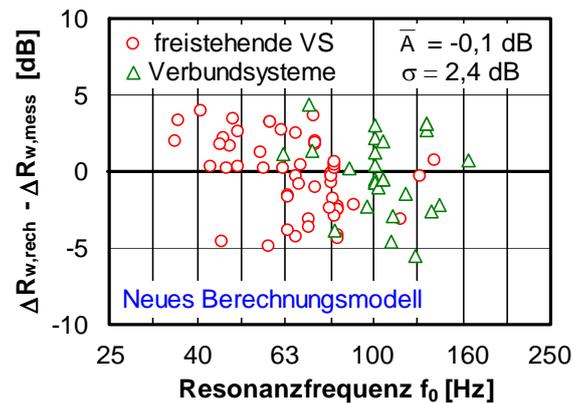


Bild 8 Validierung des frequenzabhängigen Berechnungsverfahrens auf Grundlage der in der Datenbank enthaltenen Messergebnisse. Der dargestellte Datensatz umfasste insgesamt etwa 85 verschiedene Vorsatzschalen, die zum Teil an unterschiedlichen Grundwänden angebracht waren. Sämtliche Ergebnisse beziehen sich auf die Verbesserung der Durchgangsdämmung.

5 Resümee

Trotz umfangreicher Untersuchungen konnte das durchgeführte Forschungsvorhaben nicht alle offenen Fragen zu den akustischen Eigenschaften von Vorsatzkonstruktionen beantworten. So bleibt etwa die Wechselwirkung zwischen Vorsatzschale und Grundwand weiterhin teilweise ungeklärt. Andererseits wurde der vorhandene Kenntnisstand erheblich erweitert, insbesondere was den Zusammenhang zwischen den technischen Eigenschaften und der Schalldämmung von Vorsatzkonstruktionen betrifft. Die auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse erarbeiteten Planungshinweise stellen ein nützliches Hilfsmittel bei Auslegung und Optimierung von Vorsatzkonstruktionen in der Praxis dar. Des weiteren tragen auch die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelten Berechnungswerkzeuge maßgeblich zur Erhöhung der Planungssicherheit und zur Vermeidung von Schallschutzmängeln bei.

6 Literatur

- [1] Weber, L.; Brandstetter, D.: Einheitliche schalltechnische Bemessung von Wärmedämm-Verbundsystemen. IBP-Bericht B-BA 6/2002 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) und des Fachverbandes Wärmedämm-Verbundsysteme e. V. (2003).
- [2] Weber, L.: Einheitliche schalltechnische Bemessung von Wärmedämm-Verbundsystemen - Ergänzung des Berechnungsverfahrens. IBP-Bericht B-BA 4/2005 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) (2005).
- [3] DIN EN 12354-1: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. Dezember 2000.
- [4] DIN EN ISO 140-16: Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 16: Messung der Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch zusätzliche Vorsatzschalen im Prüfstand. November 2006.
- [5] Royar, J.: Randvoll bringt noch was. Trockenbau Akustik 1/2003, S. 40 - 42 (2003).
- [6] Gösele, K.: Zur Berechnung der Luftschalldämmung von doppelschaligen Bauteilen. Acustica 45, S. 218 - 227 (1980).