

# Schalldämmung und Schallschutz – Vergleich von bewertetem Bau-Schalldämm-Maß $R'_w$ und bewerteter Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$

In DIN 4109 wird die Schalldämmung, ausgedrückt mit der kennzeichnenden Größe  $R'_w$ , zur Beschreibung des Schallschutzes verwendet. Schalldämmung und Schallschutz beschreiben jedoch unterschiedliche Sachverhalte. Die Schalldämmung kennzeichnet eine Qualität eines Trennbauteils als „Widerstand“ mit der kennzeichnenden Größe „Schalldämm-Maß,  $R$ “ und der Schallschutz beschreibt eine Qualität des Schutzes zwischen zwei Räumen vor Schallübertragungen und wird mit der kennzeichnenden Größe „Schallpegeldifferenz,  $D$ “ ausgedrückt. Durch Vergleich beider Kenngrößen wird klar, dass ein Unterschied bestehen muss, der sich nicht nur algebraisch in den Gleichungen darstellen lässt. Werden gleiche Räume objektiv und subjektiv untersucht, zeigen sich Unterschiede sowohl in der Einzahlangabe als auch in der Wahrnehmung. Insbesondere im Hörvergleich hat sich gezeigt, dass das bewertete Schalldämm-Maß ( $R'_w$ ) uneinheitlich in subjektiver Hinsicht bewertet wird, wohingegen die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz ( $D_{nT,w}$ ) eine deutliche „Korrelation“ zeigt.

**Stichworte** Schalldämmung; subjektive Wahrnehmung; Hörereignis; Schallschutz; Hörvergleich

## 1 Einleitung

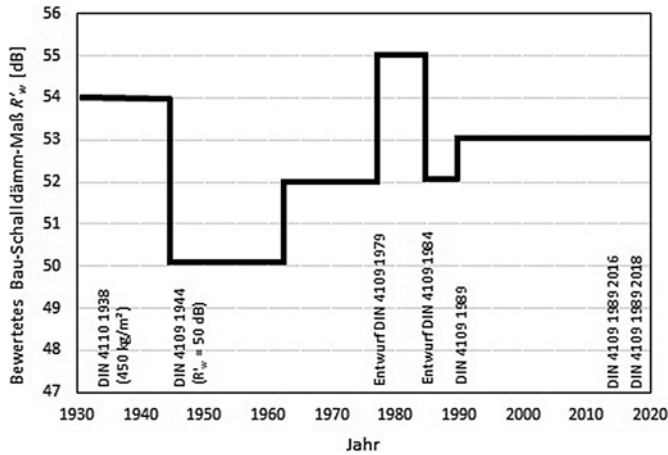
Die Beschreibung des Schallschutzes mithilfe der Schalldämmung ist historisch gesehen tradiert und die Geschichte der Schallschutznormung in Deutschland geht weit zurück bis vor 1938 wo „Scheidewände“ mindestens 450 kg/m<sup>2</sup> schwer sein mussten. Heute würde man sagen, dies entspricht einer Luftschalldämmung von mindestens  $R'_w = 54 - 56$  dB [1]. Nach 1938 wurde DIN 4110 Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen [2] veröffentlicht und das geforderte Schalldämm-Maß betrug:  $R'_w = 52$  dB. Im Jahre 1944 wurde dann erstmals die heute noch die für den Schallschutz in bauordnungsrechtlichem Sinn zuständige DIN 4109 Richtlinien für den Schallschutz im Hochbau [3] veröffentlicht. Es wurde damals für Trennwände zwischen Wohnungen im Bereich von 100 bis 3000 Hz ein Mindestschallschutz von 48 dB (als sogenannte Schalldämmzahl) gefordert, was heute einem bewerteten Schalldämm-Maß von etwa 50 dB entspricht. Bereits in DIN 4109, Ausgabe 1944 wird sehr dezidiert auf die Notwendigkeit eines ausreichenden Schallschutzes hingewiesen, so heißt es z. B. in der Einleitung: „Der Schallschutz ist im Hochbau vielfach nicht genügend beachtet worden, obwohl sich im

**Sound insulation and soundproofing. Comparison of weighted normalized apparent sound reduction index  $R'_w$  and weighted standardized level difference  $D_{nT,w}$**

In the German standard DIN 4109, sound insulation, expressed by the characteristic quantity “ $R'_w$ ”, is used to indicate soundproofing. However, sound insulation and soundproofing describe different facts. Sound insulation indicates a quality of a separating element as “resistance” with the characteristic quantity “sound reduction index,  $R$ ” and soundproofing describes a quality of protection between two rooms against sound transmissions and is expressed by the characteristic quantity “level difference,  $D$ ”. By comparing the two measures, it becomes clear that there must be a “difference” that can be represented not only algebraically in the equations. If the same rooms are examined objectively and subjectively, differences can be seen in both the number indication and the perception. In particular, it has been shown that the the rated normalized apparent sound reduction index ( $R'_w$ ) is assessed inconsistently in subjective terms, whereas the rated standardized level difference ( $D_{nT,w}$ ) shows a strong “correlation”.

**Keywords** sound insulation; subjective perception; hearing event; soundproofing; hearing comparison

*Zeitalter der Technik die Geräuschquellen wesentlich vermehrt haben, auch in den Wohnungen (Lautsprecher). Die Verwendung leichterer oder billigerer Baustoffe hat überdies häufig auch noch zu einer Verminderung des Schallschutzes geführt.“* Dieser Sachverhalt ist auch heute noch aktuell. Bereits zur damaligen Zeit hat man erkannt, wie es in DIN 4109 (1944) formuliert wurde: *„Lärmwirkungen können die Gesundheit der Menschen schädigen und ihre Leistungsfähigkeit herabsetzen. Deshalb muß der Mensch in seiner Wohnung vor Lärmeinwirkungen möglichst geschützt werden.“* 1962 erschien dann eine neue DIN 4109 [4] und mit ihr wurde der Schallschutz wieder angehoben auf  $R'_w = 52$  dB. Mit dem Entwurf DIN 4109 [5] erfolgte 1979 eine vollständige Überarbeitung und Angleichung der Anforderungen an die Bedürfnisse der Nutzer mit  $R'_w = 55$  dB der dann 1984 im Entwurf DIN 4109 [6] wieder reduziert wurde auf:  $R'_w = 52$  dB. Seit 1989 gilt die Anforderung  $R'_w = 53$  dB [7, 8, 9]. In Bild 2 ist der geschichtliche Verlauf der Entwicklung der Anforderungen in der Norm DIN 4109 grafisch wiedergegeben. Aus der Grafik lässt sich gut die Schwankung der Anforderungen an den baulichen Schallschutz ablesen. Eine Entwicklung hin zu höheren Dämmwerten ist allerdings nicht erkennbar.



**Bild 1** Entwicklung der Mindestanforderungen an den Schallschutz für Wohnungstrennwände im Geschosswohnungsbau in Deutschland  
Development of the minimum sound insulation requirements for partition walls in multi-storey residential buildings in Germany

Das Ziel, den Menschen in deren Wohnungen vor Lärmeinwirkungen zu schützen, ist damit ein historisches Ziel, das immer noch angestrebt wird. In der Einleitung in DIN 4109-1 (2018) heißt es z. B.: „Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass der von den Bewohnern oder von in der Nähe befindlichen Personen wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der nicht gesundheitsgefährdend ist und bei dem zufriedenstellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.“ Es gilt also die Maxime „Der Schallschutz muss dem Menschen dienen“. Dieser Anspruch, welcher in [10] ausführlich dargestellt wurde, ist demnach schon immer das Ziel der Normung zum baulichen Schallschutz gewesen. Es stellt sich nun die Frage, inwiefern kann eine Bauteileigenschaft, nämlich das Schalldämm-Maß, die Bedürfnisse, dass: „...von den Bewohnern ... der wahrgenommene Schall auf einem Pegel gehalten wird, der ... bei dem zufriedenstellende Nachtruhe-, Freizeit- und Arbeitsbedingungen sichergestellt sind.“ widerspiegeln. Die vereinbarte Zielorientierung, dass der „wahrgenommene Schall“ einen bestimmten „Pegel“ einhalten soll, stellt somit auf den „gehörten Schallpegel“ ab. Es wird also direkt auf den „Empfangspegel“ abgezielt, der in der Standard-Schallpegeldifferenz als Bezugsgröße zur Beurteilung des Schallschutzes vorliegt. Es ist daher von großem Interesse, die Verknüpfung von Schalldämmung und Schallschutz genauer zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden die entsprechenden Gleichungen zur Ermittlung der kennzeichnenden Größen rechnerisch untersucht, orientierende Hörtests durchgeführt und in Bezug auf den tatsächlichen, d. h. wahrgenommenen Schallschutz hin bewertet.

## 2 Beschreibung der Kenngrößen

Die Ermittlung der kennzeichnenden Größen zur Beschreibung der Schalldämmung und des Schallschutzes beziehen sich bei der messtechnischen Erfassung auf eine Schallpegeldifferenz ( $L_S - L_E$ ). Diese ist für die vorliegende Untersuchung für jede Messgröße ( $R'_w$ ,  $D_{nT,w}$ ) gleich,

sodass die Ermittlung der Schalldruckpegeldifferenzen zwischen Senderraum ( $L_S$ ) und Empfangsraum ( $L_E$ ) und die damit zusammenhängenden Fehler und Unsicherheiten an dieser Stelle nicht diskutiert werden. Hierzu wird beispielhaft auf die Literatur verwiesen [11, 12, 13].

### 2.1 Schalldämm-Maß $R'$ , $R'_w$

Das Schalldämm-Maß  $R$  ist über den zehnfachen dekadischen Logarithmus des Verhältnisses der im Senderraum auf ein Trennbauteil auftreffenden und im Empfangsraum von dem Trennbauteil abgestrahlten Schalleistung definiert. Werden alle an der Schallübertragung beteiligten Übertragungswege einbezogen, ergibt sich das Bau-Schalldämm-Maß  $R'$ . Es wird nach Gl. (1) berechnet:

$$R' = L_S - L_E + 10 \lg(S/A) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Dabei ist

- $L_S$  der energetisch gemittelte Schalldruckpegel im Senderraum, in dB
- $L_E$  der energetisch gemittelte Schalldruckpegel im Empfangsraum, in dB
- $S$  die Fläche des Trennbauteils, in m<sup>2</sup>
- $A$  die äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum, in m<sup>2</sup>

Die Berechnung der äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  im Empfangsraum erfolgt auf der Grundlage der gemessenen Nachhallzeit  $T$  unter Anwendung der Sabine'schen Gleichung.

Die Messung der Luftschalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau wird in DIN EN ISO 16283-1 [14] geregelt, wonach die äquivalente Absorptionsfläche des Empfangsraumes nach Gl. (2) ermittelt wird.

$$A = 0,16 V/T \quad [\text{m}^2] \quad (2)$$

Dabei ist

- $V$  das Volumen des Empfangsraumes, in m<sup>3</sup>
- $T$  die Nachhallzeit im Empfangsraum, in s

Das Ergebnis der Berechnungen zur Ermittlung des Bau-Schalldämm-Maßes  $R'$  ist streng von der Anwendung der Sabine'schen Formel, d. h. der Anwendbarkeit der Gl. (2), abhängig. Es müssen damit bei der Bestimmung des Bau-Schalldämm-Maßes zwei wichtige Voraussetzungen erfüllt sein. Zum einen die Gültigkeit der statistischen Nachhallzeittheorie nach Sabine und zum anderen die Messtechnik der Nachhallzeitmessung im Empfangsraum.

Wird Gl. (2) in Gl. (1) eingesetzt, folgt:

$$R' = \Delta L + 10 \lg(S/V) + 10 \lg(T) + 8 \text{ dB} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

Der Kehrwert des Verhältnisses  $S/V$  spiegelt bei Trenndecken die Raumhöhe  $h$  und bei Trennwänden ent-

weder die Raumbreite  $b$  oder die Raumlänge  $l$  wider. Bei der Untersuchung von Trennwänden ist also die Zuordnung der Raumdimension nicht bestimmt. Der Zahlenwert von 8 dB ergibt sich aus der Anwendung der Sabine'schen Gleichung aus dem Verhältnis  $(24 \ln 10/c_0)$ , wobei  $c_0$  die Schallgeschwindigkeit in Luft darstellt. Für das mit 0,16 angenommene Verhältnis  $(24 \ln 10/c_0)$  ist die Schallgeschwindigkeit mit 345,6 m/s anzunehmen [15].

Das Bau-Schalldämm-Maß  $R'$  ist frequenzabhängig. Um eine Einzahl der frequenzabhängigen Schalldämm-Maße zu erhalten, wird das bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  mithilfe einer Bezugskurve nach DIN EN ISO 717-1 [16] ermittelt und dient zur Kennzeichnung der Luftschalldämmung von Bauteilen. Das aus Messungen oder Berechnungen ermittelte bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  wird mit den Anforderungen nach DIN 4109-1 verglichen und dient somit als Nachweisgröße für den baulichen Schallschutz nach DIN 4109.

DIN EN ISO 16283-1 beschreibt den Sachverhalt, dass das Bau-Schalldämm-Maß  $R'$  im Vergleich mit der Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT}$  eine schwächere Verbindung zum subjektiven Eindruck der Luftschalldämmung aufweist.

## 2.2 Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT}$

Die Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT}$  ist definiert über die Schalldruckpegeldifferenz zwischen Send- und Empfangsraum unter Verwendung einer Bezugsnachhallzeit  $T_0$ . Die Schallpegeldifferenz wird messtechnisch durch räumliche und zeitliche Mittelung der jeweiligen Schalldruckpegel frequenzabhängig ermittelt. Die im Empfangsraum ermittelte frequenzabhängige Nachhallzeit wird auf die Bezugsnachhallzeit normiert und berücksichtigt damit die raumakustischen Eigenschaften des Empfangsraumes. Damit stellt der Empfangspegel eine normierte Größe dar. Die Standard-Schallpegeldifferenz wird nach Gl. (4) berechnet:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg(T/T_0) \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

Dabei ist

$L_S$  der energetisch gemittelte Schalldruckpegel im Senderraum, in dB

$L_E$  der energetisch gemittelte Schalldruckpegel im Empfangsraum, in dB

$T$  die Nachhallzeit im Empfangsraum, in s

$T_0$  die Bezugsnachhallzeit, in s

Die Standard-Schallpegeldifferenz ist nicht von der Gültigkeit der Sabine'schen Gleichung abhängig. Es muss damit bei der Bestimmung der Standard-Schallpegeldifferenz nur eine Voraussetzung erfüllt sein: Die korrekte Nachhallzeitmessung im Empfangsraum (Messgenauigkeit). Die Bezugsnachhallzeit wurde international für Wohnräume auf 0,5 s festgelegt. Wird die Bezugsnach-

hallzeit in Gl. (4) eingesetzt, ergibt sich nachstehende Gleichung:

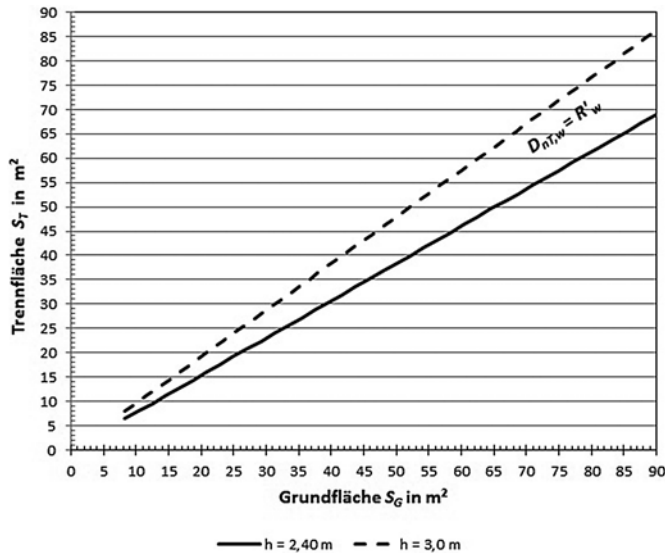
$$D_{nT} = \Delta L + 10 \lg(T) + 3 \text{ dB} \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

Die Standard-Schallpegeldifferenz ist frequenzabhängig. Um eine Einzahl der frequenzabhängigen Standard-Schallpegeldifferenz zu erhalten, wird die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  mithilfe einer Bezugskurve nach DIN EN ISO 717-1 ermittelt und dient zur Kennzeichnung des Schallschutzes zwischen Räumen. Die aus Messungen oder Berechnungen ermittelte bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  kann mit den Anforderungen nach VDI 4100 [17] verglichen werden und dient somit als Nachweisgröße für den erhöhten baulichen Schallschutz im Wohnungsbau nach VDI 4100.

DIN EN ISO 16283-1 beschreibt den Sachverhalt, dass die Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT}$  eine direkte Verbindung zum subjektiven Eindruck der Luftschalldämmung liefert.

## 3 Verknüpfung von $R'_w$ und $D_{nT,w}$

In der Literatur [18–21] wird immer wieder dargestellt, dass bei gleichem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  der tatsächlich wahrgenommene Schallschutz unterschiedlich bewertet wird. Dies kann zum einen auf den unterschiedlichen Frequenzverläufen der Schalldämmung zurückgeführt werden oder aber auf den inhärenten Eigenschaften der Bauteilkenngroße „Schalldämm-Maß“. Betrachtet man die Zahlenwertgleichung für die Ermittlung der Schalldämmung, ausgedrückt als  $R'_w$ , erkennt man, dass das Schalldämm-Maß durch die Schalldruckpegeldifferenz ( $L_S - L_E$ ) und dem Korrekturglied  $10 \lg(S/A)$  bestimmt wird. Auch die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  ist durch die Schalldruckpegeldifferenz ( $L_S - L_E$ ) und einem Korrekturglied  $10 \lg(T/T_0)$  bestimmt. Beiden Kenngrößen gemeinsam ist also die Schalldruckpegeldifferenz ( $L_S - L_E$ ) zwischen Send- und Empfangsraum. Die beide Größen  $R'_w$  und  $D_{nT,w}$  stimmen zahlenmäßig überein, wenn das Verhältnis von Raumvolumen  $V$  zu Trennbauteil  $S$  den Wert von 3,125 m entspricht. Beim gewöhnlichen Wohnungsbau beträgt die Raumhöhe mindestens 2,40 m (außer im Dachgeschoss, dort muss die Höhe mindestens 2,20 m betragen). Für Arbeitsräume ist üblicherweise die Raumhöhe mindestens 3 m. Die Mindestgrundfläche eines Raumes wird unterschiedlich festgelegt. So ist in dem Wohnungsaufsichtsgesetzes (WoAufG) bestimmt, dass den Mindestanforderungen an gesunde Wohnverhältnisse nicht genügt ist, wenn nicht wenigstens ein zum Wohnen bestimmter Raum eine Grundfläche von mindestens 9 m<sup>2</sup> hat [22]. Die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) schreiben vor, dass unabhängig von der Tätigkeit als Arbeitsräume nur Räume genutzt werden dürfen, deren Grundflächen mindestens 8 m<sup>2</sup> betragen [23]. Auch VDI 4100 bestimmt in ihrem Anwendungsbereich, dass schutzbedürftige Räume eine Grundfläche von  $\geq 8 \text{ m}^2$  aufweisen



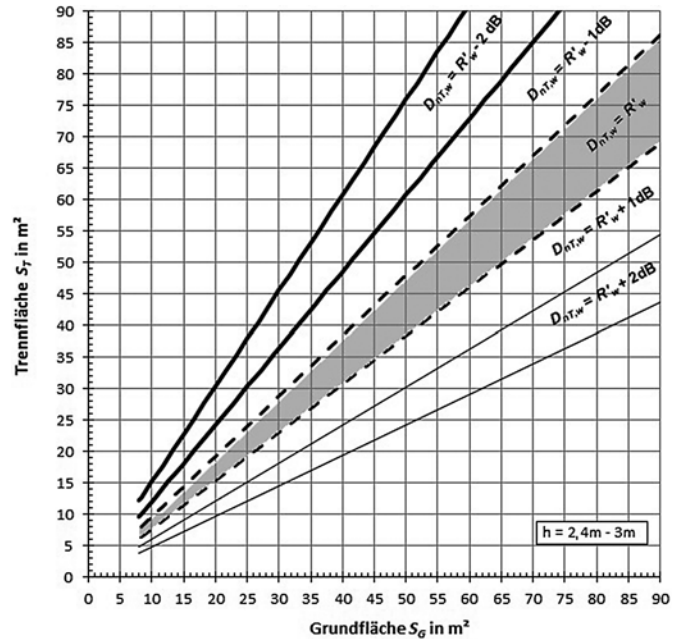
**Bild 2** Darstellung der Differenz  $R'_w - D_{nT,w} = 0$  in Abhängigkeit der geometrischen Verhältnisse Trennfläche  $S_T$  und Grundfläche  $S_G$ ; die Mindestgrundfläche beträgt  $8 \text{ m}^2$ , die Raumhöhe beträgt zwischen  $2,40 \text{ m}$  und  $3,0 \text{ m}$

Difference  $R'_w - D_{nT,w} = 0$  depending on the geometrical conditions: separating surface  $S_T$  and base surface  $S_G$ ; the minimum floor area is  $8 \text{ m}^2$ , the room height is between  $2,40 \text{ m}$  and  $3,0 \text{ m}$

müssen. Für die vorliegende Untersuchung wird deshalb eine Mindestgröße der Grundfläche eines Raumes von  $8 \text{ m}^2$  festgelegt und die Raumhöhe zwischen  $2,40 \text{ m}$  und  $3,0 \text{ m}$ . Damit ergibt sich für die Fallunterscheidung  $R'_w = D_{nT,w}$  die Grafik in Bild 2.

Aus Bild 2 ist ersichtlich, dass rechnerisch auf Basis der Gln. (1) und (4) die Gleichheit von  $R'_w$  und  $D_{nT,w}$  immer dann gegeben ist, wenn die Grundfläche  $S_G$  nicht größer ist als die Trennfläche  $S_T$ . Weicht die Trennfläche von der Grundfläche ab, ergeben sich Unterschiede zwischen  $R'_w$  und  $D_{nT,w}$ . Wird eine Differenz ( $R'_w - D_{nT,w}$ ) von  $\pm 1 \text{ dB}$  und von  $\pm 2 \text{ dB}$  zugelassen, ergibt sich die grafische Darstellung wie in Bild 3 gezeigt. Weicht die Trennfläche von der Grundfläche ab, vergrößert sich der Unterschied und Abweichungen von mehreren Dezibel treten auf. Diese Abweichungen ergeben sich aus den geometrischen Verhältnissen und sind nicht „akustisch“ bedingt. Aus Bild 3 ist ablesbar, dass bei üblichen Grundrissen, also z. B. Räume zwischen  $10$  und  $20 \text{ m}^2$  Grundfläche, die Differenz zwischen  $D_{nT,w}$  und  $R'_w$  rechnerisch nicht größer als  $+2 \text{ dB}$  beträgt. Die Standard-Schallpegeldifferenz wird erst dann kleiner, wenn die Trennfläche größer wird als die Grundfläche. Dies kann nur bei Trennwänden der Fall sein und nicht für Trenndecken.

Grundsätzlich lässt sich das geometrische Verhältnis von Raumvolumen zu Trennfläche  $V/S$  auch auflösen und es resultiert daraus entweder eine funktionale Abhängigkeit von der Raumtiefe  $b$ , der Raumlänge  $l$  oder der Raumhöhe  $h$ . Die Darstellung einer Abhängigkeit zur Raumtiefe verleitet dazu kritische Raumtiefen unter  $2 \text{ m}$  zu diskutieren und daraus den Schluss zu ziehen, dass die Schalldämmung des Trennbauteils mit zunehmender Raumtiefe zunehmen müsste um die Anforderungen kon-



**Bild 3** Darstellung der unterschiedlichen Differenzen von  $R'_w - D_{nT,w}$  in Abhängigkeit der geometrischen Verhältnisse Trennfläche  $S_T$  zu Grundfläche  $S_G$ ; die Mindestgrundfläche beträgt  $8 \text{ m}^2$ , die Raumhöhe beträgt zwischen  $2,40 \text{ m}$  und  $3 \text{ m}$

Differences of  $R'_w - D_{nT,w}$  as a function of the geometrical conditions: separation surface  $S_T$  to floor space  $S_G$ ; the minimum floor space is  $8 \text{ m}^2$ , the room height is between  $2,40 \text{ m}$  and  $3,00 \text{ m}$

stant zu halten. Im Detail bedeutet dies, dass bei einem geforderten  $D_{nT,w}$  als Anforderungswert, das bewertete Schalldämm-Maß  $R'_w$  mit zunehmender Raumtiefe ansteigen muss. Dieser Vergleich ist nur für Rechteckräume und Trennwände zulässig. In der Praxis kommen Raumtiefen unter  $2 \text{ m}$  für schutzbedürftige Räume nicht, oder wenigstens sehr selten vor. Insbesondere wenn Wand- oder Grundrissversprünge, oder auch Nischen berücksichtigt werden, kann eine Zuordnung zur Raumtiefe nicht sinnvoll sein. Moderne Grundrisse bei denen offenes Wohnen möglich ist, schließen eine solche Vereinfachung im Grunde aus. Ein Beispiel soll die Problematik der „Raumtiefe“ verdeutlichen. Angenommen ein Raum hat eine Grundfläche von  $3,82 \text{ m} \times 2,62 \text{ m} = 10,01 \text{ m}^2$  und eine Raumhöhe von  $2,40 \text{ m}$ . Die Trennwandfläche beträgt damit entweder  $9,17 \text{ m}^2$  oder  $6,29 \text{ m}^2$ . Die Raumtiefe beträgt also einmal  $2,62 \text{ m}$  oder  $3,82 \text{ m}$ . Daraus ergibt sich eine Korrektur von  $-0,77 \text{ dB}$  oder  $+0,87 \text{ dB}$ . Bei gleichem bewerteten Schalldämm-Maß  $R'_w$  berechnet sich die Standard-Schallpegeldifferenz zu  $D_{nT,w} = R'_w - 0,77 \text{ dB}$  oder  $D_{nT,w} = R'_w + 0,87 \text{ dB}$ . Betrachtet man die Trenndecke, dann ergibt sich mit der Raumhöhe eine Korrektur von  $-1,15 \text{ dB}$ , also  $D_{nT,w} = R'_w - 1,15 \text{ dB}$ . Damit wird deutlich, dass die Schalldämmung nicht in jedem Fall höher werden muss.

Betrachtet man die beiden Gln. (3) und (5) sorgfältig, dann erkennt man, dass beide Gleichungen von der Nachhallzeit  $T$  abhängen. Obwohl für das Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  im Korrekturglied anzuwenden ist, wird in der Praxis die gemessenen Nachhallzeit  $T$  zur Ermittlung von  $A$  her-

angezogen. Da beide Gln. (3) und (5) von der gleichen Schallpegeldifferenz ( $L_S - L_E$ ) abhängen, kann die Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  auch mit Hilfe des Bau-Schalldämm-Maßes berechnet werden. Dies führt allgemein zur nachhallzeitunabhängigen Gl. (6).

$$D_{nT} = R' + 10 \lg(0,32 V/S) \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

bzw.

$$D_{nT} = R' + 10 \lg(V/S) - 5 \text{ dB} \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

Damit wird die Standard-Schallpegeldifferenz mit dem Bau-Schalldämm-Maß unter dem stillschweigenden Voraussetzungsanspruch verknüpft, dass die Sabine'schen Gleichung angewendet werden kann. Durch die Verknüpfung mit dem Bau-Schalldämm-Maß ist auch der Einfluss des geometrischen Verhältnisses  $V/S$  verbunden. Damit wird das reine „Hörereignis“, ausgedrückt in dem nachhallzeitkorrigierten Empfangspegel, auf eine Größe gebracht, die zwei systemfremde Fehlerquellen, nämlich die Anwendungsvoraussetzung zur Nachhallzeittheorie nach Sabine und die Abhängigkeit des geometrischen Verhältnisses Raumvolumen zu Trennfläche, enthält. Beide Fehlerquellen wirken sich unabhängig voneinander auf die Standard-Schallpegeldifferenz aus. Wie in Bild 3 dargestellt, weicht die Standard-Schallpegeldifferenz bei gleicher Bauteilqualität bereits durch die geometrischen Verhältnisse von  $V/S$  von dem Bau-Schalldämm-Maß ab. Zwischen Standard-Schallpegeldifferenz und Bau-Schalldämm-Maß kann es keine „Kongruenz“ geben und eine erzwungene Gleichheit durch Gleichsetzen der geometrischen Anforderungen ( $10 \lg(V/S) = 5 \text{ dB}$ ) ist nur dann zulässig, wenn auch die Voraussetzungen der Sabine'schen Nachhalltheorie erfüllt sind.

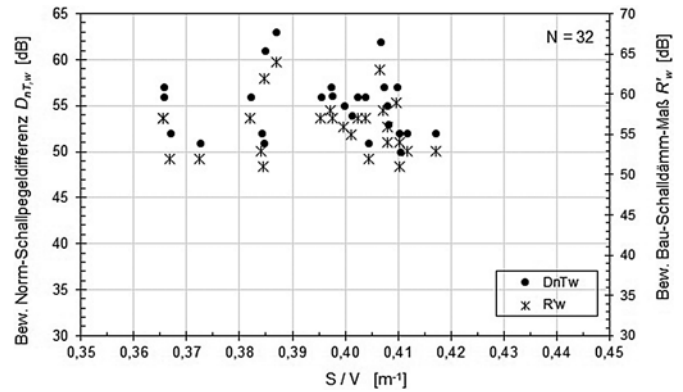
#### 4 Schalldämmungsmessung und Hörversuch

Die rechnerischen Ergebnisse der Schalldämmungen im Vergleich zu den Ergebnissen des scheinbaren Schallschutzes wurden im Zuge der Verifizierung mit gemessenen Werten verglichen. Hierzu wurden Schalldämmungsmessungen frequenzabhängig durchgeführt und ausgewertet. Die Ermittlung der entsprechenden Kennwerte erfolgte nach DIN EN ISO 717.

##### 4.1 Schalldämmung in situ

Zur Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$  und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  wurden an 32 Decken Schalldämmungsmessungen nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Die Messergebnisse der ermittelten bewerteten Bau-Schalldämm-Maße  $R'_w$  und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenzen  $D_{nT,w}$  sind über dem Verhältnis Trennfläche zu Raumvolumen ( $S/V$ ), grafisch in Bild 4

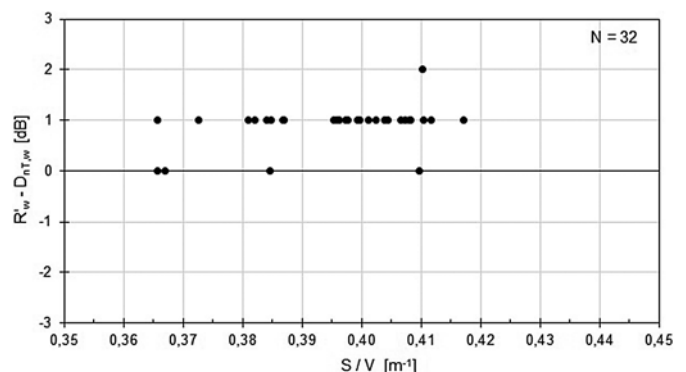


**Bild 4** Dargestellt ist das bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  und die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  aufgetragen über dem Verhältnis Trennfläche zu Raumvolumen ( $S/V$ ) im Vergleich Weighted sound reduction index  $R'_w$  und the weighted standard sound level difference  $D_{nT,w}$  plotted against the ratio of separation surface and room volume ( $S/V$ ) in comparison

aufgetragen und wiedergegeben. Die minimale Schalldämmung beträgt 46 dB und die maximale Schalldämmung 67 dB. Die ermittelte Differenz zwischen den Messwerten  $R'_w$  und  $D_{nT,w}$  ist grafisch in Bild 5 dargestellt. Die zu den Messungen gehörenden Nachhallzeiten  $T_{30}$  sind ergänzend in Bild 5 über dem Raumvolumen aufgetragen wiedergegeben.

Aus Bild 5 ist zu erkennen, dass das Bau-Schalldämm-Maß überwiegend um +1 dB von der Standard-Schallpegeldifferenz abweicht. Die maximale Differenz beträgt für den dargestellten Datensatz +2 dB. In keiner Messung des untersuchten Datensatzes mit 32 Messwerten wurde die Standard-Schallpegeldifferenz kleiner als das Bau-Schalldämm-Maß ermittelt. Wird die Standard-Schallpegeldifferenz als Einzahlwert nach Gl. (6) aus dem Bau-Schalldämm-Maß berechnet, ergeben sich zu den gemessenen und nach DIN EN ISO 717-1 ermittelten Einzahlwerten Abweichungen wie in Bild 6 grafisch dargestellt.

Aus der grafischen Darstellung der Differenzbildung zeigt sich, dass die Abweichungen  $\pm 1 \text{ dB}$  betragen können. Im



**Bild 5** Differenz von ermitteltem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  und bewerteter Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  aus Messwerten aufgetragen über dem Verhältnis Trennfläche zu Raumvolumen ( $S/V$ )

Spread of the weighted sound reduction index  $R'_w$  and the weighted standard sound level difference  $D_{nT,w}$  determined from measures plotted against the ratio of separation surface and room volume ( $S/V$ ) in comparison

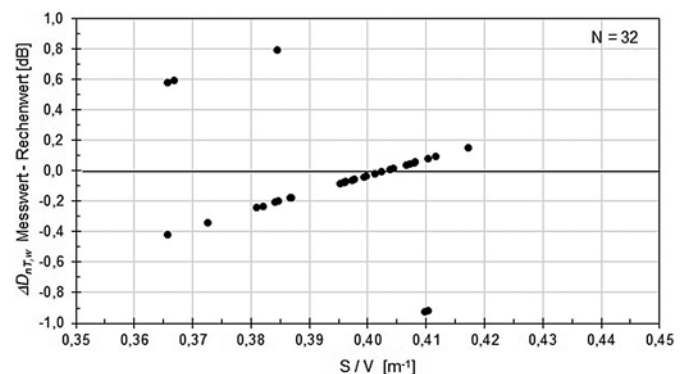
**Tab. 1** Schalldämmungsmessungen nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 an Deckenkonstruktionen in unterschiedlichen Räumen  
Sound insulation measurements according to DIN EN ISO 16283-1 on ceiling structures in different rooms

Nr.	$T_{30}$ [s]	$R'_w$ [dB]	$D_{nT,w}$ [dB]	$S$ [m <sup>2</sup> ]	$V$ [m <sup>3</sup> ]	$h$ [m]	$S/V$ [m <sup>-1</sup> ]
1	0,36	46	45	29,80	75,20	2,52	0,40
2	0,45	46	45	39,50	103,70	2,63	0,38
3	0,79	47	46	15,60	39,40	2,53	0,40
4	0,63	51	50	29,33	74,10	2,53	0,40
5	0,37	51	50	11,90	29,00	2,44	0,41
6	1,64	51	51	25,80	67,10	2,60	0,38
7	0,51	52	51	10,43	28,00	2,68	0,37
8	3,27	52	51	31,30	77,40	2,47	0,40
9	0,42	52	52	18,60	50,70	2,73	0,37
10	0,45	53	52	13,60	32,60	2,40	0,42
11	0,31	53	52	11,10	28,90	2,60	0,38
12	0,65	53	52	24,25	58,90	2,43	0,41
13	0,46	54	52	12,02	29,30	2,44	0,41
14	1,78	54	53	24,12	59,10	2,45	0,41
15	0,58	55	54	13,80	34,40	2,49	0,40
16	0,57	56	55	33,21	81,40	2,45	0,41
17	0,48	56	55	31,90	79,80	2,50	0,40
18	0,49	57	56	15,30	38,70	2,53	0,40
19	2,71	57	56	15,97	41,80	2,62	0,38
20	3,76	57	56	29,25	80,00	2,74	0,37
21	0,49	57	56	29,40	72,80	2,48	0,40
22	0,33	57	56	15,29	38,00	2,49	0,40
23	0,24	57	56	11,93	30,00	2,51	0,40
24	1,13	57	57	29,25	80,00	2,74	0,37
25	1,07	58	57	12,42	30,50	2,46	0,41
26	0,36	58	57	14,38	36,20	2,52	0,40
27	0,65	59	57	31,67	77,30	2,44	0,41
28	0,61	62	61	37,20	96,70	2,60	0,38
29	0,71	63	62	29,40	72,30	2,46	0,41
30	2,07	64	63	13,62	35,20	2,58	0,39
31	2,56	67	66	18,13	45,40	2,50	0,40
32	2,11	67	66	12,30	31,80	2,59	0,39

Vergleich der Ergebnisse aus Bild 5 und Bild 6 wird deutlich, dass die Umrechnung beider Größen mit einem Fehler behaftet ist, der in Abhängigkeit der geometrischen Verhältnisse mehrere Dezibel betragen kann.

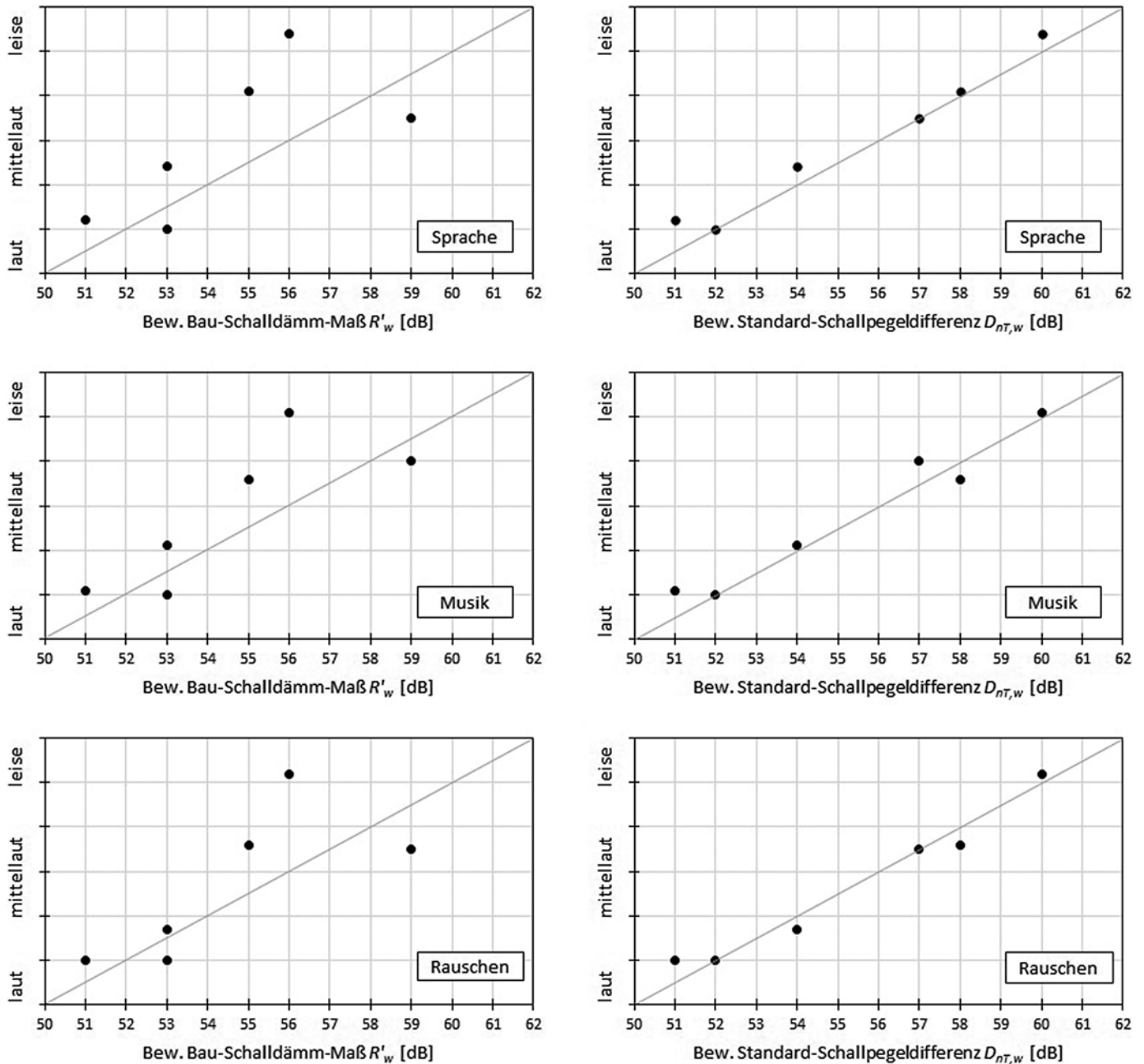
## 4.2 Hörversuch

Im Zuge einer Masterarbeit an der Universität Stuttgart [24] wurden Schallpegeldifferenzen subjektiv über Kopfhörer verglichen. Dabei wurden drei unterschiedliche Stimuli mit einem Schalldruckpegel von 85 dB verwendet. Die drei Stimuli waren: Musik, Sprache, Rauschen. Als Musikstück wurde Popmusik des Interpreten Eddie Rabbitt mit dem Titel: „Early in the Morning“, als Sprache wurde französische Sprache gemischt: männlich-weiblich und als Rauschen wurde Rosarauschen verwendet. Die Signallänge betrug 10 s. Der Hörversuch wurde mit 16 normalhörende Probanden durchgeführt. Die



**Bild 6** Differenz der Einzahlwerte von ermittelter bewerteter Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  aus Messwerten nach Gl. (4) und Rechenwerten nach Gl. (6) aufgetragen über dem Verhältnis Trennfläche zu Raumvolumen ( $S/V$ )

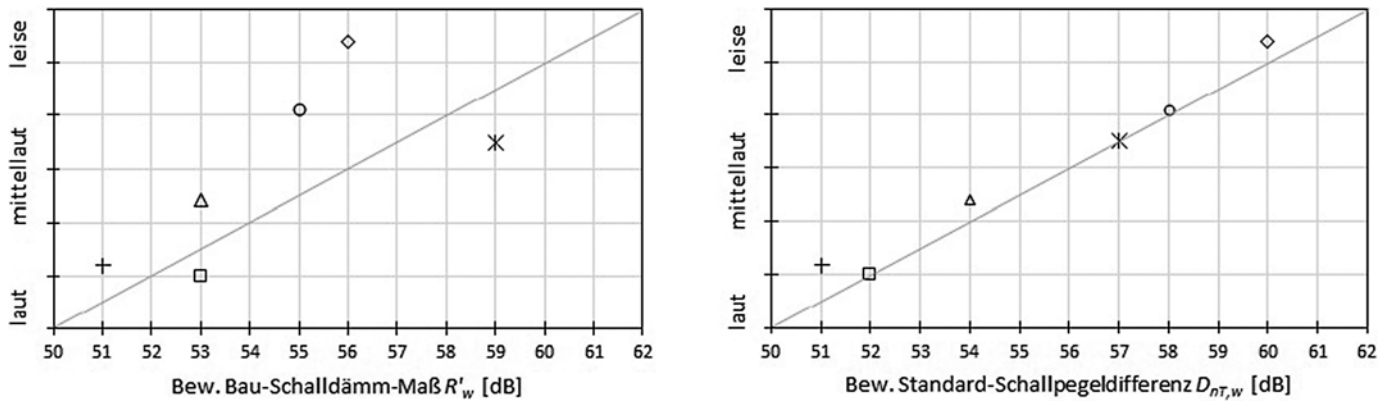
Spread of the single number values of the weighted standard sound level difference  $D_{nT,w}$  determined out of measured values according to eq. (4) and calculated values according to eq. (6) plotted against the ratio of separation surface to room volume ( $S/V$ ) in comparison



**Bild 7** Subjektive Bewertung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$  und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  im Vergleich mit drei Stimuli: Sprache (oben), Musik (Mitte), Rauschen (unten), mit jeweils einem Schalldruckpegel von 85 dB. (Daten entnommen aus [24])  
 Subjective evaluation of the weighted sound reduction index  $R'_w$  and the weighted standard sound level difference  $D_{nT,w}$  in comparison with three stimuli: speech (top), music (centre), noise (bottom), each with a sound pressure level of 85 dB. (data taken from [24])

Schallpegeldifferenzen wurden aus den frequenzabhängigen Schalldämmungen von Messwerten generiert und wurden elektronisch als Filterfunktionen eingesetzt. Es wurden je 6 Schalldämm-Filter (Schalldämm-Maße) verwendet, sodass insgesamt eine Datenmenge von  $3 \times 16$  Vergleichspaare vorlagen. Es nahmen an dem Hörversuch 7 weibliche und 9 männliche Probanden im Alter von 20 Jahren bis 60 Jahren teil. Ein Zwischenergebnis aus der Masterarbeit wird nachstehend kurz wiedergegeben und stellt den Zusammenhang von Schalldämmung und Höreindruck grafisch dar. Den Probanden wurde in einem Dominanz-Paarvergleich hintereinander jeweils ein Signal über Kopfhörer dargeboten und abgefragt welches Signal lauter ist. Die Ergebnisse sind in Bild 7 dargestellt.

Der Vergleich der subjektiven Bewertung der jeweiligen Kenngrößen in Bild 7 deutet darauf hin, dass das bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  keine einheitliche Übereinstimmung mit der subjektive Bewertung zulässt, wohingegen die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  tendenziell zuordenbar ist. Mit steigender bewerteter Standard-Schallpegeldifferenz wird das gehörte Signal leiser wahrgenommen und zwar unabhängig vom Stimulus. Dieses Vorergebnis lässt zwar noch keine abschließende Bewertung zur subjektiven Zuordnung zu, es zeigt aber dennoch in einer eher klaren Tendenz was in DIN EN ISO 16283-1 formuliert ist, nämlich dass das bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  im Vergleich mit der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  eine schwächere Verbindung zum subjektiven Eindruck der



**Bild 8** Subjektive Bewertung der Schallpegeldifferenzen bezogen auf das bewertete Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$  und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  im Vergleich mit dem Stimulus: „Sprache“ mit einem Schalldruckpegel von 85 dB. (Daten entnommen aus [24]); die Symbole stellen die jeweiligen Filter dar, die eine bestimmte gemessene Schalldämmung repräsentieren

Subjective evaluation of the sound level difference referring to the weighted sound reduction index  $R'_w$  and the weighted standard sound level difference  $D_{nT,w}$  in comparison with the stimulus speech of a sound pressure level of 85 dB (data taken from [24]); the symbols represent the respective filters that represent a certain measured sound insulation

Luftschalldämmung aufweist. Dieser Sachverhalt kann in dem oben wiedergegebenen Bild 8 deutlich abgelesen werden in dem die Ergebnisse des Hörversuchs für Sprache mit den jeweiligen Filtertypen im Detail dargestellt ist. Es zeigt sich, dass das bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  im Vergleich zur bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  unterschiedlich beurteilt wird.

Aus Bild 8 ist abzulesen, dass die jeweiligen Schalldämm-Maße subjektiv unterschiedlich bewertet wurden, so wird z. B. subjektiv der Filter (Symbol:  $\square$ ) mit einem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß von  $R'_w = 55$  dB mit der dazugehörigen bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz von  $D_{nT,w} = 58$  dB als „mittellaut“ und für einen Filter (Symbol:  $\times$ ) mit einem bewerteten Bau-Schalldämm-Maß von  $R'_w = 59$  dB und einer dazugehörigen bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz von  $D_{nT,w} = 57$  dB als „mittellaut“ bewertet. Das heißt, dass einmal eine Schalldämmung mit  $R'_w = 55$  dB und einmal mit 59 dB dieselbe subjektive Bewertung erfährt. Die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  wird dagegen mit 58 dB und 57 dB fast gleich bewertet. Der Unterschied der Schalldämmung von  $\Delta R'_w = 4$  dB dürfte subjektiv nicht unbenutzt bleiben, wurde aber im Hörtest gleich bewertet. Für die gleiche Bewertung zeigte die Differenz der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz eine Differenz von  $\Delta D_{nT,w} = 1$  dB.

## 5 Fazit

Die Untersuchung zur Bewertung des Bau-Schalldämm-Maßes im Vergleich zur Standard-Schallpegeldifferenz hat gezeigt, dass bei gleichen akustischen Verhältnissen das bewertete Bau-Schalldämm-Maß von dem Verhältnis Raumvolumen zu Trennfläche abhängig ist. Diese nicht akustische Größe erweist sich umso kritischer, je größer dieses Verhältnis wird. Eine eindeutige Zuordnung von Raumhöhe, -breite oder -tiefe ist nur für die Raumhöhe bei der Beurteilung von Trenndecken möglich. Eine ein-

deutige Zuordnung zur Raumtiefe oder Raumlänge lässt sich für Trennwände nicht darstellen. Die Analyse der Gleichungen zur Ermittlung der kennzeichnenden Größen zur Schalldämmung und zum Schallschutz hat gezeigt, dass die Standard-Schallpegeldifferenz eine von der Geometrie der Räume unabhängige Größe ist und aufgrund des tatsächlich gemessenen Schalldruckpegels im Empfangsraum auch dem Höreindruck wiedergibt. Dies wird durch die Ergebnisse der Auswertung eines Hörversuchs bestätigt, wonach das Bau-Schalldämm-Maß keine oder nur schwache Korrelation zum subjektiven Eindruck der Luftschalldämmung aufweist, was durch DIN EN ISO 16283-1 bestätigt wird. Insbesondere im Hinblick zur wahrnehmbaren Unterscheidung hat die Untersuchung von Rauscher [24] gezeigt, dass eine Differenz des Bau-Schalldämm-Maßes von 4 dB subjektiv gleich bewertet werden kann, wobei die Standard-Schallpegeldifferenz für den gleichen Unterscheidungsfall nur eine Differenz von 1 dB aufweist. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass zur Unterscheidung der Schalldämmung eine Standard-Schallpegeldifferenz besser geeignet ist als das Bau-Schalldämm-Maß.

## Literatur

- [1] Neubauer, R. O.; Scamoni, F. (2013) *Die akustische Klassifikation in Italien und Deutschland: Perspektiven und Möglichkeiten*. 21. AIA-DAGA, 22. März 2013. Meran, Italien.
- [2] DIN 4110:1938-07 (1938) *Technische Bestimmung für die Zulassung neuer Bauweise*. Berlin.
- [3] DIN 4109:1944-04 (1944) *Richtlinie für den Schallschutz im Hochbau*. Berlin.
- [4] DIN 4109:1962-09 (1962) *Schallschutz im Hochbau, Teil 1, Anforderungen*. Berlin.
- [5] E DIN 4109:1979-02 (1979) *Schallschutz im Hochbau, Luft- und Trittschalldämmung in Gebäuden, Anforderungen und Nachweise; Hinweise für die Planung und Ausführung*, Entwurf. Beuth, Berlin.
- [6] E DIN 4109:1984-10 (1984) *Schallschutz im Hochbau, Luft- und Trittschalldämmung in Gebäuden, Anforderungen*



- gen und Nachweise; Hinweise für die Planung und Ausführung. Entwurf, Beuth, Berlin.
- [7] DIN 4109:1989-11 (1989) *Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise*. Beuth, Berlin.
- [8] DIN 4109:2016-07 (2016) *Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen*. Beuth, Berlin.
- [9] DIN 4109:2018-01 (2018) *Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen, Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen*. Beuth, Berlin.
- [10] Fischer, H.-M.; Drechsler, A. (2019) *Schallschutz und Menschenbild*, DAGA, Rostock, S. 813–816.
- [11] Wittstock, V. (2007) *On the Uncertainty of Single-Number Quantities for Rating Airborne Sound Insulation* in: Acta Acustica United Acustica Vol. 93, H. 3, S. 375–386.
- [12] Wittstock, V. (2015) *Determination of Measurement Uncertainties in Building Acoustics by Interlaboratory Tests. Part 1: Airborne Sound Insulation* in: Acta Acustica United Acustica Vol. 101, H. 1, S. 88–98.
- [13] Machimbarrena, M. et al (2015) *Uncertainty determination of in situ airborne sound insulation measurements* in: Applied Acoustics Vol. 89, S. 199–210.
- [14] DIN EN ISO 16283-1: 2018-04 (2018) *Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung*. Beuth, Berlin
- [15] DIN EN 12354-6:2004:04 (2004) *Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6: Schallabsorption in Räumen*. Beuth, Berlin
- [16] DIN EN ISO 717-1:2013-06 (2013) *Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung*. Beuth, Berlin
- [17] VDI 4100:2012-10 (2012) *Schallschutz im Hochbau – Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz*. Beuth, Berlin
- [18] Rychtáriková, M. et al. (2016) *Perceived loudness of neighbour sounds heard through heavy and light-weight walls with equal  $R_w^+$   $C_{50-5000}$*  in: Acta Acustica United Acustica 102, H. 1, S. 58–66.
- [19] Rasmussen, B.; Lang, J. (2009) *How much protection do the sound insulation standards give and is this enough?* EURONOISE 2009. Action on noise in Europe. 8th European Conference on Noise Control, 2009, Edinburgh, Großbritannien.
- [20] Neubauer, R. O.; Kang J. (2014) *Airborne sound insulation in terms of a loudness model* in: Applied Acoustics Vol. 85, S.34–45.
- [21] Løvstad, A. et al. (2017) *Perceived sound quality in dwellings in Norway*, 12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, Juni 2017, Zürich, Schweiz.
- [22] Gesetz zur Beseitigung von Wohnungsmisständen. (Wohnungsaufsichtsgesetz-WoAufG)\*  
\*(in Bayern mit Ablauf 31.12.2004 aufgehoben durch §1 G v. 27.12.2004 (GVBl. S. 540).
- [23] Technischen Regeln für Arbeitsstätten A1.2 (2018) zuletzt geändert GMBI 2018, S. 471
- [24] Rauscher, T. E. (2020) *Subjektive und objektive Bewertung der Qualität der zur Kennzeichnung der Schalldämmung verwendeten Einzahlwerte  $R'_w$  und  $D_{nT,w}$*  [Masterarbeit]. Universität Stuttgart.

#### Autoren

Dr. Dr. Reinhard O. Neubauer, M.Sc. (Korrespondenzautor)  
dr.neubauer@ibn.de  
IBN Bauphysik GmbH & Co. KG  
Theresienstraße 28  
85049 Ingolstadt

#### Zitieren Sie diesen Beitrag

Neubauer, R. O. (2021) *Schalldämmung und Schallschutz – Vergleich von bewertetem Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  und bewerteter Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$* . Bauphysik 43, H. 1, S. 18-26  
<https://doi.org/10.1002/bapi.202000024>