

MERKBLATT  
WDV-SYSTEME  
ZUM THEMA  
SCHALLSCHUTZ  
TECHNISCHE SYSTEMINFO



# Impressum:

**Herausgeber:**

Fachverband  
Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.  
Fremersbergstraße 33  
76530 Baden-Baden

**Autor:**

Herr Dr. Lutz Weber

**Schlussredaktion/Satz/Produktion:**

DeSignInc.  
Karl-Bold-Straße 4  
77855 Achern

1. Überarbeitete Auflage, Januar 2013

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Akustische Grundlagen</b>	<b>5</b>
	2.1 Schalltechnische Grundbegriffe	5
	2.2 Schallwahrnehmung	6
	2.3 Geräuschbelastung durch Außenlärm	7
	2.4 Schalldämmung von Bauteilen	8
	2.5 Bewertetes Schalldämm-Maß	10
	2.6 Spektrum-Anpassungswerte	10
	2.7 Resultierende Schalldämmung zusammengesetzter Bauteile	12
<b>3</b>	<b>Schallschutzanforderungen an Außenbauteile</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>Rechnerischer Schallschutznachweis nach DIN 4109</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Schalldämmung von WDVS</b>	<b>17</b>
	5.1 Aufbau und Klassifizierung von WDVS	17
	5.2 Akustisches Wirkungsprinzip	18
	5.3 Verbesserung der Schalldämmung durch WDVS	20
	5.4 Einfluss der Resonanzfrequenz	21
	5.5 Einfluss der Trägerwand	22
	5.6 Weitere Einflussgrößen	23
<b>6</b>	<b>Prognoseverfahren zur Bestimmung von <math>\Delta R_w</math></b>	<b>24</b>
	6.1 Grundprinzip	24
	6.2 Resonanzfrequenz $f_R$	25
	6.3 Schalldämm-Maß der Trägerwand ohne WDVS $R_{w,o}$	25
	6.4 Verbesserung unter Standardbedingungen $\Delta R_{w,s}$	27
	6.5 Korrektur für Dübel $K_D$	28
	6.6 Korrektur für die Klebefläche $K_K$	28
	6.7 Korrektur für die Trägerwand $K_T$	28
	6.8 Korrektur für den Strömungswiderstand bei Mineralfaser $K_S$	29
	6.9 Berechnungsgenauigkeit	30
<b>7</b>	<b>Prognoseverfahren zur Bestimmung von <math>\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})</math></b>	<b>31</b>
	7.1 Grundprinzip	31
	7.2 Verbesserung unter Standardbedingungen $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s$	32
	7.3 Korrektur für die Klebefläche $K'_K$	33
	7.4 Korrektur für die Trägerwand $K'_T$	33
	7.5 Korrektur für den Strömungswiderstand bei Mineralfaser $K'_S$	34
	7.6 $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$ für verdübelte Systeme	34
<b>8</b>	<b>Vergleich von <math>\Delta R_w</math> und <math>\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})</math></b>	<b>35</b>
<b>9</b>	<b>Außenwände mit Fenstern</b>	<b>37</b>
<b>10</b>	<b>Typische akustische Kenngrößen von WDVS</b>	<b>38</b>
<b>11</b>	<b>Schall-Längsleitung und Sonderkonstruktionen</b>	<b>39</b>
<b>12</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>40</b>
<b>13</b>	<b>Literatur</b>	<b>41</b>
<b>A</b>	<b>Zum Autor</b>	<b>42</b>

# 1

## Einleitung

Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) stellen eine wirkungsvolle und häufig unverzichtbare Lösung dar, um die Energieeffizienz von Bauten zu erhöhen und die gesetzlichen Anforderungen an die thermische Isolation der Gebäudehülle zu erfüllen. Sie liefern einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen energiesparenden Bauweise und schonen damit Klima und Umwelt.

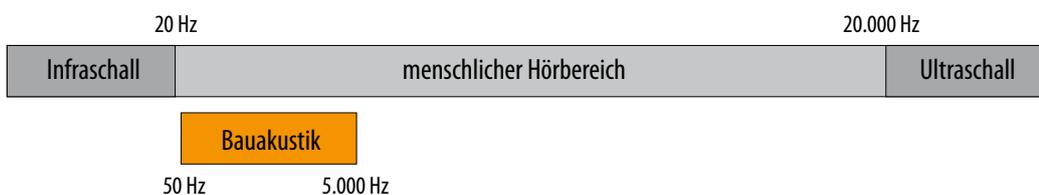
Neben der Verbesserung der Wärmedämmung beeinflussen WDVS jedoch außerdem die Schalldämmung der Gebäudehülle. Da hierbei abhängig von Art und Ausführung des Systems sowohl eine Verbesserung als auch eine Verschlechterung der Schalldämmung eintreten kann, müssen WDVS beim baulichen Schallschutznachweis berücksichtigt werden.

Die vorliegende Informationsschrift erläutert, wie der Schallschutznachweis bei Außenwänden mit WDVS erfolgt und wie sich die Schalldämmung des Systems aus den technischen Bauteildaten vorherberechnen lässt. Des Weiteren werden die wichtigsten akustischen Problemstellen aufgezeigt und anhand von Planungs- und Ausführungshinweisen erläutert, worauf es bei WDVS im Hinblick auf den Schallschutz besonders ankommt. Da alle maßgebenden akustischen Informationen enthalten sind, kann der Text sowohl als Planungsleitfaden als auch Nachschlagewerk genutzt werden.



## 2.1 Schalltechnische Grundbegriffe

Unter Schall versteht man periodische Schwankungen des Drucks, die sich wellenförmig in Luft ausbreiten. Die Schallgeschwindigkeit ist temperaturabhängig und beträgt in normalen Bauten (Lufttemperatur ca. 20 °C) etwa 343 m/s. Die beiden wichtigsten Größen zur Kennzeichnung von Schallsignalen sind die Frequenz  $f$  (Anzahl der Schwingungen je Sekunde, Einheit Hz) und der Schalldruck  $p$ . Das menschliche Gehör kann Schall im Frequenzbereich von etwa 20 - 20.000 Hz wahrnehmen, in der Bauakustik beschränkt man sich jedoch aus praktischen Gründen auf den Bereich von 50 - 5.000 Hz (siehe **Bild 2.1/1**).



**Bild 2.1/1:** Menschlicher Hörbereich im Vergleich zu dem in der Bauakustik verwendeten Frequenzbereich. Der Grund für die Vernachlässigung der tiefen Frequenzen besteht in der hohen Messunsicherheit unterhalb von 50 Hz. Die Frequenzen über 5.000 Hz spielen in der Bauakustik keine Rolle, da die Schalldämmung üblicher Bauteile in diesem Frequenzbereich so hoch ist, dass fast keine Schallübertragung erfolgt.

Der bauakustisch bedeutsame Bereich des Schalldrucks reicht von  $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$  (menschliche Hörschwelle) bis etwa  $20 \text{ N/m}^2$  (Schmerzgrenze) und umfasst somit sechs Dekaden. Da dieser Wertebereich schwer zu handhaben ist und keinen Bezug zur physiologischen Lautstärkeskala aufweist, verwendet man in der Akustik statt des Schalldrucks  $p$  den Schalldruckpegel  $L$ , der gemäß

$$L = 20 \lg (p/p_0) \text{ dB} \quad (2.1/1)$$

gebildet und auf den Schalldruck an der Hörschwelle,  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ , bezogen wird. Durch die logarithmische Darstellung reduziert sich der Wertebereich des Schalldrucks auf einen Pegelbereich von  $L = 0 - 120 \text{ dB}$ , der näherungsweise mit der menschlichen Lautstärkewahrnehmung korreliert.

Im Gegensatz zu (monofrequenten) Tönen bestehen bauübliche Geräusche aus einem Frequenzgemisch. Sie werden daher durch Frequenzspektren beschrieben, für die üblicherweise eine Darstellung in Terzen verwendet wird. Der bauakustische Frequenzbereich von 50 - 5.000 Hz wird hierbei in 21 Terzbänder unterteilt (je drei Terzen entsprechen einer Oktave). Für die Lautstärke ist der Gesamtschallpegel  $L_{\text{ges}}$  maßgebend, der sich durch energetische Addition der einzelnen Terzpegel  $L_n$  ergibt:

$$L_{\text{ges}} = 10 \lg \left( \sum_{n=1}^{21} 10^{L_n/10} \right) \text{ dB} \quad (2.1/2)$$

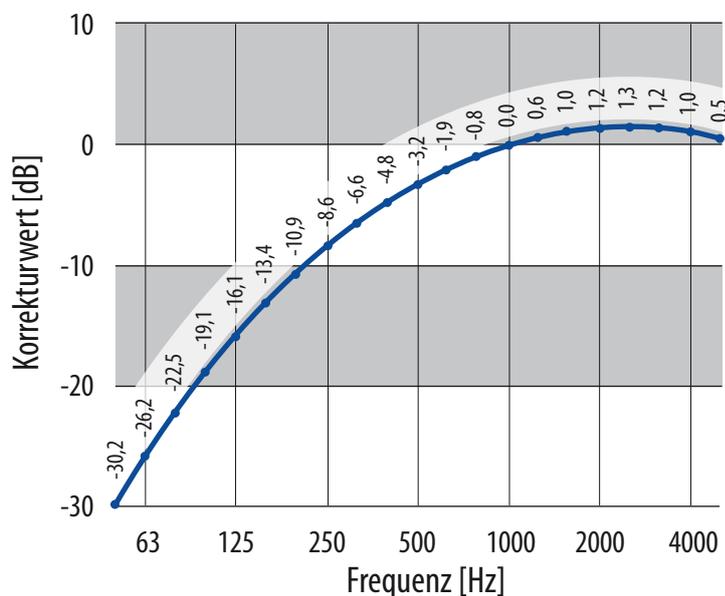
In gleicher Weise wie in obiger Gleichung erfolgt auch die Überlagerung unterschiedlicher Geräusche, wobei statt der Terzpegel die Gesamtpegel addiert werden. Bei zwei gleichen Pegeln mit einem Betrag von jeweils 0 dB ergibt dies den ungewohnten aber korrekten Ausdruck

$$0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = 3 \text{ dB} \quad (2.1/3)$$

den man scherzhaft auch als "kleines Einmaleins der Akustik" bezeichnet. Verallgemeinert bedeutet dies, dass sich der Gesamtpegel bei Überlagerung von zwei gleich lauten Geräuschen um 3 dB erhöht.

## 2.2 Schallwahrnehmung

Die menschliche Geräuschwahrnehmung - insbesondere die Lautstärkeempfindung - ist ein komplizierter psychoakustischer Vorgang, der von zahlreichen unterschiedlichen Faktoren abhängt [2.2/1]. Im technischen Schallschutz und der Bauakustik wird zur Beschreibung der Lautstärke daher näherungsweise der A-bewertete Gesamtschallpegel (zumeist kurz A-Schallpegel genannt) verwendet. Die in **Bild 2.2/1** aufgetragene Bewertungskurve A bezeichnet hierbei die Frequenzempfindlichkeit des menschlichen Gehörs:



**Bild 2.2/1:** Frequenzbewertung A zur Nachbildung der Frequenzempfindlichkeit des menschlichen Gehörs.

Um akustische Mess-Signale an die menschliche Hörcharakteristik anzupassen, sind zu den gemessenen Pegeln terzweise die obigen Korrekturen zu addieren, wodurch eine Absenkung der Schallanteile bei tiefen Frequenzen erfolgt (bei 100 Hz beispielsweise um 19,1 dB). Zur Kennzeichnung von A-Schallpegeln wird an die Einheit dB in Klammern der Buchstabe A angehängt (dB(A) statt dB).

Um die Wirkung baulicher Schallschutzmaßnahmen angemessen zu beurteilen, ist es erforderlich, die Wahrnehmung von Pegeländerungen durch das menschliche Gehör in die Betrachtung einzubeziehen. Bei genügend hohen Schallpegeln (oberhalb von etwa 40 dB(A)) gelten hierbei näherungsweise folgende Zusammenhänge:

Pegeländerung	menschliche Wahrnehmung
$\Delta L = 1 \text{ dB(A)}$	Wahrnehmungsschwelle für Lautstärkeänderungen
$\Delta L = 3 \text{ dB(A)}$	deutlich wahrnehmbare Änderung der Lautstärke
$\Delta L = 10 \text{ dB(A)}$	Verdoppelung/Halbierung der wahrgenommenen Lautstärke

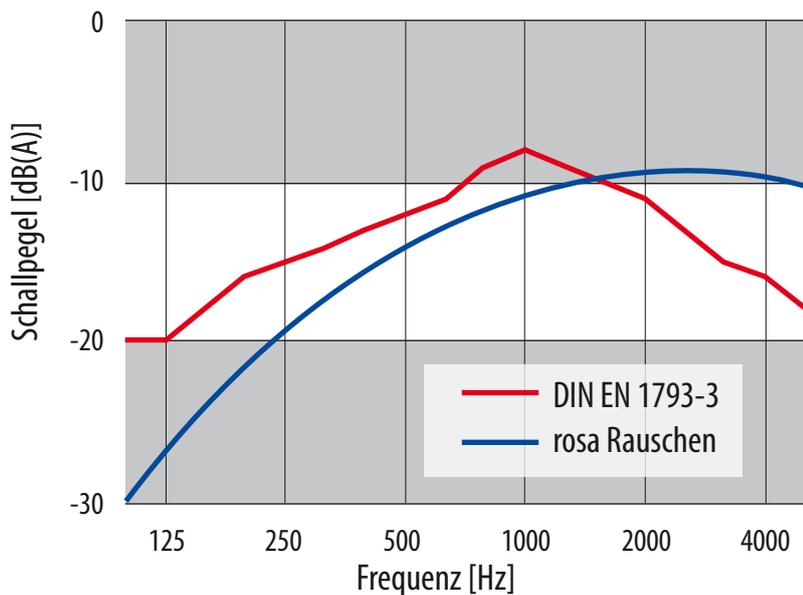
**Tab. 2.2/1** Wahrnehmung von Änderungen (Zu- oder Abnahme) des Schallpegels durch das menschliche Gehör. Die Angaben gelten für Pegel oberhalb von etwa 40 dB(A).

Mit abnehmender Lautstärke reagiert das menschliche Gehör empfindlicher auf Änderungen des Schallpegels, so dass bei einem Pegel von  $L = 20 \text{ dB(A)}$  bereits eine Zunahme von  $\Delta L = \text{ca. } 5 \text{ dB(A)}$  als Verdoppelung der Lautstärke wahrgenommen wird.

### 2.3 Geräuschbelastung durch Außenlärm

Da WDVS an Außenwänden angebracht werden, handelt es sich bei der einwirkenden Geräuschen normalerweise stets um Außenlärm. Außenlärm kann sich aus verschiedenen Arten von Geräuschen wie z. B. Industrielärm, Nachbarschaftslärm, Sportlärm und Verkehrslärm zusammensetzen, wobei der maßgebende Geräuschanteil fast immer aus Verkehrslärm besteht. Bei Verkehrslärm spielt im Allgemeinen der Straßenverkehr im Vergleich zu Luft- und Schienenverkehr die dominierende Rolle, weshalb man sich beim Schallschutz von Außenbauteilen im Allgemeinen auf die Geräusche des Straßenverkehrs konzentriert.

Die wesentliche Unterschied zwischen Straßenverkehrslärm und wohnüblichen Innengeräuschen besteht in den verschiedenartigen Frequenzspektren: Bei Verkehrsgeräuschen sind die tieffrequenten Geräuschanteile im Verhältnis erheblich stärker ausgeprägt. Dies ist in **Bild 2.3/1** anhand des standardisierten Verkehrslärmspektrum für Straßenverkehr nach DIN EN 1793-3 [2.3/1]. veranschaulicht.



**Bild 2.3/1:** Standardisiertes Verkehrslärmspektrum für Straßenverkehrsgeräusche nach DIN EN 1793-3 in Abhängigkeit von der Frequenz. Zum Vergleich ist außerdem so genanntes rosa Rauschen (als Näherung für wohnübliche Innengeräusche) eingezeichnet. Um einen direkten Vergleich zu ermöglichen wurden beide Spektren auf den gleichen Gesamtpegel von ca. 0 dB(A) normiert.

Als Konsequenz aus den starken Geräuschanteilen von Verkehrslärm bei tiefen Frequenzen, sollten Außenbauteile in diesem Frequenzbereich eine genügend hohe Schalldämmung aufweisen. Dies wird bei der Planung zumeist nicht ausreichend berücksichtigt und führt dann trotz Einhaltung der gesetzlichen Schallschutzanforderungen zu akustischen Defiziten, die sich in Störungen und Beeinträchtigungen der betroffenen Bewohner äußern.

## 2.4 Schalldämmung von Bauteilen

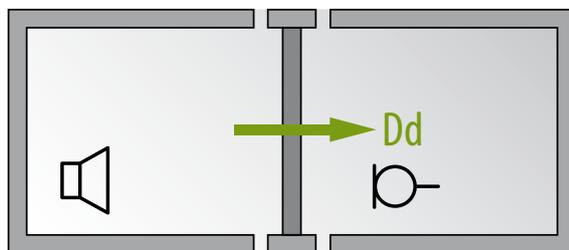
Die Schallschutzwirkung von Bauteilen gegenüber Luftschallanregung wird durch ihr Schalldämm-Maß  $R$  gekennzeichnet, das als logarithmisches Verhältnis zwischen auftretender und durchgelassener Schall-Leistung,  $P_1$  und  $P_2$ , definiert ist:

$$R = 10 \lg \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \text{dB}$$

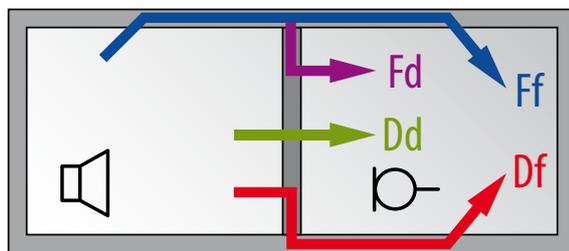
(2.4/1)

Ein Bauteil mit einem Schalldämm-Maß von  $R = 30$  dB vermindert die Schall-Leistung beispielsweise um den Faktor 1000. Dies klingt zwar eindrucksvoll, wird vom menschlichen Gehör aber als lediglich Verringerung der Lautstärke um etwa den Faktor 8 wahrgenommen.

Bei Messungen in bauakustischen Prüfständen erfolgt die Schallübertragung wie unten dargestellt ausschließlich über das trennende Bauteil. Am Bau sind dagegen weitere Übertragungswege in Form flankierender Bauteile (Decken, Böden und Wände) vorhanden. Man spricht in diesem Fall vom so genannten Bau-Schalldämm-Maß  $R'$ , wobei der Apostroph hinter dem Buchstaben  $R$  zur Kennzeichnung der Flankenübertragung dient.



Schalldämm-  
Maß  $R$

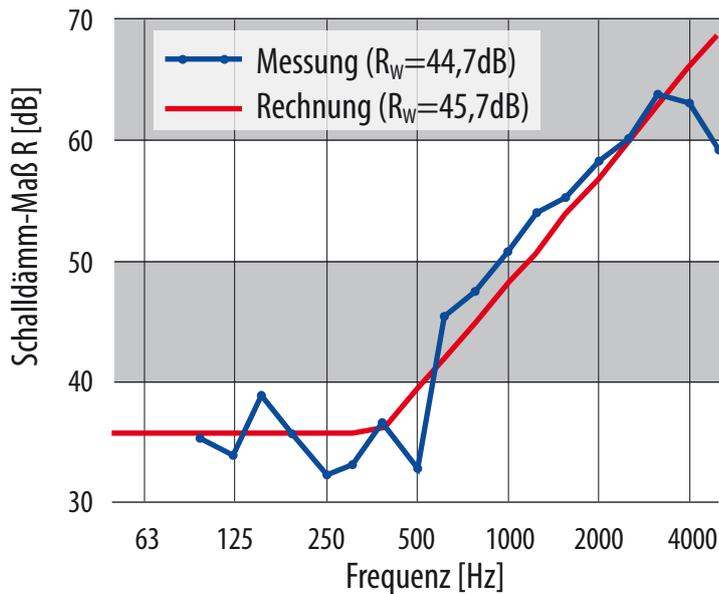


Bau-Schalldämm-  
Maß  $R'$

**Bild 2.4/1** Schalldämm-Maß einer Trennwand ohne und mit Flankenübertragung,  $R$  und  $R'$ . Im Prüfstand (oben) erfolgt die Schallübertragung ausschließlich über die Trennwand (Übertragungsweg  $Dd$ ). Am Bau (unten) sind hingegen zusätzlich 12 Flankenwege (je 4 Wege  $Ff$ ,  $Fd$  und  $Df$ ) vorhanden.

Da  $R'$  stets kleiner ist als  $R$ , beziehen sich die baulichen Schallschutzanforderungen stets auf das Bau-Schalldämm-Maß  $R'$ . Außenbauteile stellen dabei insofern einen Sonderfall dar, als hier im Gegensatz zu Innenbauteilen nur vier Flankenwege, nämlich die Wege  $Df$ , vorhanden sind. Die Wege  $Fd$  und insbesondere die maßgebenden Flankenwege  $Ff$  entfallen. Man kann daher bei Außenbauteilen zumeist mit hinreichender Genauigkeit von  $R' \cong R$  ausgehen, was den erforderlichen Berechnungsaufwand erheblich vermindert.

Die Schalldämmung ist eine frequenzabhängige Größe und steigt mit zunehmender Frequenz an. Der Anstieg erfolgt allerdings nicht gleichmäßig, sondern weist infolge unterschiedlicher akustischer Einflüsse, wie z. B. Koinzidenzeffekt und Bauteilresonanzen, mehr oder weniger ausgeprägte Strukturen (Minima und Maxima) auf. Für einschalige homogene Massivwände lässt sich der Frequenzverlauf der Schalldämmung jedoch mit einer für die Praxis meist hinreichenden Genauigkeit durch eine vereinfachte Beziehung darstellen. Hierbei wird die Schalldämmkurve bei tiefen Frequenzen durch eine ebenes Plateau nachgebildet, an das sich bei hohen Frequenzen ein (in logarithmischer Darstellung) linearer Anstieg anschließt [2.4/1, 2.4/2]. Ein Beispiel für eine derartige Näherung ist im nachfolgenden Bild dargestellt. Die Näherung wird im Folgenden noch mehrfach herangezogen, um den Einfluss von WDVS auf die Schalldämmung von Massivwänden zu veranschaulichen.

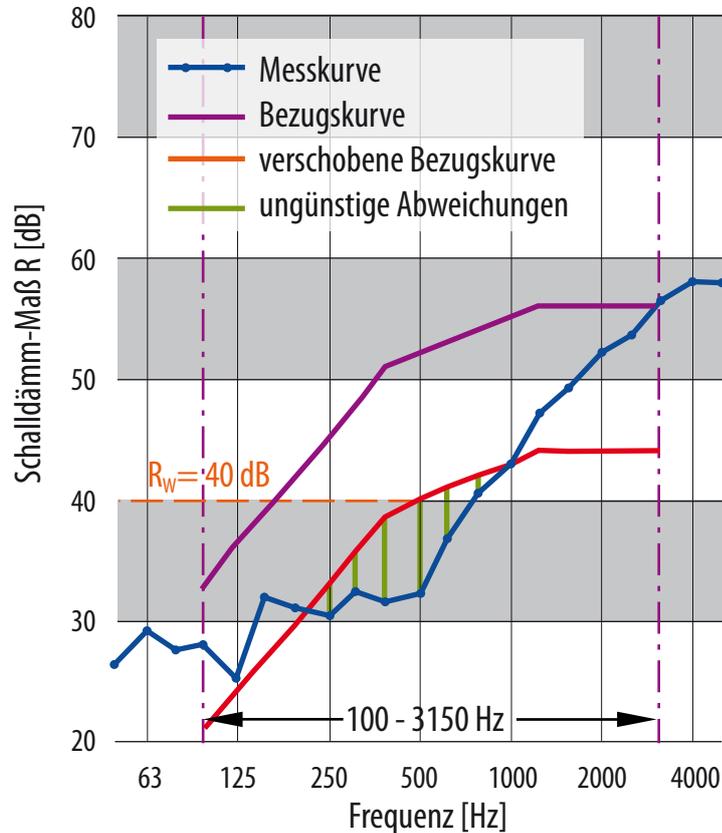


**Bild 2.4/2** Vereinfachte Darstellung der Schalldämmkurve einer einschaligen Wand mit einer flächenbezogene Masse von  $m'' \cong 130 \text{ kg/m}^2$  im Vergleich zu einer Prüfstandsmessung.



## 2.5 Bewertetes Schalldämm-Maß

Während die Messung der Schalldämmung frequenzabhängig (zumeist in Terzen) erfolgt, werden für die schalltechnische Planung und den Vergleich mit den Schallschutzanforderungen in der Regel Einzahlangaben verwendet. Die zentrale Einzahlangabe für die Luftschalldämmung von Bauteilen ist das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$ . Die Berechnung von  $R_w$  erfolgt gemäß DIN EN ISO 717-1 [2.5/1] durch Vergleich der Messkurve mit einer genormten Bezugskurve. Das verwendete Verfahren ist im nachfolgenden Bild veranschaulicht:



**Bild 2.5/1** Beispiel für die Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes  $R_w$ . Die Berechnung erfolgt durch vertikale Verschiebung der Bezugskurve in ganzzahligen Schritten. Die Verschiebung wird so lange fortgesetzt, bis die Summe der ungünstigen Abweichungen so groß wie möglich wird, aber nicht mehr als 32,0 dB beträgt (eine ungünstigste Abweichung liegt vor, wenn der Messwert unter der Bezugskurve liegt). Das bewertete Schalldämm-Maß entspricht dem Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz (im dargestellten Beispiel ergibt sich  $R_w = 40$  dB).

Da das bewertete Schalldämm-Maß laut Norm als ganzzahliger Wert gebildet wird und dies eine Unsicherheit von  $\pm 0,5$  dB nach sich zieht, wird  $R_w$  zuweilen auch mit einer Genauigkeit von 0,1 dB angegeben, indem die Bezugskurve in Schritten von 0,1 anstatt 1 dB verschoben wird.

## 2.6 Spektrum-Anpassungswerte

Das Verfahren zur Bestimmung des bewerteten Schalldämm-Maßes stammt aus dem Jahr 1960. Da damals noch keine elektronischen Rechner zur Verfügung standen, wurde es im Hinblick auf geringen Berechnungsaufwand konzipiert. Die damit verbundenen Vereinfachungen verursachen jedoch bei der praktischen Anwendung erhebliche Probleme:

- Das bewertete Schalldämm-Maß ist auf den Schallschutz bei wohnüblichen Geräuschen ausgerichtet. Bei Außenbauteilen, die Verkehrslärm ausgesetzt sind, liefert es keine adäquate Beschreibung der Schallschutzwirkung und korreliert nicht mit dem menschlichen Höreindruck.
- Der Frequenzbereich unterhalb von 100 Hz, der für den baulichen Schallschutz in der Praxis eine wichtige Rolle spielt, wird bei der Bewertung ausgespart.
- Einbrüche in der Schalldämmkurve, wie sie z. B. durch Bauteilresonanzen entstehen, werden nur unzureichend erfasst.

Um die angesprochenen Probleme zu beheben, wurden in DIN EN ISO 717-1 im Jahr 1997 die beiden Spektrum-Anpassungswerte  $C$  (für Wohnaktivitäten) und  $C_{tr}$  (für Verkehrslärm) eingeführt. Die Werte sind so definiert, dass die Summe aus bewertetem Schalldämm-Maß und Spektrum-Anpassungswert (also z. B.  $R_w + C_{tr}$ ) unmittelbar der menschlichen Geräuschwahrnehmung entspricht.

Da die Spektrum-Anpassungswerte aus dem gemessenen Schalldämm-Maß berechnet werden, sind keine zusätzlichen Messungen erforderlich. Die verwendete Berechnungsformel (am Beispiel von  $C_{tr}$ ) lautet:

$$C_{tr} = -10 \lg \left( \sum_n 10^{(L_n - R_n)/10} \right) \text{dB} - R_w \quad (2.6/1)$$

Summiert wird hierbei über die verschiedenen Terzen, wobei  $R_n$  und  $L_n$  die Terzwerte des Schalldämm-Maßes und des zugrunde gelegten Anregungsspektrums bezeichnen. Die Anregungsspektren für  $C$  und  $C_{tr}$  sind in DIN EN ISO 717-1 definiert und entsprechen im Wesentlichen (abgesehen vom erweiterten Frequenzbereich bis hinab zu 50 Hz) den in **Bild 2.3/1** dargestellten Kurven.

Neben dem Frequenzbereich von 100 - 3150 Hz können die Spektrum-Anpassungswerte - sofern entsprechende Messwerte für die Schalldämmung vorliegen - optional auch für die Bereiche von 100 - 5000 Hz, 50 - 3150 Hz und 50 - 5000 Hz ermittelt werden. In diesen Fällen werden die Werte mit einem entsprechenden Index (also z. B.  $C_{tr,50-5000}$ ) gekennzeichnet. Ist kein Index vorhanden, so ist immer der Bereich von 100 - 3150 Hz gemeint. Da die Vielzahl unterschiedlicher Angaben (zwei verschiedene Spektrum-Anpassungswerte mit jeweils vier verschiedenen Frequenzbereichen) bei der praktischen Anwendung häufig zu Unklarheiten führt, hier in kurzer Form die wichtigsten Anwendungsregeln **[2.6/1]**:

- Für die Wahrnehmung der Schallschutzwirkung durch das menschliche Gehör ist die Summe aus bewertetem Schalldämm-Maß und Spektrum-Anpassungswert maßgebend. Spektrum-Anpassungswerte allein haben keine direkte Aussagekraft.
- Der betrachtete Frequenzbereich sollte in jedem Fall die bauakustisch bedeutsamen Frequenzen von 50 - 100 Hz einbeziehen. Ob die obere Bereichsgrenze bei 3150 oder 5000 Hz liegt, hat demgegenüber nur geringen Einfluss auf das Ergebnis.
- Die Wahl des geeigneten Spektrum-Anpassungswertes hängt von der Art der einwirkenden Geräusche ab (siehe Hinweise in DIN EN ISO 717-1). Als Faustregel ist bei Wohngeräuschen der Wert  $C$  und bei Verkehrslärm (also bei Außenbauteilen) der Wert  $C_{tr}$  heranzuziehen.

Bei Wänden mit WDVS stellt in der Regel  $R_w + C_{tr,50-5000}$  die am besten geeignete Beurteilungsgröße dar, da sie dem menschlichen Höreindruck am nächsten kommt. Für  $R_w + C_{tr,50-5000}$  ergeben sich hierbei fast immer kleinere Werte als für  $R_w$ , was für Wände mit und ohne WDVS gleichermaßen zutrifft. Bei Außenwänden mit WDVS ist der Unterschied im Allgemeinen um so größer, je niedriger die Resonanzfrequenz des WDVS liegt. Weitere Angaben hierzu sind Abschnitt 8 zu entnehmen.

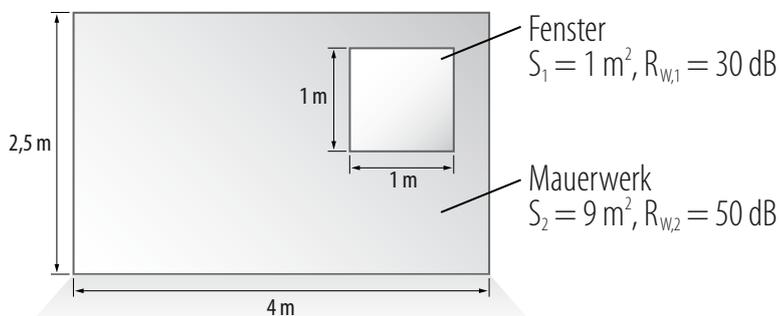
Trotz ihrer großen akustischen Bedeutung sind die Spektrum-Anpassungswerte in den gesetzlichen Anforderungen für den baulichen Schallschutz bislang nicht berücksichtigt. Auch bei der derzeitigen Überarbeitung von DIN 4109 im Normungsausschuss NABau ist in dieser Hinsicht keine Änderung geplant. Rechtlich gesehen ist eine Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte also nicht zwingend erforderlich. Im Folgenden wird dennoch neben  $R_w$  zusätzlich auch  $R_w + C_{tr,50-5000}$  betrachtet, da nur auf diese Weise eine gehörige Beurteilung der Schallschutzwirkung von Außenbauteilen gewährleistet ist.

## 2.7 Resultierende Schalldämmung zusammengesetzter Bauteile

Außenwände sind meist keine homogenen Gebilde, sondern enthalten Elemente mit abweichender Schalldämmung, wie z. B. Fenster, Rollädenkästen oder Lüftungseinrichtungen. Der Schalldurchgang durch eine solche aus mehreren Elementen zusammengesetzte Wand wird durch das resultierende Schalldämm-Maß aller Teilflächen beschrieben:

$$R_{\text{res}} = -10 \lg \left( \frac{1}{S_{\text{ges}}} \sum_{n=1}^m S_n 10^{-R_n/10 \text{ dB}} \right) \text{dB} \quad (2.7/1)$$

Hierbei bezeichnen  $S_n$  und  $R_n$  die Fläche und das Schalldämm-Maß des n-ten Elements, während  $S_{\text{ges}} = S_1 + S_2 + \dots + S_m$  die Gesamtfläche der Wand beschreibt. Die obige Gleichung gilt streng genommen nur für Terzwerte, kann aber näherungsweise auch auf das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  angewandt werden. Ein Beispiel hierfür ist im nachfolgenden Bild dargestellt:



$$\begin{aligned} R_{w, \text{res}} &= -10 \lg \left( \frac{1}{S_1 + S_2} \left[ S_1 10^{-R_{w,1}/10 \text{ dB}} + S_2 10^{-R_{w,2}/10 \text{ dB}} \right] \right) \text{dB} \\ &= -10 \lg \left( \frac{1}{1 \text{ m}^2 + 9 \text{ m}^2} \left[ 1 \text{ m}^2 10^{-30 \text{ dB}/10 \text{ dB}} + 9 \text{ m}^2 10^{-50 \text{ dB}/10 \text{ dB}} \right] \right) \text{dB} \\ &= 39,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

**Bild 2.7/1** Beispiel für die Berechnung des resultierenden Schalldämm-Maßes  $R_{w, \text{res}}$  einer Außenwand mit Fenster.

Wie aus dem Beispiel zu ersehen ist, wird das resultierende Schalldämm-Maß von dem Element mit der niedrigsten Schalldämmung bestimmt. Selbst wenn man die Schalldämmung des Mauerwerks beliebig erhöhen würde, wäre in dem oben betrachteten Fall maximal  $R_{w, \text{res}} = 40,0 \text{ dB}$  erreichbar. Auf den Einfluss von Fenstern auf die Schalldämmung von Außenwänden wird in Abschnitt 9 noch genauer eingegangen.



# 3

## Schallschutzanforderungen an Außenbauteile

Das maßgebende Regelwerk für den baulichen Schallschutz in Deutschland ist DIN 4109 [3/1]. Die Norm enthält Mindestanforderungen an die Luft- und Trittschalldämmung mit dem Ziel, „...Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragung zu schützen.“ Da DIN 4109 in den meisten Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt ist, sind die Anforderungen in Deutschland rechtlich verbindlich.

Die Schallschutzanforderungen für Außenbauteile beziehen sich auf das resultierende Schalldämm-Maß der Außenwand,  $R'_{w,res}$  einschließlich aller darin enthaltenen Elemente, wie z. B. Fenster und Rolladenkästen. Die Anforderungen hängen zum einen von der Nutzung des schutzbedürftigen Raums (Wohn- oder Arbeitsraum) und zum anderen von der Höhe des einwirkenden Außenlärmpegels ab. Die Anforderungen für Wohn- und Arbeitsräume lauten:

$L_{mA}$ [dB (A)]	erforderliches Schalldämm-Maß $R'_{w,res}$ [dB]	
	Wohnräume	Arbeitsräume
≤ 55	30	–
56 - 60	30	30
61 - 65	35	30
66 - 70	40	35
71 - 75	45	40
76 - 80	50	45
> 80	1)	50

<sup>1)</sup> Festlegung der Anforderungen aufgrund der örtlichen Begebenheiten

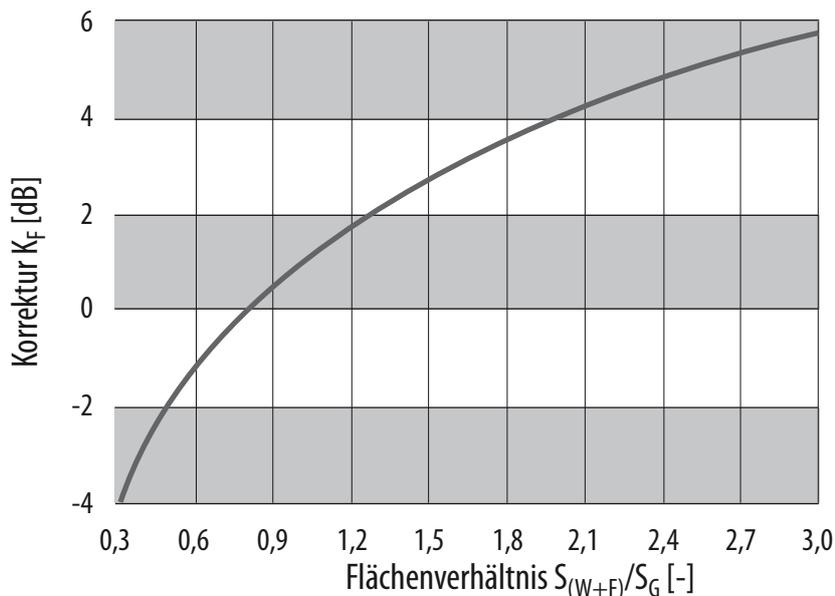
**Tab. 3.1:** Schallschutzanforderungen an Außenbauteile nach DIN 4109, Tab. 8. Die Abkürzung  $L_{mA}$  bezeichnet den maßgeblichen Außenlärmpegel, der von außen auf den betrachteten Raum einwirkt.

Da bei Räumen mit kleiner Außenfläche weniger Schall in den dahinter liegenden Raum übertragen wird, ist zu den Anforderungswerten aus obiger Tabelle eine Korrektur  $K_F$  zu addieren, die sich aus der Fläche der Außenwand  $S_{(W+F)}$  im Verhältnis zur Grundfläche  $S_G$  des Raums ergibt (die Bezeichnung  $S_{(W+F)}$  stammt aus DIN 4109 und soll darauf hinweisen, dass die Gesamtfläche der Außenbauteile - also Wandfläche zuzüglich Fensterfläche - heranzuziehen ist). Die Korrektur  $K_F$  lässt sich nach folgender Gleichung berechnen:

$$K_F = \left[ 10 \lg \left( \frac{S_{(W+F)}}{S_G} \right) + 1 \right] \text{dB}$$

(3/1)

Die Gleichung ist im nachfolgenden Diagramm veranschaulicht:



**Bild 3/1** Korrektur  $K_F$  in Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen Außenwandfläche  $S_{(W+F)}$  und Grundfläche  $S_G$  des Raums.

Der zur Festlegung der Anforderungen erforderliche maßgebliche Außenlärmpegel entspricht vereinfacht gesprochen dem im zeitlichen Mittel auf die Fassade einwirkenden Schallpegel. Im Falle von Verkehrslärm kann er sowohl gemessen, als auch - dies ist die normalerweise verwendete Methode - rechnerisch aus Art und Menge des vorhandenen Verkehrs abgeschätzt werden. Die hierzu erforderliche Vorgehensweise ist in DIN 4109 sowie in größerer Ausführlichkeit in DIN 18005-1 [3/2] beschrieben.

Neben DIN 4109 sind auch in VDI 4100 [3/3] Vorschläge für den baulichen Schallschutz enthalten. Hierbei wird zwischen drei Schallschutzstufen (SSt) unterschieden: SSt I schützt vor unzumutbaren Belästigungen (Wohnungen in preisgünstiger Bauweise), bei SSt II finden die Bewohner im allgemeinen Ruhe (Wohnungen mit üblichem Qualitäts- und Komfortniveau) und SSt III gewährleistet ein hohes Maß an Ruhe (Komfortwohnungen). Für Außenbauteile sehen SSt I und SSt II die gleichen Schallschutzanforderungen wie in DIN 4109 vor. Die Schallschutzstufe SSt III fordert für  $R'_{w,res}$  hingegen 5 dB höhere Werte. Im Gegensatz zu den Mindestanforderungen in DIN 4109 sind die Vorschläge in VDI 4100 allerdings nicht rechtsverbindlich, sondern müssen zwischen Auftraggeber und Bauunternehmen vertraglich vereinbart werden.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass DIN 4109 in der aktuellen Rechtsprechung als Maßstab für den baulichen Schallschutz in letzter Zeit an Bedeutung verloren hat. Dies wird insbesondere an zwei richtungsweisenden Urteilen des Bundesgerichtshofs aus den Jahren 2007 und 2009 zum Schallschutz zwischen Doppelhaushälften und Eigentumswohnungen deutlich [3/4, 3/5]. Die wichtigsten Aussagen aus diesen beiden Urteilen lassen sich sinngemäß wie folgt zusammenfassen:

- Die Angaben in DIN 4109 können nicht generell als anerkannte Regel nach dem Stand der Technik angesehen werden.
- Bei Bauten mit Qualitäts- und Komfortstandard können die Werte aus DIN 4109 schon deshalb nicht herangezogen werden, weil sie lediglich Mindestanforderungen zur Vermeidung unzumutbarer Belästigungen regeln.
- Unabhängig von den DIN 4109 festgelegten Anforderungen sind die Schallschutzwerte geschuldet, die bei der vereinbarten Bauweise nach den anerkannten Regeln der Technik und einer fehlerfreien Ausführung erreichbar sind.

# 4

## Rechnerischer Schallschutznachweis nach DIN 4109

Zur Durchführung eines rechnerischen Schallschutznachweises für Außenwände mit WDVS sind mehrere Schritte erforderlich, die im Folgenden in kurzer Form beschrieben werden:

- 1) Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels, der auf die betrachtete Wand einwirkt.
- 2) Bestimmung des erforderlichen resultierenden Schalldämm-Maßes  $R'_{w, \text{res}}$  anhand der Art des Raums (Wohn- oder Arbeitsraum) und dem Verhältnis von Außen- zu Grundfläche. Die erforderliche Vorgehensweise ist im vorangehenden Abschnitt beschrieben.
- 3) Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes der Trägerwand ohne WDVS,  $R_{w, o}$ . Die einfachste Möglichkeit hierzu besteht darin, die Schalldämmung nach Abschnitt 6.3 aus der flächenbezogenen Masse der Wand zu berechnen.
- 4) Berechnung der Verbesserung der Schalldämmung durch das WDVS,  $\Delta R_w$ , nach dem in den Abschnitten 6.1 bis 6.8 beschriebenen Verfahren
- 5) Berechnung des bewerteten Schalldämm-Maßes der Trägerwand mit WDVS aus den Ergebnissen der Schritte 3 und 4 gemäß  $R_w = R_{w, o} + \Delta R_w$ .
- 6) Bestimmung des resultierenden Schalldämm-Maßes der Außenwand,  $R_{w, \text{res}'}$ , durch rechnerische Berücksichtigung der eingebauten Fenster, Rolladenkästen und Lüftungselemente. Hierzu müssen Fläche und Schalldämm-Maß dieser Elemente bekannt sein. Die Vorgehensweise ist in Abschnitt 2.7 dargestellt.
- 7) Vergleich des in Schritt 6 für  $R_{w, \text{res}'}$  ermittelten Wertes mit dem Anforderungswert aus Schritt 2. Wird der Anforderungswert erreicht oder übertroffen, so ist der Schallschutznachweis erbracht.
- 8) Ist die Anforderung nicht erfüllt, so ist zunächst zu überprüfen, wo die akustische Schwachstelle liegt (in den meisten Fällen handelt es sich nicht um das WDVS, sondern um die Fenster). Nach dem Identifizieren der Schwachstelle muss nachgebessert werden (z. B. durch den Einbau von Fenstern mit höherer Schalldämmung). Anschließend ist der Nachweis ausgehend von den Schritten 3 bzw. 6 noch einmal zu wiederholen.



# Schalldämmung von WDVS

## 5

### 5.1 Aufbau und Klassifizierung von WDVS

Wärmedämm-Verbundsysteme bestehen aus Dämmstoffplatten, die mit Klebemörtel an der Trägerwand befestigt und anschließend verputzt werden. Die Verklebung erfolgt zumeist teilflächig, wobei die prozentuale Klebefläche üblicherweise etwa 40 - 60 % beträgt. Die Putzschicht wird in der Regel mit einem eingebettetem Armierungsgewebe aus Kunststoff verstärkt. Im Gegensatz zu einer zusätzlichen Verdübelung des WDVS, die aus statischen Gründen erforderlich sein kann, hat die Armierung jedoch keinen merklichen Einfluss auf die akustischen Eigenschaften.

Als Dämmstoff wird in den meisten Fällen Polystyrol oder Mineralfaser verwendet. Gelegentlich kommen auch Platten aus Polyurethan-Schaum, gesintertem Blähglas oder Porenbeton zum Einsatz. Dies ist in der Praxis jedoch die Ausnahme. Bei den üblichen Dämmstoffen sind vier verschiedene Produktgruppen zu unterscheiden (im Folgenden mit den in Klammern angegebenen Abkürzungen bezeichnet):

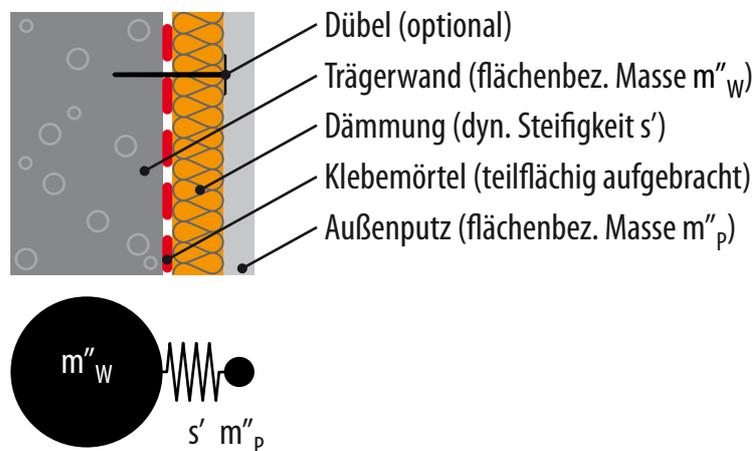
- Expandierter Polystyrol-Hartschaum (EPS),
- elastifiziertes EPS (EEPS),
- Mineralfaser-Putzträgerplatten (MFP),
- Mineralfaser-Lamellenplatten (MFL).

Die aufgeführten Dämmstofftypen unterscheiden sich in ihren Materialeigenschaften und damit auch im akustischen Verhalten. So wird z. B. EEPS nach der Herstellung einer mechanischen Vorbehandlung unterzogen, die die Elastizität des Materials erhöht. Dämmplatten aus EEPS weisen deshalb bei gleicher Dicke eine geringere dynamische Steifigkeit auf. Der Unterschied zwischen MFP- und MFL-Platten besteht in der Ausrichtung der Fasern: Während sie bei den Putzträgerplatten parallel zur Plattenoberfläche verlaufen, sind sie bei den Lamellenplatten senkrecht zur Oberfläche angeordnet. Hierdurch ist bei den MFP-Platten im Vergleich eine deutliche Absenkung der dynamischen Steifigkeit zu verzeichnen.



## 5.2 Akustisches Wirkungsprinzip

Von wenigen Ausnahmen abgesehen, weisen alle WDVS unabhängig vom verwendeten Dämmstoff im Prinzip den gleichen Aufbau auf. Dies gilt zumindest für die Anbringung an Massivwänden, die in der Praxis den weitaus häufigsten Anwendungsfall darstellt. Eine Skizze des praxisüblichen Aufbaus ist dem nachfolgenden Bild zu entnehmen:



**Bild 5.2/1** Prinzipskizze des Aufbaus einer massiven Außenwand mit WDVS. Der untere Teil der Skizze veranschaulicht das akustische Wirkungsprinzip (Masse-Feder-Masse System).

Eine Wand mit WDVS bildet ein schwingungsfähiges System, wobei Trägerwand und Putzschicht als Massen und die Wärmedämmung als Feder wirken. Das akustische Verhalten eines solchen Systems wird vor allem durch seine Resonanzfrequenz  $f_R$  bestimmt, die von der dynamischen Steifigkeit der Dämmschicht,  $s'$ , und den flächenbezogenen Massen von Wand und Putzschicht,  $m''_w$  und  $m''_p$ , abhängt. Für  $m''_p \ll m''_w$  (diese Voraussetzung ist in der Praxis fast immer erfüllt) ergibt sich für die Resonanzfrequenz folgender Ausdruck:

$$f_R \cong 160 \sqrt{\frac{s'}{m''_p}} \text{ Hz} = 160 \sqrt{\frac{E_{\text{dyn}}}{d m''_p}} \text{ Hz} \quad (5.2/1)$$

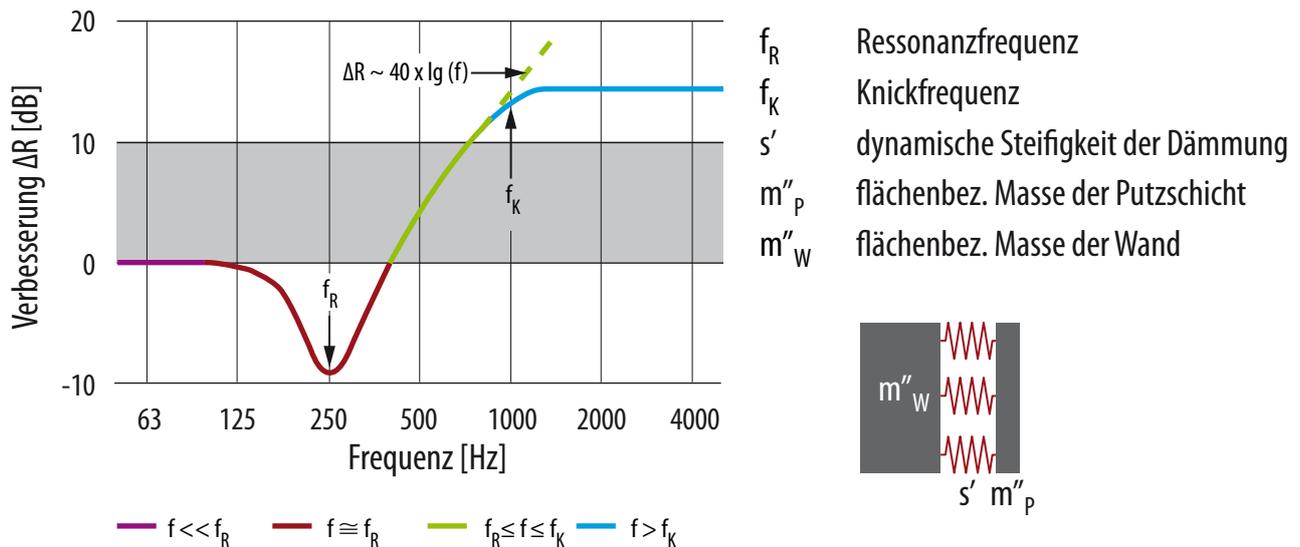
Hierbei bezeichnet  $E_{\text{dyn}}$  den dynamischen Elastizitätsmodul des Dämmstoffs und  $d$  die Dicke der Dämmschicht. Die Resonanzfrequenz ist demnach um so niedriger, je schwerer die Putzschicht, je größer die Dämmstoffdicke und je weicher der verwendete Dämmstoff ist (weiche Materialien weisen einen niedrigen Elastizitätsmodul auf).

Die Schallschutzwirkung von Vorsatzschalen wird durch die Verbesserung der Schalldämmung

$$\Delta R = R - R_0 \quad (5.2/2)$$

beschrieben, wobei  $R$  das Schalldämm-Maß der Wand mit WDVS und  $R_0$  die Schalldämmung der ungedämmten Wand bezeichnet. Bei positiven Werten von  $\Delta R$  erfolgt eine Erhöhung, bei negativen Werten hingegen eine Verminderung der Schalldämmung. Die Verbesserung  $\Delta R$  ist eine frequenzabhängige Größe und wird in der Bauakustik zumeist als Terzspektrum angegeben.

Obleich sich das akustische Verhalten von WDVS abhängig von Aufbau und Ausführung stark voneinander unterscheiden kann, folgt die Verbesserung der Schalldämmung aufgrund der einheitlichen Wirkungsweise einem charakteristischen Frequenzverlauf. Dieser Verlauf, der vor allem von der Resonanzfrequenz  $f_R$  sowie in geringerem Maße außerdem von der so genannten Knickfrequenz  $f_K$  bestimmt wird, ist im nachfolgenden Bild schematisch dargestellt:



**Bild 5.2/2** Verbesserung der Schalldämmung einer Massivwand durch ein WDVS in Abhängigkeit von der Frequenz (schematische Darstellung am Beispiel eines WDVS mit einer Resonanzfrequenz von  $f_R = 250$  Hz).

Der Frequenzverlauf lässt sich in vier charakteristische Bereiche unterteilen, die in dem Bild durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet sind:

- $f \ll f_R$ : Bei Frequenzen weit unterhalb der Resonanz verhält sich die Vorsatzschale akustisch weitgehend neutral, d. h. es gilt  $\Delta R \cong 0$ .
- $f \cong f_R$ : Im Bereich der Resonanzfrequenz treten starke Schwingungen auf, so dass eine Verschlechterung der Schalldämmung erfolgt ( $\Delta R < 0$ ). Die Tiefe des Dämmungseinbruchs hängt von den inneren Verlusten des schwingenden Systems ab und wird mit zunehmender Dämpfung geringer.
- $f_R \leq f \leq f_K$ : Oberhalb der Resonanzfrequenz steigt die Verbesserung der Schalldämmung theoretisch mit  $40 \lg(f/f_R) = 12 \text{ dB/Oktave}$  an. In der Praxis fällt der Anstieg, besonders bei stark bedämpften Systemen, zumeist etwas schwächer aus.
- $f > f_K$ : Bei hohen Frequenzen erfolgt aus noch nicht endgültig geklärten Gründen eine Abflachung oder sogar eine Richtungsumkehr des Anstiegs. Die Frequenz, bei der dieser Effekt einsetzt, wird als Knickfrequenz  $f_K$  bezeichnet.

Wegen ihres Resonanzverhaltens bewirken WDVS abhängig vom Frequenzbereich grundsätzlich sowohl eine Verbesserung als auch eine Verschlechterung der Schalldämmung. Die Verbesserung erfolgt nur in genügendem Abstand oberhalb der Resonanzfrequenz, während im Resonanzbereich selbst eine Verschlechterung eintritt. Liegt die Resonanz zu hoch, so ist statt der angestrebten Erhöhung im Gegenteil eine Abnahme des bewerteten Schalldämm-Maßes zu verzeichnen. Man strebt deshalb bei der akustischen Auslegung von WDVS zumeist eine möglichst niedrige Resonanzfrequenz an. Dies erscheint auf den ersten Blick sinnvoll, ist in der Praxis jedoch problematisch, da Außenlärm bei tiefen Frequenzen häufig hohe Pegelanteile aufweist. Fallen die maßgebenden Geräuschanteile in den Resonanzbereich des WDVS, so werden sie verstärkt übertragen und der bauliche Schallschutz verschlechtert sich. Unglücklicherweise ist dieser Effekt im bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$ , das laut **DIN 4109** als Beurteilungsgröße für den Schallschutz von Außenbauteilen heranzuziehen ist, nicht sichtbar. Eine realistische Beurteilung der Schallschutzwirkung ergibt sich erst dann, wenn neben  $R_w$  auch der Spektrum-Anpassungswert  $C_{tr,50-5000}$  in die Betrachtung einbezogen wird. Auf diesen für die Praxis äußerst wichtigen Umstand wird später noch ausführlich eingegangen.

### 5.3 Verbesserung der Schalldämmung durch WDVS

Maßgebender Kennwert für die akustische Wirkung von WDVS ist die im vorangehenden Abschnitt definierte Verbesserung  $\Delta R$ . Allerdings handelt es sich hierbei um eine frequenzabhängige Größe, während für die bauakustische Planung Einzulangaben benötigt werden. Aus diesem Grund definiert man analog zu  $\Delta R$  die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes  $\Delta R_w$ :

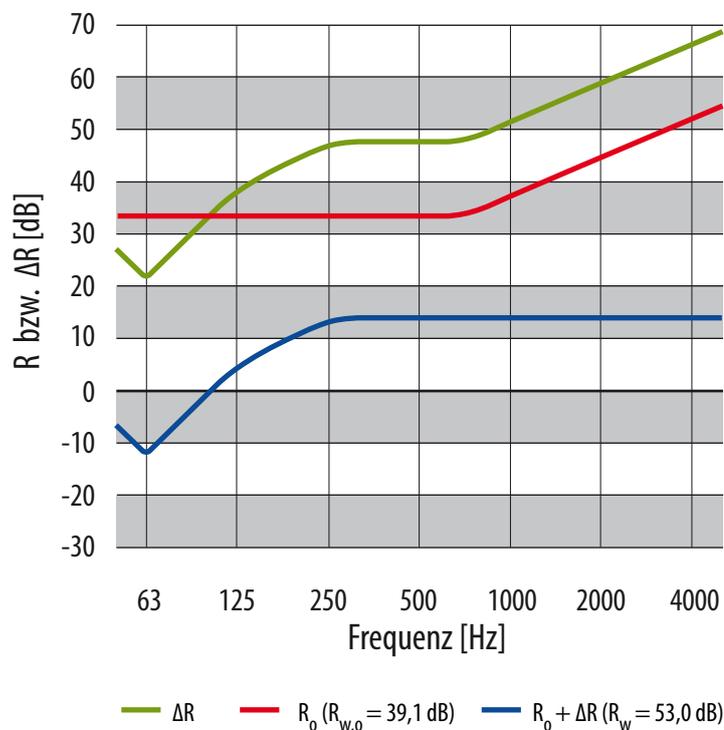
$$\Delta R_w = R_w - R_{w,0} \quad (5.3/1)$$

wobei  $R_w$  und  $R_{w,0}$  das bewertete Schalldämm-Maß der Trägerwand mit und ohne WDVS bezeichnen. In gleicher Weise wird auch die Verbesserung für andere Einzulangaben, wie z. B.  $\Delta R_w + C_{tr,50-5000}$  gebildet:

$$\Delta(R_w + C_{tr,50-5000}) = (R_w + C_{tr,50-5000}) - (R_{w,0} + C_{tr,50-5000})_0 \quad (5.3/2)$$

Auch hier repräsentiert der Index o wieder die Trägerwand ohne WDVS.

Unter der Voraussetzung  $m_p \ll m_w$  (d. h. Putzschicht sehr viel leichter als Trägerwand) ist die Verbesserung  $\Delta R$  näherungsweise als beuteilunabhängig anzusehen. In anderen Worten bedeutet dies, dass dasselbe WDVS auf allen Trägerwänden akustisch in gleicher Weise wirkt. Diese Tatsache erlaubt es, die Veränderung der Schalldämmung einer Wand durch ein WDVS auf einfache Weise rechnerisch nachzubilden: Man addiert einfach die Verbesserung durch das WDVS,  $\Delta R$ , terzweise zur Schalldämmung der Trägerwand  $R_0$  und berechnet für das neue Spektrum das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$ . Unter Verwendung von  $R_{w,0}$  (also dem bewerteten Schalldämm-Maß der Trägerwand ohne WDVS) erhält man daraus nach **Gleichung 5.3/1** unmittelbar die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes  $\Delta R_w$ . Die beschriebene Vorgehensweise ist in **Bild 5.3/1** am Beispiel von idealisierten Bauteilen veranschaulicht:

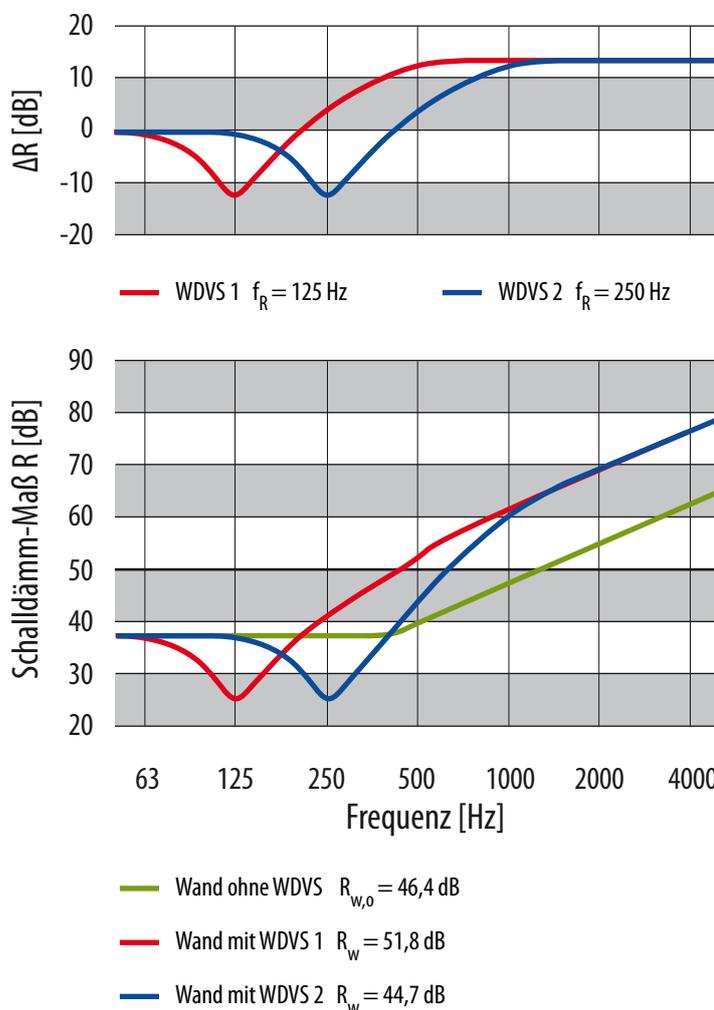


**Bild 5.3/1** Rechnerische Bestimmung der Verbesserung  $\Delta R_w$  durch terzweise Addition von  $R$  und  $\Delta R$  sowie Berechnung der bewerteten Schalldämm-Maße für das Ausgangs- und das Ergebnisspektrum. Für das dargestellte Beispiel wurden zwei idealisierte Bauteile betrachtet: Ein WDVS mit einer Resonanzfrequenz von  $f_r = 63$  Hz (blaue Kurve) und eine Trägerwand mit  $m'' \cong 100$  kg/m<sup>2</sup> und  $R_{w,0} = 39,1$  dB (rote Kurve). Für die resultierende Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ergibt sich  $\Delta R_w = R_w - R_{w,0} = 53,0$  dB - 39,1 dB = 13,9 dB.

## 5.4 Einfluss der Resonanzfrequenz

Auf die große Bedeutung der Resonanzfrequenz für das akustische Verhalten von WDVS wurde bereits hingewiesen. Es wurde auch erwähnt, dass bei niedriger Resonanzfrequenz - zumindest im Hinblick auf das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  - eine akustische Verbesserung eintritt, während eine hohe Resonanzfrequenz eine Verschlechterung der Schalldämmung zur Folge haben kann. Im Folgenden wird dieser Effekt an einem Beispiel veranschaulicht. Dabei wird im Prinzip die gleiche Vorgehensweise wie im vorangehenden Abschnitt verwendet. Es werden jedoch zwei ansonsten gleiche WDVS mit unterschiedlicher Resonanzfrequenz ( $f_R = 125$  Hz und  $f_R = 250$  Hz) betrachtet, die rechnerisch mit der gleichen Trägerwand kombiniert werden.

Wie aus der Darstellung in **Bild 5.4/1** hervorgeht, ist bei der niedrigen Resonanzfrequenz eine Verbesserung der Schalldämmung um  $\Delta R_w = 5,4$  dB zu verzeichnen, während bei der hohen Resonanzfrequenz eine Verschlechterung um  $\Delta R_w = 1,7$  dB erfolgt. Der Grund für die Verschlechterung des bewerteten Schalldämm-Maßes besteht darin, dass die Resonanz in diesem Fall in einen bauakustisch maßgeblichen Frequenzbereich fällt und dort die Dämmung massiv herabsetzt.

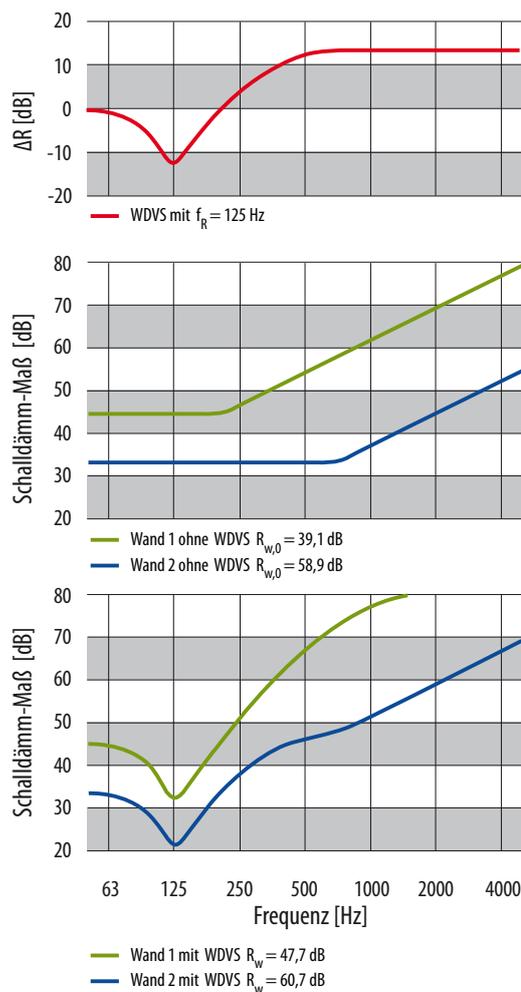


**Bild 5.4/1** Einfluss der Resonanzfrequenz auf das bewertete Schalldämm-Maß  $R_w$  am Beispiel von drei idealisierten Bauteilen. Rechnerische Kombination von zwei sonst gleichen WDVS mit unterschiedlicher Resonanzfrequenz ( $f_R = 125$  Hz bzw.  $f_R = 250$  Hz, rote bzw. blaue Kurve im oberen Teil des Bildes) mit der gleichen Trägerwand ( $m'' \cong 180$  kg/m<sup>2</sup>,  $R_{w,o} = 46,4$  dB, grüne Kurve im unteren Teil des Bildes). Für das WDVS mit  $f_R = 125$  Hz ergibt sich eine Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes von  $\Delta R_w = 51,8$  dB - 46,4 dB = 5,4 dB. Bei dem WDVS mit  $f_R = 250$  Hz beträgt die Verbesserung  $\Delta R_w = 44,7$  dB - 46,4 dB = -1,7 dB, d. h. hier tritt eine Abnahme der Schalldämmung ein.

## 5.5 Einfluss der Trägerwand

In **Abschnitt 5.3** wurde darauf hingewiesen, dass die Verbesserung  $\Delta R$  als näherungsweise beurteilunabhängig anzusehen ist. Wegen der Frequenzabhängigkeit von  $\Delta R$  gilt diese Aussage allerdings nur für einzelne Frequenzen, in der Bauakustik also für einzelne Terzen. Bei den aus Terzspektren gebildeten Einzulangaben, also z. B. dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_{w,v}$ , trifft die Aussage hingegen nicht zu. Es ist im Gegenteil ein starker Einfluss der Trägerwand auf die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes festzustellen, und zwar dahingehend, dass leichte Wände eine Erhöhung von  $\Delta R_w$  bewirken, während bei schweren Wänden mit hoher Schalldämmung nur niedrige  $\Delta R_w$ -Werte erreicht werden. Der Effekt ist zahlenmäßig ähnlich groß wie der Einfluss der Resonanzfrequenz und muss bei akustischen Berechnungen daher unbedingt berücksichtigt werden.

Die Ursache für den Einfluss der Trägerwand auf  $\Delta R_w$  liegt vereinfacht ausgedrückt im Zusammenspiel der Frequenzspektren von  $R_o$  und  $\Delta R$ , die sich grundlegend voneinander unterscheiden. Hat die Trägerwand in dem Frequenzbereich, in dem das WDVS am stärksten wirksam ist, eine hohe Schalldämmung, so ändert sich das bewertete Schalldämm-Maß nur wenig, da die insgesamt übertragene Schall-Leistung kaum abnimmt (die maßgebenden Leistungsanteile entstammen den Frequenzbereichen mit niedriger Schalldämmung). Erfolgt die Verbesserung durch das WDVS hingegen in einem Frequenzbereich, in dem die Schalldämmung der Wand gering ist, so ist der Einfluss auf das bewertete Schalldämm-Maß erheblich größer. In **Bild 5.5/1** ist dieser Zusammenhang am Beispiel von drei idealisierten Bauteilen (zwei unterschiedlich schweren Wänden und einem WDVS) veranschaulicht.



**Bild 5.5/1** Einfluss der Trägerwand auf die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch WDVS (Berechnung mit idealisierten Bauteilen).

**Oben:** Verbesserung der Schalldämmung durch ein WDVS mit  $f_r = 125$  Hz.

**Mitte:** Schalldämmkurven von zwei unterschiedlich schweren Trägerwänden (flächenbezogene Masse ca. 100 bzw. 400 kg/m<sup>2</sup>).

**Unten:** Schalldämmung der beiden Trägerwände in Verbindung mit dem WDVS.

Wie sich aus den in der Legende aufgeführten Einzulangaben entnehmen lässt, beträgt die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch die Vorsatzschale bei der leichten Wand  $\Delta R_w = 47,7$  dB - 39,1 dB = 8,6 dB, bei der schweren Wand hingegen nur  $\Delta R_w = 60,7$  dB - 58,9 dB = 1,8 dB.

## 5.6 Weitere Einflussgrößen

Neben der Resonanzfrequenz und der Schalldämmung der Trägerwand hängt die akustische Wirkung von WDVS von weiteren Einflussgrößen ab. Die drei wichtigsten - Befestigung des WDVS mit Dübeln, prozentualer Klebeflächenanteil und Strömungswiderstand bei Mineralfaser - werden im Folgenden kurz besprochen:

**Verdübelung:** Bei der Befestigung des WDVS mit Dübeln wird die federnde Dämmschicht mechanisch überbrückt, so dass die Schwingungen des Systems gehemmt werden. Dies hat eine Verminderung der akustischen Wirkung im guten wie im schlechten Sinn zur Folge: die Verbesserungen werden abgeschwächt und die Verschlechterungen gemildert.

**Klebefläche:** Bei der üblichen teilflächigen Verklebung zwischen WDVS und Trägerwand wirkt der Klebemörtel wie eine zusätzliche Feder, die die dynamische Steifigkeit und infolge dessen auch die Resonanzfrequenz absenkt. Eine Vergrößerung des prozentualen Klebeflächenanteils führt daher im Allgemeinen zu einer Verminderung der akustischen Wirkung.

**Strömungswid.:** Dämmstoffe aus Mineralfaser weisen eine vergleichsweise hohe innere Dämpfung auf, die in Zusammenhang mit ihrem längenbezogenen Strömungswiderstand steht. Der Strömungswiderstand wirkt sich deshalb ebenfalls auf das akustische Verhalten von WDVS aus, wobei eine Zunahme des Widerstandes normalerweise eine Erhöhung der Schalldämmung bewirkt.

Die erwähnten Einflussgrößen werden im nachfolgend beschriebenen Prognoseverfahren zur Berechnung der Schalldämmung durch entsprechende Korrekturen berücksichtigt.



# 6

## Prognoseverfahren zur Bestimmung von $\Delta R_w$

### 6.1 Grundprinzip

Das bewertete Schalldämm-Maß einer Massivwand mit WDVS lässt sich gemäß

$$R_w = R_{w,0} + \Delta R_w \quad (6.1/1)$$

bestimmen, wobei  $R_{w,0}$  das Schalldämmung der Trägerwand ohne WDVS und  $\Delta R_w$  die Verbesserung durch das WDVS bezeichnen. Ist die Schalldämmung der Trägerwand nicht bekannt, so kann sie nach der in **Abschnitt 6.3** angegebenen Beziehung aus der flächenbezogenen Masse ermittelt werden.

Die Berechnung von  $\Delta R_w$  ist nachfolgend beschrieben. Als Grundlage dient die für standardisierte bauliche Bedingungen ermittelte Verbesserung  $\Delta R_{w,S}$ , von der verschiedene Korrekturen zur Berücksichtigung abweichender Bedingungen subtrahiert werden. Die zentrale Berechnungsformel lautet:

$$\Delta R_w = \Delta R_{w,S} - K_D - K_K - K_T - K_S \quad (6.1/2)$$

wobei die verwendeten Symbole folgende Bedeutung haben:

- $\Delta R_{w,S}$  = Verbesserung unter Standardbedingungen (unverdübelt Trägerwand mit  $R_{w,0} = 53$  dB)
- $K_D$  = Korrektur zur Berücksichtigung von Dübeln
- $K_K$  = Korrektur zur Berücksichtigung der Klebefläche
- $K_T$  = Korrektur für die Schalldämmung der Trägerwand
- $K_S$  = Korrektur zur Berücksichtigung des Strömungswiderstar Mineralfaserplatten

Die Bestimmung der in der obigen Gleichung enthaltenen Größen ist in den nachfolgenden **Abschnitten 6.4 - 6.8** erläutert. Zur Durchführung der Berechnungen werden folgende Eingangsgrößen benötigt:

- Resonanzfrequenz  $f_R$  (kann nach **Abschnitt 6.2** aus der dynamischen Steifigkeit der Dämmschicht und der flächenbezogenen Masse der Putzschicht berechnet werden),
- bewertetes Schalldämm-Maß der Trägerwand  $R_{w,0}$  (die Ermittlung von  $R_{w,0}$  aus der flächenbezogenen Masse ist in **Abschnitt 6.3** beschrieben),
- Befestigung des WDVS mit Dübeln (verdübelt oder unverdübelt, die Anzahl der Dübel geht nicht in die Berechnung ein),
- prozentuale Klebefläche  $F$ ,
- längenbezogener Strömungswiderstand  $r$  (nur bei Mineralfaser-Dämmung).

Die verwendeten Formeln und Symbole entsprechen dem vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) bei Zulassungen verwendeten Berechnungsmodell **[6.1/1]**. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass das DIBt bei der Berechnung von  $\Delta R_{w,S}$  ein Vorhaltemaß von 3 dB anwendet und die ermittelte Verbesserung auf den Bereich von  $-6 \text{ dB} \leq \Delta R_w \leq 16 \text{ dB}$  begrenzt.

## 6.2 Resonanzfrequenz $f_R$

Die Resonanzfrequenz  $f_R$  ist der wichtigste akustische Einflussgröße bei WDVS und für die Berechnung der akustischen Eigenschaften unverzichtbar. Die Resonanzfrequenz wird normalerweise rechnerisch aus der dynamischen Steifigkeit der Dämmschicht  $s'$  und der flächenbezogenen Masse der Putzschicht  $m''_p$  berechnet. Ist die Putzschicht sehr viel leichter als die Trägerwand (dies ist bei WDVS normalerweise immer der Fall) ergibt sich für  $f_R$  folgende Formel:

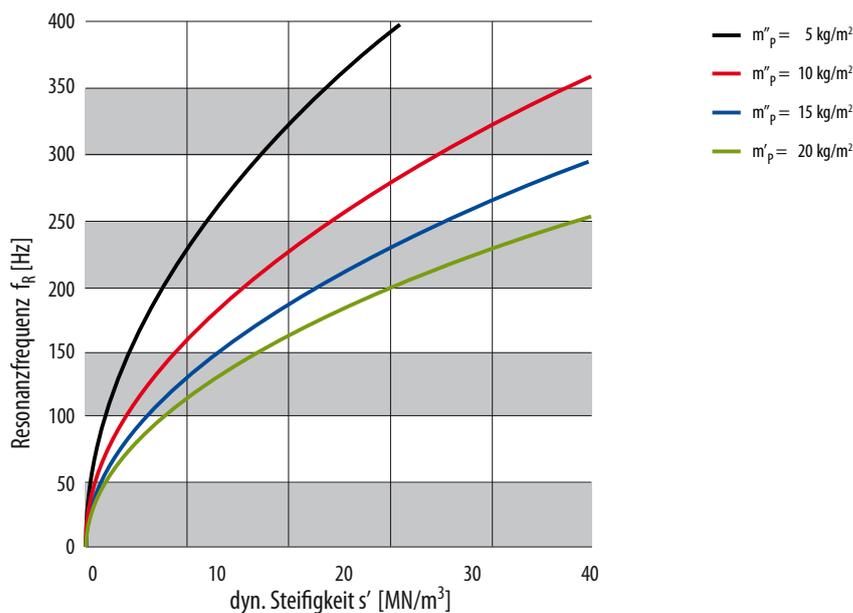
$$f_R \cong 160 \sqrt{\frac{s'}{m''_p}} \text{ Hz} \quad (6.2/1)$$

In die obige Formel sind die dynamischen Steifigkeit  $s'$  in  $\text{MN/m}^3$  und die flächenbezogene Masse  $m''$  in  $\text{kg/m}^2$  einzusetzen. Die dynamische Steifigkeit der Dämmschicht hängt unmittelbar mit dem dynamischen Elastizitätsmodul des Dämmstoffs  $E_{\text{dyn}}$  zusammen, so dass die beiden Größen auf einfache Weise ineinander umgerechnet werden können:

$$s' = E_{\text{dyn}} / d \quad (6.2/2)$$

Der Buchstabe  $d$  bezeichnet hierbei die Dicke der Dämmschicht.

Angaben zum dynamischen Elastizitätsmodul üblicher Dämmstoffe sind in **Abschnitt 10** aufgeführt. Der Zusammenhang zwischen Resonanzfrequenz und dynamischer Steifigkeit der Dämmschicht ist in **Bild 6.2/1** für einige bauübliche Putzschichten grafisch veranschaulicht.



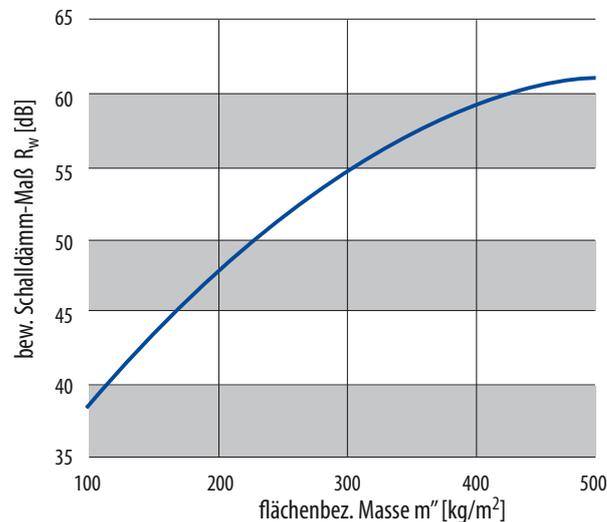
**Bild 6.2/1:** Resonanzfrequenz von WDVS in Abhängigkeit von der dynamischen Steifigkeit der Dämmschicht. Die Berechnung erfolgte für Putzschichten mit flächenbezogenen Massen zwischen  $m''_p = 5 \text{ kg/m}^2$  und  $m''_p = 20 \text{ kg/m}^2$ .

## 6.3 Schalldämm-Maß der Trägerwand $R_{w,0}$

Wärmedämm-Verbundsysteme werden zumeist an massiven Außenwänden aus Beton oder Mauerwerk angebracht. Das bewertete Schalldämm-Maß derartiger Wände hängt vor allem von ihrer flächenbezogenen Masse ab. Den entsprechenden Zusammenhang bezeichnet man als Massekurve. Für die akustischen Berechnungen an WDVS wird das bewertete Schalldämm-Maß der Trägerwand ohne WDVS,  $R_{w,0}$ , benötigt, für das sich aus **DIN 4109** Bbl. 1 und 3 [6.3/1, 6.3/2] näherungsweise folgende Massekurve ableiten lässt:

$$R_{w,0} \cong [27,1 + 0,1243 m'' - 0,000113 m''^2] \text{ dB} \quad (6.3/1)$$

Die Beziehung gilt schwere Baustoffe wie z. B. Beton, Kalksandstein oder Ziegel, wobei der Anwendungsbereich flächenbezogene Massen von etwa  $100 \text{ kg/m}^2 \leq m'' \leq 500 \text{ kg/m}^2$  umfasst. Für den Nachweis von Schallschutzanforderungen ist von dem berechneten Wert nach DIN 4109 ein Vorhaltemaß von 2 dB zu subtrahieren. Es sei darauf hingewiesen, dass Mauerwerk aus gelochten Steinen wegen seiner besonderen akustischen Eigenschaften nicht mit der angegebenen Massekurve berechnet werden kann. Für leichte Baustoffe, wie Poren- oder Leichtbeton, liegt die Schalldämmung gegenüber dem berechneten Wert im Mittel etwa 2 dB höher. Der durch die obige Gleichung beschriebene Zusammenhang ist in **Bild 6.3/1** grafisch dargestellt.



**Bild 6.3/1:** Schalldämmung massiver Wände in Abhängigkeit von ihrer flächenbezogenen Masse nach **Gleichung 6.3/1**. Aufgetragen ist das bewertete Schalldämm-Maß ohne Flankenübertragung,  $R_w$ .

Für die Spektrum-Anpassungswerte von Massivwänden sind leider keine Massekurven verfügbar. Für den für Verkehrslärm maßgeblichen Spektrum-Anpassungswert  $C_{tr,50-5000}$  lässt sich jedoch näherungsweise folgender Zusammenhang herleiten:

$$C_{tr,50-5000} \cong 5,8 \text{ dB} - 0,21 R_w \quad (6.3/2)$$

wobei  $R_w$  das bewertete Schalldämm-Maß der Wand bezeichnet. In **Tabelle 6.3/1** sind die mit obiger Gleichung berechneten Werte für den für Außenwände üblichen Bereich der Schalldämmung beispielhaft dargestellt. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, weist der Spektrum-Anpassungswert  $C_{tr,50-5000}$  durchgängig negative Werte auf, deren Betrag mit zunehmender Schalldämmung kontinuierlich anwächst.

$R_w$ [dB]	$R_{tr,50-5000}$ [dB]
35	-1,6
40	-2,6
45	-3,7
50	-4,7
55	-5,8
60	-6,8

**Tab. 6.3/1:** Zusammenhang zwischen dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$  und dem Spektrum-Anpassungswert  $C_{tr,50-5000}$ . Die Berechnung von  $C_{tr,50-5000}$  erfolgte mit der Näherungsformel in **Gleichung 6.3/2**.

#### 6.4 Verbesserung unter Standardbedingungen $\Delta R_{w,S}$

Die Verbesserung unter Standardbedingungen,  $\Delta R_{w,S}$ , bezieht sich auf ein fiktives WDVS, das mit 40 % Klebeflächenanteil ohne Dübel an einer Trägerwand mit  $R_{w,o} = 53$  dB angebracht ist. Die Berechnungsformel für  $\Delta R_{w,S}$  lautet:

$$\Delta R_{w,S} = (a \lg(f_R) + b) \text{ dB} \quad (6.4/1)$$

wobei  $f_R$  die Resonanzfrequenz des WDVS bezeichnet. Die Koeffizienten a und b hängen von der Lage der Resonanzfrequenz sowie der Art des Dämmstoffs (Polystyrol oder Mineralfaser) ab und sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Resonanzfrequenz $f_R$ [Hz]	Polystyrol		Mineralfaser	
	a	b	a	b
$f_R < 125$ Hz	-35,1	79,7	-35,9	82,4
$125 \text{ Hz} \leq f_R < 250$ Hz	-26,7	62,0	-36,5	83,7
$f_R \geq 250$ Hz	-2,4	3,8	5,4	-16,7

Tab. 6.4/1: Koeffizienten a und b zur Berechnung von  $\Delta R_{w,S}$  mittels Gleichung 6.4/1.

Für überschlägige Berechnungen wurden  $\Delta R_{w,S}$  und die Korrektur  $K_D$  (Korrektur zur Berücksichtigung von Dübeln) zusammengefasst und in der nachfolgenden Wertetabelle aufgetragen:

Resonanzfrequenz $f_R$ [Hz]	$\Delta R'_{w,S} + K_D$ [dB]			
	Polystyrol		Mineralfaser	
	ohne Dübel	mit Dübel	ohne Dübel	mit Dübel
$f_R \leq 60$ Hz	17	11	19	12
$60 \text{ Hz} < f_R \leq 70$ Hz	16	10	17	11
$70 \text{ Hz} < f_R \leq 80$ Hz	14	9	15	10
$80 \text{ Hz} < f_R \leq 90$ Hz	12	8	13	8
$90 \text{ Hz} < f_R \leq 100$ Hz	10	6	12	7
$100 \text{ Hz} < f_R \leq 120$ Hz	8	5	9	6
$120 \text{ Hz} < f_R \leq 140$ Hz	6	3	7	4
$140 \text{ Hz} < f_R \leq 160$ Hz	4	2	4	2
$160 \text{ Hz} < f_R \leq 180$ Hz	3	1	2	1
$180 \text{ Hz} < f_R \leq 200$ Hz	1	0	1	0
$200 \text{ Hz} < f_R \leq 220$ Hz	0	0	-1	-1
$220 \text{ Hz} < f_R \leq 240$ Hz	-1	-1	-2	-2
$240 \text{ Hz} < f_R$	-2	-2	-3	-2

Tab. 6.4/2: Wertetabelle zur überschlägigen Berechnung von  $\Delta R_{w,S} + K_D$  (Verbesserung unter Standardbedingungen inklusive Korrektur für Dübel). Neben der Resonanzfrequenz  $f_R$  und der Verdübelung hängt das Ergebnis außerdem von der Art des Dämmstoffs (Polystyrol oder Mineralfaser) ab. Die Berechnung der angegebenen Werte erfolgte mit den Gleichungen 6.4/1 und 6.5/1.

## 6.5 Korrektur für Dübel $K_D$

Bei der Korrektur zur Berücksichtigung des akustischen Einflusses von Dübeln,  $K_D$ , wird zwischen der Befestigung des WDVS mit und ohne Dübeln unterschieden. Die Anzahl der Dübel (vier Dübel je Quadratmeter sind Normal- und Mindestwert) spielt hingegen eine untergeordnete Rolle. Die Berechnung von  $K_D$  erfolgt gemäß

$$K_D = \begin{cases} 0 & \text{ohne Dübel} \\ 0,34 \Delta R_{w,S} + 0,4 \text{ dB} & \text{mit Dübel} \end{cases} \quad (6.5/1)$$

Da  $K_D$  lediglich von der Resonanzfrequenz  $f_R$  abhängt, wurde sie mit der Verbesserung unter Standardbedingungen,  $\Delta R_{w,S}$ , in einer gemeinsamen Wertetabelle zusammengefasst (**Tabelle 6.4/2** in **Abschnitt 6.4**). Die Verwendung der Tabelle vereinfacht die Berechnung und bietet eine für die meisten praktischen Anwendungen hinreichende Genauigkeit.

## 6.6 Korrektur für die Klebefläche $K_K$

Die Verklebung von WDVS mit der Trägerwand erfolgt zumeist nicht voll- sondern nur teilflächig. Der prozentuale Anteil der Klebefläche wirkt sich auf die akustischen Eigenschaften aus und wird durch die Korrektur  $K_K$  berücksichtigt:

$$K_K = (0,052 F - 2,1) \text{ dB} \quad (6.6/1)$$

Hierbei bezeichnet  $F$  die prozentuale Klebefläche in %. Für überschlägige Berechnungen können die mit der obigen Gleichung berechneten Werte aus der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

prozentuale Klebefläche $F$ [%]	$K_K$ [dB]
20	-1
40	0
60	1
80	2
100	3

**Tab. 6.6/1:** Wertetabelle zur Bestimmung der Korrektur für die Klebefläche,  $K_K$ , in Abhängigkeit von der prozentualen Klebefläche  $F$ . Die Berechnung von  $K_K$  erfolgte nach **Gleichung 6.6/1**.

## 6.7 Korrektur für die Trägerwand $K_T$

Die Korrektur zur Berücksichtigung des akustischen Einflusses der Trägerwand,  $K_T$ , hängt zum einen von der Resonanzfrequenz  $f_R$  und zum anderen vom bewerteten Schalldämm-Maß der Trägerwand ohne WDVS,  $R_{w,0}$ , ab:

$$K_T = (-1,4 \lg(f_R) + 3,6)(R_{w,0} - 53 \text{ dB}) \quad (6.7/1)$$

Die Resonanzfrequenz ist hierbei wie üblich in Hz in die Gleichung einzusetzen.

Die Berechnungsergebnisse sind in der nachfolgenden Wertetabelle zusammengestellt:

Resonanzfrequenz $f_R$ [Hz]	$K_T$ [dB] in Abhängigkeit vom bewerteten Schalldämm-Maß für Trägerwand $R_{w,0}$ [dB]					
	43 - 45	46 - 48	49 - 51	52 - 54	55 - 57	58 - 60
$f_R \leq 60$ Hz	-10	-7	-3	0	3	7
60 Hz $< f_R \leq 80$ Hz	-9	-6	-3	0	3	6
80 Hz $< f_R \leq 100$ Hz	-8	-5	-3	0	3	5
100 Hz $< f_R \leq 140$ Hz	-6	-4	-2	0	2	4
140 Hz $< f_R \leq 200$ Hz	-4	-3	-1	0	1	3
200 Hz $< f_R \leq 300$ Hz	-2	-1	-1	0	1	1
300 Hz $< f_R \leq 400$ Hz	0	0	0	0	0	0
400 Hz $< f_R \leq 500$ Hz	1	1	0	0	0	-1
500 Hz $< f_R$	2	1	1	0	-1	-1

**Tab. 6.7/1:** Wertetabelle zur Bestimmung der Korrektur  $K_T$  für den akustischen Einfluss der Trägerwand. Falls erforderlich ist zwischen den angegebenen Werten zu interpolieren. Die Berechnung von  $K_T$  erfolgte nach **Gleichung 6.7/1**.

## 6.8 Korrektur für den Strömungswiderstand bei Mineralfaser $K_S$

Die Korrektur für den Strömungswiderstand  $K_S$  erfolgt ausschließlich bei Mineralfaser-Dämmstoffen. Hierbei ist zwischen Mineralfaser-Putzträgerplatten (MFP) und Mineralfaser-Lamellenplatten (MFL) zu unterscheiden. Bei den Putzträgerplatten verläuft die Faserrichtung parallel zur Plattenoberfläche, während sie bei den Lamellenplatten senkrecht zur Oberfläche gerichtet ist. Dies hat eine höhere dynamische Steifigkeit und andersartige akustische Eigenschaften der Lamellenplatten zur Folge. Die Berechnungsformel für  $K_S$  lautet:

$$K_S = \begin{cases} (-0,11 r + 3,8) \text{ dB} & \text{für MFP-Systeme} \\ (-0,38 r + 9,8) \text{ dB} & \text{für MFL-Systeme} \end{cases} \quad (6.8/1)$$

wobei  $r$  den längenbezogenen Strömungswiderstand in  $\text{kPa s/m}^2$  bezeichnet. Die Berechnungsergebnisse sind wiederum in einer Wertetabelle zusammengestellt:

längenbezogener Strömungswiderstand $r$ [ $\text{kPa s/m}^2$ ]	$K_S$ [dB]	
	MFP	MFL
10	3	6
15	2	4
20	2	2
25	1	0
30	0	-2
35	0	-4
40	-1	-6

**Tab. 6.8/1:** Wertetabelle zur Bestimmung der Korrektur  $K_S$  für den Strömungswiderstand bei Mineralfaser-Dämmstoffen. Es ist zwischen Mineralfaser-Putzträgerplatten (MFP) und Mineralfaser-Lamellenplatten (MFL) zu unterscheiden. Die angegebenen Werte wurden nach **Gleichung 6.8/1** berechnet.

## 6.9 Berechnungsgenauigkeit

Das beschriebene Prognoseverfahren für die Schalldämmung von WDVS wurde semiempirisch auf der Grundlage eines umfangreichen Bestandes an Messdaten entwickelt [6.9/1, 6.9/2]. Es ist speziell auf WDVS ausgelegt und wurde so angepasst und optimiert, dass sich für  $\Delta R_w$  die größtmögliche Berechnungsgenauigkeit ergibt. Gegenüber vergleichbaren Modellen aus der Normung, wie z. B. in **DIN EN 12354-1 [6.9/3]**, deren Anwendungsbereich sich gleichermaßen auf alle Arten von Vorsatzkonstruktionen erstreckt, ist das Verfahren daher deutlich zuverlässiger.

Für die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes durch WDVS,  $\Delta R_w$ , ergibt sich eine Berechnungsgenauigkeit von ca.  $\pm 2$  dB (Standardabweichung der Differenz zwischen Messung und Rechnung, im Mittel ist die Differenz gleich Null). Da die Schalldämmung einer Wand mit WDVS nach **Gleichung 6.1/1** additiv aus  $\Delta R_w$  und  $R_{w,o}$  (bewertetes Schalldämmung der Wand ohne WDVS) gebildet wird und die Berechnungsgenauigkeit von  $R_{w,o}$  ebenfalls etwa  $\pm 2$  dB beträgt, ergibt sich für die Gesamtgenauigkeit nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz ein Wert von ca.  $\pm 3$  dB.

Aus diesem Ergebnis erklärt sich auch das Vorhaltemaß in Höhe von 3 dB, das in dem vom DIBt für bauaufsichtliche Zulassungen herangezogenen Berechnungsverfahren enthalten ist [6.1/1]. Ansonsten stimmt das vom DIBt verwendete Verfahren (abgesehen von der Begrenzung der ermittelten Verbesserung auf den Bereich von  $-6 \text{ dB} \leq \Delta R_w \leq 16 \text{ dB}$ ) mit dem hier vorgestellten Prognosemodell überein.

Die obigen Aussagen zur Berechnungsgenauigkeit gelten mit geringen Unterschieden im Wesentlichen auch für das im nachfolgenden Abschnitt beschriebene Prognoseverfahren für  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$ .



# Prognoseverfahren zur Bestimmung von $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$

## 7

### 7.1 Grundprinzip

Da  $R_w + C_{tr,50-5000}$  beim Schallschutz von Außenbauteilen weit besser mit dem menschlichen Hörempfinden korreliert als dies beim bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$  allein der Fall ist, wird im Folgenden eine Berechnungsmethode für  $R_w + C_{tr,50-5000}$  vorgestellt. Das Grundprinzip ist in beiden Fällen gleich: der Wert von  $R_w + C_{tr,50-5000}$  für eine Wand mit WDVS ergibt sich aus dem Wert der ungedämmten Wand,  $(R_w + C_{tr,50-5000})_o$ , zuzüglich der Verbesserung durch das WDVS:

$$R_w + C_{tr,50-5000} = (R_w + C_{tr,50-5000})_o + \Delta(R_w + C_{tr,50-5000}) \quad (7.1/1)$$

Sofern keine Messdaten vorliegen, kann  $(R_w + C_{tr,50-5000})_o$  nach dem in **Abschnitt 6.3** beschriebenen Verfahren rechnerisch ermittelt werden.

Die Berechnung der Verbesserung  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  erfolgt ein wenig anders als bei  $\Delta R_w$ . Zunächst wird gemäß

$$\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_u = \Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s - K'_K - K'_T - K'_S \quad (7.1/2)$$

die Verbesserung ohne Dübel berechnet (der Index u bezeichnet hierbei das unverdübeltete WDVS). Beim Vorhandensein von Dübeln wird  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_u$  gemäß **Abschnitt 7.6** rechnerisch an die veränderten Bedingungen angepasst. Der Ausdruck  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s$  in der obigen Gleichung bezeichnet analog zu **Abschnitt 6.1** die Verbesserung unter Standardbedingungen. Gleiches gilt für die Korrekturen  $K'_K$ ,  $K'_T$  und  $K'_S$ : sie haben die gleiche Bedeutung wie die Korrekturen  $K_K$ ,  $K_T$  und  $K_S$  in **Abschnitt 6.1**, werden allerdings unter Verwendung anderer Koeffizienten ermittelt und weisen deshalb unterschiedliche Zahlenwerte auf.

Die Berechnung der in **Gleichung 7.1.2** enthaltenen Werte ist in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben. Dies gilt ebenso für die Berücksichtigung des akustischen Einflusses von Dübeln.

## 7.2 Verbesserung unter Standardbedingungen $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s$

Die Verbesserung unter Standardbedingungen,  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s$ , bezieht sich auf ein fiktives WDVS, das mit 40 % Klebeflächenanteil ohne Dübel an einer Trägerwand mit  $R_{w,0} = 53$  dB angebracht ist und wird folgendermaßen berechnet:

$$\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s = [(a \lg(f_R) + b) - (c \lg(f_R) + d)] \text{ dB} \quad (7.2/1)$$

Die Koeffizienten a, b, c und d hängen in unterschiedlicher Weise von der Resonanzfrequenz  $f_R$  und von der Art des Dämmstoffs ab (siehe nachfolgende Tabellen).

Resonanzfrequenz $f_R$ [Hz]	Polystyrol		Mineralfaser	
	a	b	a	b
$f_R < 125$ Hz	-38,3	81,0	-45,5	98,1
$125 \text{ Hz} \leq f_R < 250$ Hz	-16,4	35,0	-24,8	54,6
$f_R \geq 250$ Hz	6,8	-20,6	9,8	-28,4

**Tab. 7.2/1:** Koeffizienten a und b zur Berechnung von  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s$  mittels **Gleichung 7.2/1**.

Resonanzfrequenz $f_R$ [Hz]	c	d
$f_R < 100$ Hz	-57,1	120,0
$100 \text{ Hz} \leq f_R < 160$ Hz	-24,3	54,3
$f_R \geq 160$ Hz	-2,0	5,2

**Tab. 7.2/2:** Koeffizienten c und d zur Berechnung von  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s$  mittels **Gleichung 7.2/1**.

Für überschlägige Berechnungen sind die mit obiger Gleichung berechneten Ergebnisse in der nachfolgenden Wertetabelle zusammengefasst

Resonanzfrequenz $f_R$ [Hz]	$\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s$ [dB]	
	Polystyrol	Mineralfaser
$f_R \leq 60$ Hz	-6	-1
$60 \text{ Hz} < f_R \leq 70$ Hz	-5	-1
$70 \text{ Hz} < f_R \leq 80$ Hz	-4	0
$80 \text{ Hz} < f_R \leq 90$ Hz	-3	0
$90 \text{ Hz} < f_R \leq 100$ Hz	-2	1
$100 \text{ Hz} < f_R \leq 120$ Hz	-2	0
$120 \text{ Hz} < f_R \leq 140$ Hz	-3	-1
$140 \text{ Hz} < f_R \leq 160$ Hz	-2	-1
$160 \text{ Hz} < f_R \leq 180$ Hz	-2	-1
$180 \text{ Hz} < f_R \leq 200$ Hz	-3	-3
$200 \text{ Hz} < f_R \leq 220$ Hz	-4	-4
$220 \text{ Hz} < f_R \leq 240$ Hz	-4	-4
$240 \text{ Hz} < f_R$	-4	-4

**Tab. 7.2/3:** Wertetabelle zur überschlägigen Berechnung von  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_s$  (Verbesserung unter Standardbedingungen). Die angegebenen Werte wurden nach **Gleichung 7.2/1** berechnet.

### 7.3 Korrektur für die Klebefläche $K'_k$

Die Korrektur zur Berücksichtigung des akustischen Einflusses der Klebefläche erfolgt gemäß

$$K'_k = (0,043 F - 1,7) \text{ dB}$$

(7.3/1)

wobei F die prozentuale Klebefläche in % bezeichnet. Für überschlägige Berechnungen können die mit der obigen Gleichung berechneten Werte aus der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

prozentuale Klebefläche F [%]	$K'_k$ [dB]
20	-1
40	0
60	1
80	2
100	3

**Tab. 7.3/1:** Wertetabelle zur Bestimmung der Korrektur für die Klebefläche,  $K'_k$ , in Abhängigkeit von der prozentualen Klebefläche F. Die Berechnung von  $K'_k$  erfolgte nach **Gleichung 7.3/1**.

### 7.4 Korrektur für die Trägerwand $K'_T$

Die Berechnungsformel für die Korrektur zur Berücksichtigung des akustischen Einflusses der Trägerwand,  $K'_T$ , lautet:

$$K'_T = (-1,3 \lg(f_R) + 3,4)(R_{w,0} - 53 \text{ dB})$$

(7.4/1)

Hierbei bezeichnen  $f_R$  die Resonanzfrequenz in Hz und  $R_{w,0}$  das bewertete Schalldämm-Maß der ungedämmten Trägerwand. Die Berechnungsergebnisse sind in der nachfolgenden Wertetabelle zusammengestellt:

Resonanzfrequenz $f_R$ [Hz]	$K'_T$ [dB] in Abhängigkeit vom bewerteten Schalldämm-Maß für Trägerwand $R_{w,0}$ [dB]					
	43 - 45	46 - 48	49 - 51	52 - 54	55 - 57	58 - 60
$f_R \leq 60$ Hz	-10	-7	-3	0	3	7
60 Hz < $f_R \leq 80$ Hz	-9	-6	-3	0	3	6
80 Hz < $f_R \leq 100$ Hz	-8	-5	-3	0	3	5
100 Hz < $f_R \leq 140$ Hz	-6	-4	-2	0	2	4
140 Hz < $f_R \leq 200$ Hz	-5	-3	-2	0	2	3
200 Hz < $f_R \leq 300$ Hz	-3	-2	-1	0	1	2
300 Hz < $f_R \leq 400$ Hz	-1	-1	0	0	0	1
400 Hz < $f_R \leq 500$ Hz	0	0	0	0	0	0
500 Hz < $f_R$	1	1	0	0	0	-1

**Tab. 7.4/1:** Wertetabelle zur Bestimmung der Korrektur  $K'_T$  für den akustischen Einfluss der Trägerwand. Falls erforderlich ist zwischen den angegebenen Werten zu interpolieren. Die Berechnung von  $K'_T$  erfolgte nach **Gleichung 7.4/1**.

## 7.5 Korrektur für den Strömungswiderstand bei Mineralfaser $K'_s$

Bei der Korrektur für den Strömungswiderstand  $K'_s$  ist zwischen Mineralfaser-Putzträgerplatten (MFP) und Mineralfaser-Lamellenplatten (MFL) zu unterscheiden (bei WDVS aus Polystyrol ist  $K'_s = 0$  zu setzen). In die nachfolgende Gleichung zur Bestimmung von  $K'_s$  ist der längenbezogene Strömungswiderstand  $r$  in  $\text{kPa s/m}^2$  einzusetzen:

$$K'_s = \begin{cases} (-0,12 r + 3,7) \text{ dB} & \text{für MFP-Systeme} \\ (-0,27 r + 6,9) \text{ dB} & \text{für MFL-Systeme} \end{cases} \quad (7.5/1)$$

Eine numerische Darstellung der die mit obiger Gleichung berechneten Werte ist der nachfolgenden Wertetabelle zu entnehmen:

längenbezogener Strömungswiderstand $r$ [ $\text{kPa s/m}^2$ ]	$K'_s$ [dB]	
	MFP	MFL
10	3	4
15	2	3
20	1	1
25	1	0
30	0	-1
35	0	-3
40	-1	-4

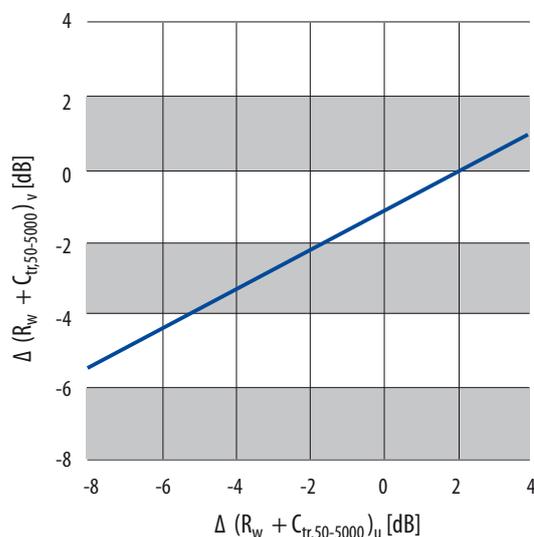
**Tab. 7.5/1:** Wertetabelle zur Bestimmung der Korrektur  $K'_s$  für den Strömungswiderstand bei Mineralfaser-Dämmstoffen. Es ist zwischen Mineralfaser-Putzträgerplatten (MFP) und Mineralfaser-Lamellenplatten (MFL) zu unterscheiden. Die angegebenen Werte wurden nach **Gleichung 7.5/1** berechnet.

## 7.6 $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$ für verdübelte Systeme

Wird das WDVS zusätzlich mit Dübeln befestigt, so beeinflusst dies die Verbesserung der Schalldämmung. Zwischen der Verbesserung in verdübeltem und unverdübeltem Zustand (gekennzeichnet durch die Indizes  $v$  und  $u$ ) besteht folgender Zusammenhang:

$$\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_v = 0,54 \Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_u - 1,2 \text{ dB} \quad (7.6/1)$$

Die Verbesserung des unverdübelten WDVS ergibt sich aus **Gleichung 7.1/2**. Eine grafische Darstellung der obigen Gleichung ist im nachfolgenden Bild aufgetragen:

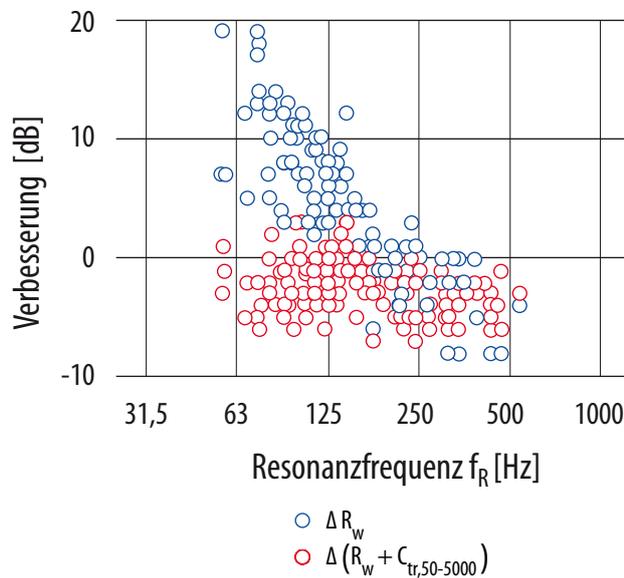


**Bild 7.6/1:** Zusammenhang zwischen der Verbesserung der Schalldämmung mit und ohne Dübel,  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_v$  und  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})_u$  (die Indizes  $v$  und  $u$  bezeichnen den verdübelten und den unverdübelten Zustand). Die Berechnung der Kurve erfolgte nach **Gleichung 7.6/1**.

# Vergleich von $\Delta R_w$ und $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$

Wie bereits erwähnt, stellt die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes,  $\Delta R_w$ , keine adäquate Beurteilungsgröße für das akustische Verhalten von WDVS dar. Zur Beschreibung der effektiv vorhandenen Schallschutzwirkung ist stattdessen  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  heranzuziehen. Es ist deshalb aufschlussreich, die beiden Beurteilungsgrößen miteinander zu vergleichen. Hierzu wurde eine große Anzahl von Messdaten aus bauakustischen Prüfständen gesammelt und ausgewertet. In **Bild 8/1** und der zugehörigen **Tabelle 8/1** (mit statistischen Angaben zu den in dem Bild dargestellten Daten) werden die für  $\Delta R_w$  und  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  ermittelten Werte miteinander verglichen.

Erwartungsgemäß zeigt sich, dass sich für  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  meist niedrigere Werte als für  $\Delta R_w$  ergeben. Im Mittel beträgt die Differenz etwa 6 dB. Gleichzeitig verringern sich die Unterschiede zwischen verschiedenen WDVS (kenntlich an der in der Tabelle aufgeführten Standardabweichung) ungefähr um den Faktor 3: In Bezug auf  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  verhalten sich alle WDVS akustisch verhältnismäßig ähnlich.

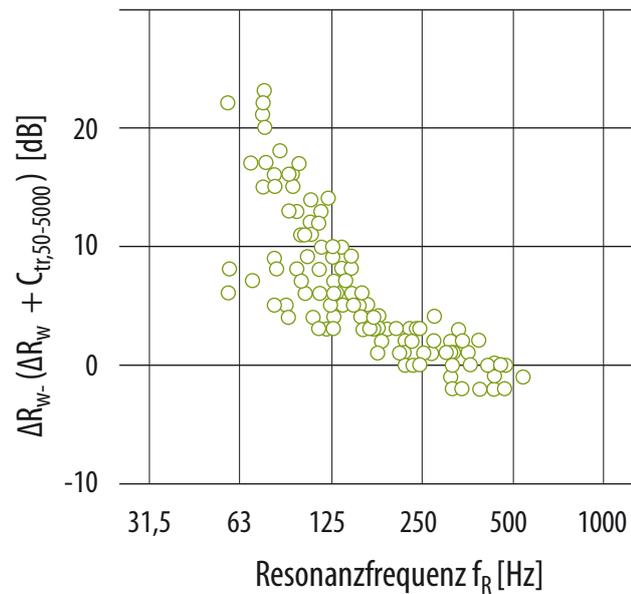


**Bild 8/1:** Vergleich der Verbesserungen  $\Delta R_w$  und  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz. Auswertung von Messdaten für ca. 130 verschiedene Wände mit WDVS.

Statistischer Kennwert	$\Delta R_w$ [dB]	$\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$ [dB]
Mittelwert	3,3	-2,6
Standardabweichung	6,6	2,2
Minimum	-8,0	-7,0
Maximum	19,0	3,0

**Tab.1:** Statistische Auswertung der in **Bild 8/1** aufgetragenen Messdaten.

Weitere Erkenntnisse ergeben sich, wenn man die Daten aus **Bild 8/1** in etwas anderer Weise darstellt und die Differenz  $\Delta R_w - \Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  berechnet (entspricht im Übrigen bis auf das Vorzeichen der Verbesserung  $\Delta C_{tr,50-5000}$ ). Aus den in **Bild 8/2** dargestellten Werten ist zu entnehmen, dass der Zusammenhang zwischen  $\Delta R_w$  und  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  in starkem Maße von der Resonanzfrequenz des WDVS abhängt. Bei niedriger Resonanzfrequenz ist  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  zumeist sehr viel kleiner als  $\Delta R_w$ . Dies ist auf die starken Geräuschanteile von Außenlärm bei tiefen Frequenzen zurückzuführen und sagt aus, dass eine Beurteilung auf Grundlage von  $\Delta R_w$  bei WDVS mit niedriger Resonanzfrequenz eine deutliche Überschätzung der realen Schallschutzwirkung zur Folge hat. Umgekehrt verhält es sich hingegen bei WDVS hoher Resonanzfrequenz. Hier ist  $\Delta R_w$  - wenn auch nur geringfügig - kleiner als  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$ , so dass man bei Verwendung von  $\Delta R_w$  die tatsächliche akustische Wirkung des WDVS etwas unterschätzt.



**Bild 8/2:** Differenz zwischen  $\Delta R_w$  und  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz. Gleicher Datensatz wie in **Bild 8/1**.

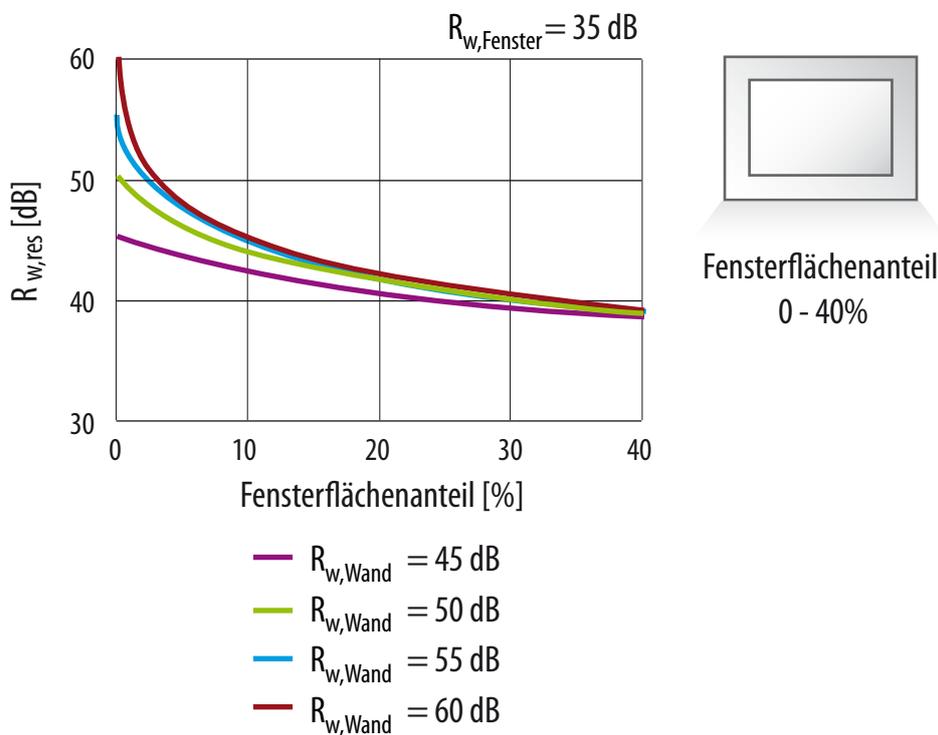


# Außenwände mit Fenstern

# 9

Die Schallschutzanforderungen für Außenbauteile beziehen sich auf das resultierende Schalldämm-Maß  $R_{w,res}$ , das die Schallübertragung aller Bestandteile der Gebäudehülle (als neben der eigentlichen Wandfläche auch Fenster, Rolladenkästen, etc.) umfasst. In die Berechnung von  $R_{w,res}$  nach **Gleichung 2.7/1** gehen daher die Schalldämm-Maße und Flächen aller vorhandenen Wandelemente ein. Die Schallübertragung erfolgt hierbei in der Praxis in vielen Fällen vor allem über die Fenster. Dies gilt selbst dann, wenn die Fenster nur einen verhältnismäßig kleinen Teil der Außenfläche einnehmen, weil sie im Vergleich zur Wand zumeist eine deutlich geringere Schalldämmung aufweisen. Da sich die akustische Wirkung von WDVS auf die eigentliche Wandfläche beschränkt, ist ihr Einfluss auf die resultierende Schalldämmung in solchen Fällen nur gering.

Ein Beispiel für den Einfluss von Fenstern auf die Schalldämmung von Außenwänden ist im nachfolgenden Bild dargestellt. Die Berechnung erfolgte für ein Fenster mit einem bewerteten Schalldämm-Maß von  $R_{w,Fenster} = 35$  dB, was es einem im Wohnungsbau üblichen Wert entspricht. Wie sich dem Bild entnehmen lässt, wird das resultierende Schalldämm-Maß der Gebäudehülle schon bei einem Fensterflächenanteil von etwa 20 % fast ausschließlich durch die Fenster bestimmt, sofern die Schalldämmung der Wand mindestens  $R_{w,Wand} = 45$  dB beträgt (dieser Wert wird in der Regel auch von leichten Außenwänden erreicht). Wird die Schalldämmung der Wand über 45 dB hinaus erhöht, so verbessert sich das resultierende Schalldämm-Maß nur noch unwesentlich (bei völlig schallundurchlässiger Wand würde  $R_{w,res}$  von 40,5 dB auf 42,0 dB ansteigen). Die Anbringung eines WDVS hat in dem betrachteten Fall daher nur einen geringen akustischen Einfluss, der in der Praxis so gut wie keine Rolle spielt.



**Bild 9/1:** Resultierendes Schalldämm-Maß einer Außenwand mit Fenster in Abhängigkeit vom Fensterflächenanteil. Bei der Berechnung wurde von einem Fenster mit einer Schalldämmung von  $R_{w,Fenster} = 35$  dB (Schallschutzklasse 3 nach **VDI 2719 [9/1]**) ausgegangen. Die Berechnung der dargestellten Kurven erfolgte nach **Gleichung 2.7/1**, wobei die Schalldämmung der Wandfläche schrittweise von  $R_{w,Wand} = 45$  dB bis  $R_{w,Wand} = 60$  dB erhöht wurde.

# 10

## Typische akustische Kenngrößen von WDVS

Es kann vorkommen, dass nicht alle für die akustische Auslegung von WDVS erforderlichen technischen Daten verfügbar sind. Dies gilt insbesondere für die dynamische Steifigkeit  $s' = E_{\text{dyn}} / d$  (mit  $E_{\text{dyn}}$  = dynamischer Elastizitätsmodul und  $d$  = Dämmstoffdicke) sowie bei Mineralfaser-Dämmstoffen außerdem für den längenbezogenen Strömungswiderstand  $r$ . Um in solchen Fällen dennoch eine grobe Abschätzung zu ermöglichen, kann es sinnvoll sein, die fehlenden Daten durch repräsentative materialspezifische Mittelwerte zu ersetzen. Um hierbei Hilfestellung zu leisten, wurde ein umfangreicher Fundus von akustischen Messdaten statistisch ausgewertet. Die ermittelten Ergebnisse sind in den beiden nachfolgenden Tabellen zusammengefasst:

Material	dyn. Elastizitätsmodul $E_{\text{dyn}}$ [MN/m <sup>2</sup> ]		
	Mittelwert	Standardabweichung	Wertebereich
EPS	3,0	1,7	1,2 – 6,0
elastifiziertes EPS	0,7	0,2	0,5 – 1,0
Mineralfaser-Putzträgerplatten	0,5	0,1	0,4 – 0,8
Mineralfaser-Lamellenplatten	6,3	2,9	1,1 – 14,0

**Tab. 10/1:** Dynamischer Elastizitätsmodul von bauüblichen Dämmstoffen als Bestandteil von WDVS. Statistische Auswertung von ca. 200 Prüfstandsmessungen. Neben Mittelwert und Standardabweichung ist außerdem der Wertebereich der zugrunde liegenden Daten (Spanne zwischen Minimum und Maximum) mit angegeben.

Material	längenbezogener Strömungswert $r$ [kPa s/m <sup>2</sup> ]		
	Mittelwert	Standardabweichung	Wertebereich
Mineralfaser-Putzträgerplatten	32	13	20 – 64
Mineralfaser-Lamellenplatten	25	7	17 – 40

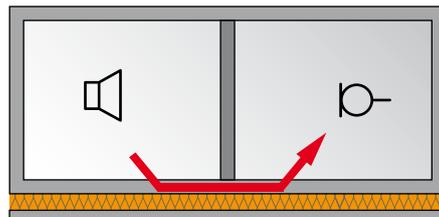
**Tab. 10/2:** Längenbezogener Strömungswiderstand von Mineralfaser-Dämmstoffen für WDVS. Statistische Auswertung von ca. 70 Prüfstandsmessungen. Gleiche Darstellung wie in **Tabelle 10/1**.



# Schall-Längsleitung und Sonderkonstruktionen

11

Die Schallübertragung zwischen benachbarten Räumen erfolgt nicht nur über die Trennwand, sondern auch über flankierende Bauteile. Bei Räumen, die über Außenwände verfügen, stellt sich daher die Frage, ob die Anbringung von WDVS die Schall-Längsleitung über die Außenwand beeinflusst (der resultierende Schallübertragungsweg ist in **Bild 11/1** dargestellt). Untersuchungen im Rahmen eines Forschungsvorhabens ergaben, dass dies bei WDVS im Gegensatz zu innenseitig angebrachten Dämmsystemen nicht der Fall ist **[11/1]**. Wärmedämm-Verbundsysteme auf der Außenseite von Bauten brauchen also beim Schallschutznachweis für den Innenbereich nicht berücksichtigt zu werden.



**Bild 11/1** Schall-Längsleitung zwischen angrenzenden Räumen über die Außenwand. Dargestellt ist der Hauptübertragungsweg  $F_f$ . Die beiden übrigen Wege  $D_f$  und  $F_d$  (hier nicht eingezeichnet) spielen demgegenüber normalerweise nur eine untergeordnete Rolle.

Neben den in den vorangehenden Abschnitten betrachteten bauüblichen Konstruktionen gibt es in der Praxis zahlreiche Sonderfälle, auf die nicht näher eingegangen werden konnte. Im Folgenden werden zu den wichtigsten dieser Fälle in kurzer Form praktische Hinweise gegeben:

## WDVS auf Lochsteinwänden

Zum akustischen Verhalten von WDVS auf Lochsteinwänden (z. B. Mauerwerk aus Hochlochziegeln) liegen bislang nur wenige Ergebnisse vor. Es ist nicht auszuschließen, dass sich die Eigenschwingungen der Steine und die Bauteilresonanz des WDVS gegenseitig beeinflussen. Nach derzeitigem Wissenstand ist das oben beschriebene Prognoseverfahren jedoch näherungsweise auch bei Lochsteinwänden anwendbar **[11/1]**. Die Schalldämmung der Trägerwand,  $R_{w,0}$ , muss dabei allerdings messtechnisch ermittelt werden, weil die Massekurve nach **Gleichung 6.3/1** bei Lochsteinwänden nicht anwendbar ist.

## Keramische Bekleidung

Gelegentlich wird bei WDVS die Dämmschicht anstatt von Putz mit einer plattenförmigen Bekleidung aus Klinkern, keramischen Fliesen oder anderen Baustoffen versehen. Hierzu sind bislang ebenfalls nur wenige akustische Erfahrungen vorhanden. In erster Näherung kann die Prognose der Schalldämmung jedoch auch hier in gleicher Weise wie bei verputzten WDVS erfolgen, wobei die flächenbezogene Masse der Putzschicht durch die entsprechende Masse der Bekleidung zu ersetzen ist.

## WDVS an Leichtbauwänden

Die Anbringung von WDVS an Wänden in Holz- und Leichtbauweise stellt eher eine Ausnahme dar, da derartige Wände zumeist bereits von sich aus über eine gute Wärmedämmung verfügen. Den derzeitigen Kenntnissen zufolge verhalten sich WDVS an Ständerwänden im Prinzip akustisch ähnlich wie an Massivwänden. Allerdings treten die meisten Effekte, wie z. B. die Abhängigkeit der Schalldämmung von der Resonanzfrequenz und der Schalldämmung der Trägerwand, in abgeschwächter Form in Erscheinung. Ein Prognoseverfahren für den Einsatz von WDVS im Holzbau findet sich z. B. in **[11/2]**.

Die Anbringung von WDVS beeinflusst in starkem Maße das akustische Verhalten der Trägerwand, wobei sowohl eine Erhöhung als auch eine Verminderung der Schalldämmung erfolgen kann. Wichtigste Beurteilungsgröße ist die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes,  $\Delta R_{w,r}$ , die auch für den Schallschutznachweis nach **DIN 4109** heranzuziehen ist. Neben der Resonanzfrequenz und dem Schalldämm-Maß der Trägerwand hängt  $\Delta R_w$  - wenn auch in geringerem Maße - von dem Anteil der Klebefläche, der Befestigung mit Dübeln sowie bei Mineralfaser-Dämmstoffen außerdem vom Strömungswiderstand ab. Die höchsten Verbesserungen (bis etwa 20 dB) werden bei niedriger Resonanzfrequenz und geringer Schalldämmung der Trägerwand erreicht, während für WDVS mit hoher Resonanzfrequenz bei Anbringung an schweren Wänden Verschlechterungen von bis zu 10 dB auftreten können.

Bei den genannten Werten ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes - obgleich in den geltenden Normen verankert - kein geeignete Größe zur Beurteilung der Schallschutzwirkung von Außenbauteilen darstellt. Dies liegt vor allem daran, dass die tieffrequenten Geräuschanteile, die in Außenlärm in starkem Maße vorhanden sind, bei der Berechnung von  $\Delta R_w$  unberücksichtigt bleiben. Für eine realistische Bewertung der Schallschutzwirkung sollte deshalb im Normalfall statt  $\Delta R_w$  die Größe  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  herangezogen werden, in der  $C_{tr,50-5000}$  den Spektrum-Anpassungswert für Verkehrsgeräusche nach **DIN EN ISO 717-1** bezeichnet. Der Wertebereich für  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  reicht von etwa -7 dB bis +3 dB, so dass die akustischen Verbesserungen erheblich geringer ausfallen und die Unterschiede zwischen verschiedenartigen WDVS (vor allem im Hinblick auf den Einfluss der Resonanzfrequenz) weitgehend nivelliert werden.

Da sich die Schallschutzanforderungen auf das resultierende Schalldämm-Maß aller Außenbauteile beziehen, müssen auch die in der Außenwand vorhandenen Fenster in die akustischen Betrachtungen einbezogen werden. Obgleich Fenster oft nur einen verhältnismäßig kleinen Teil der Außenfläche einnehmen, bilden sie wegen ihrer vergleichsweise geringen Schalldämmung vielfach den maßgebenden Übertragungsweg. Der akustische Einfluss von WDVS ist in diesem Fall gering, da er sich auf die eigentliche Wandfläche beschränkt. Akustische Kriterien spielen dann bei der Planung und Auslegung von WDVS nur noch eine untergeordnete Rolle.

Soweit WDVS maßgeblich zum baulichen Schallschutz beitragen, lässt sich die Verbesserung der Schalldämmung mit einer für die Praxis hinreichenden Genauigkeit mit dem in den vorangehenden Abschnitten beschriebenen Prognoseverfahren bestimmen. Das Verfahren erlaubt es, sowohl  $\Delta R_w$  als auch  $\Delta(R_w + C_{tr,50-5000})$  zu berechnen, so dass eine realistische und praxiserichte Beurteilung der Schallschutzwirkung erfolgen kann.

- [2.2/1] DIN 45631: Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum, Verfahren nach E. Zwicker (März 1991).
- [2.3/1] DIN EN 1793-3: Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum (Nov. 1997).
- [2.4/1] Gösele, K.: Zur Luftschalldämmung von einschaligen Wänden und Decken. *Acustica* 20 (1968), S. 334 - 342.
- [2.4/2] Weber, L.: Kriterien für die schalltechnisch günstige Ausführung von Wänden aus gelochten Mauersteinen, 1. Projektabschnitt. IBP-Bericht B-BA 3/2002 im Auftrag des DIBt (2002).
- [2.5/1] DIN EN ISO 717-1: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung (Nov. 2006).
- [2.6/1] Weber, L.; Koch, S.: Anwendung von Spektrum-Anpassungswerten - Teil 1: Luftschalldämmung. *Bauphysik* 21 (1999), H. 4, S. 167 - 170.
- [3/1] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau - Anforderungen und Nachweise (Nov. 1989).
- [3.2] DIN 18005-1: Schallschutz im Städtebau - Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung (Juli 2002).
- [3/3] VDI 4100: Schallschutz von Wohnungen - Kriterien für Planung und Beurteilung (August 2007).
- [3/4] BGH-Urteil VII ZR 45-06 vom 14.06.2007 zum Schallschutz zwischen Doppelhaushälften.
- [3/5] BGH-Urteil VII-ZR-54-07 vom 04.06.2009 zum Schallschutz bei Eigentumswohnungen.
- [6.1/1] Beschlussbuch des DIBt SVA B2 „Schalldämmung und Schalldämmstoffe“, Beschluss-Nr. 3.22, S. 1 - 4, Stand März 2010.
- [6.3/1] DIN 4109, Bbl. 1: Schallschutz im Hochbau, Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren (Nov. 1989).
- [6.3/2] DIN 4109, Bbl. 3: Schallschutz im Hochbau - Berechnung von  $R'_{w,R}$  für den Nachweis der Eignung nach DIN 4109 aus Werten des im Labor ermittelten Schalldämm-Maßes  $R_w$  (Juni 1996).
- [6.9/1] Weber, L.; Brandstetter, D.: Einheitliche schalltechnische Bemessung von Wärmedämm-Verbundsystemen. IBP-Bericht B-BA 6/2002 im Auftrag des DIBt und des Fachverbandes Wärmedämm-Verbundsysteme e. V. (2003)
- [6.9/2] Weber, L.: Einheitliche schalltechnische Bemessung von Wärmedämm-Verbundsystemen - Ergänzung des Berechnungsverfahrens. IBP-Bericht B-BA 4/2005 im Auftrag des DIBt (2005).
- [6.9/3] DIN EN 12354-1: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen (Dez. 2000).
- [9/1] VDI 2719: Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen (August 1987).
- [11/1] Weber, L.; Zhang, Y.; Brandstetter, D.: Untersuchung der Schall-Längsdämmung von Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystemen. IBP-Bericht B-BA 4/2002 im Auftrag des BBR (2003).
- [11/2] Rabold, A.; Hessinger, J.; Bacher, S.; Fuhrer, M.: Erarbeitung eines Prognoseverfahrens zur Bestimmung der Schalldämmung von Holzständerwänden auf der Grundlage der Konstruktion und der verwendeten Werkstoffe. Bericht Nr. 310 2910 des ift im Auftrag von DGfH und BBR (Nov. 2006).

# A

## Zum Autor:

### Dr. Lutz Weber

Nach dem Physik-Studium an der TU-Darmstadt erfolgte eine Promotion am Max-Planck Institut für Festkörperforschung und der Universität Würzburg. Danach schloss sich eine dreijährige Tätigkeit im Bereich Schall-Immissionsschutz bei der TÜV Umwelttechnik GmbH an. Seit 1996 ist Hr. Dr. Weber als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Gruppenleiter Bauakustik am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Stuttgart beschäftigt. Seit 2001 leitet er dort außerdem die bauakustische Prüfstelle.

Der Autor ist ein ausgewiesener Fachmann auf dem Gebiet der Bauakustik und hat zahlreiche bauakustische Forschungsvorhaben bearbeitet, darunter auch drei Projekte zum Thema WDVS. Daneben arbeitet er in mehreren Normungsgremien und Sachverständigenausschüssen mit und hat über hundert Fachveröffentlichungen und Tagungsbeiträge verfasst. Des Weiteren sind die Tätigkeit als Lehrbeauftragter für die Fächer „Schall-Immissionsschutz“ und „Körperschall im Bauwesen“ an der Universität Stuttgart sowie die Betreuung zahlreicher Diplomarbeiten zu nennen.



***Bildnachweis:***

**alsecco** (Seite 9 und 16), **Caparol** (Seite 13), **Keim Farben** (Seite 4, 30 und 38), **sto** (Seite 17, 23 und 36)

## **Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.**

Fremersbergstraße 33  
76530 Baden-Baden

**Telefon:** +49 (0) 7221-300989-0

**Fax:** +49 (0) 7221-300989-9

**E-mail:** [info@heizkosten-einsparen.de](mailto:info@heizkosten-einsparen.de)

**i-net:** [www.heizkosten-einsparen.de](http://www.heizkosten-einsparen.de)