DOI: 10.1002/bapi.202100036

Reinhard O. Neubauer

Die Klassifizierung des Schallschutzes $D_{nT,w}$ mithilfe des Schalldämm-Maßes R'_w

Gebäude müssen einen ihrer Nutzung entsprechenden Schallschutz gewährleisten. Dieser Schallschutz wird bauordnungsrechtlich geregelt. In Deutschland regelt dies DIN 4109 Teil 1 mit Angabe eines „Mindestschallschutzes". Darüberhinausgehende Anforderungen werden als „erhöhter Schallschutz" bezeichnet. Eine erhöhte Schalldämmung führt jedoch nicht zwingend zu einem erhöhten Schallschutz. Schallschutz und Schalldämmung sind diesbezüglich nicht gleichzusetzende Begriffe. Der Schallschutz kann durch eine Klassifikation als Bewertungsmaßstab für die Qualität einer Wohnung charakterisiert werden. Verschiedene europäische Länder haben Klassifizierungssysteme eingeführt, zum Teil als Kenngrößen des Schallschutzes (z. B. $D_{nT,w}$) und zum Teil als Kenngrößen der Schalldämmung (z. B. R'_w). In diesem Artikel wird gezeigt, dass eine direkte Zuordnung der Größen R'_w und $D_{nT,w}$ nur für bestimmte geometrische Verhältnisse von Raumvolumen und Trennbauteilfläche (V/S) möglich ist. Wird eine zulässige Abweichung zwischen R'_w und $D_{nT,w}$ akzeptiert, kann eine Klassierung der Schalldämmwerte (R'_w) mit festen Klassengrenzen vorgenommen werden. Damit wird eine Klassifizierung des Schallschutzes mit Bezug auf die beschreibende Kenngrößen $D_{nT,w}$ mithilfe der Größe Bau-Schalldämm-Maß R'_w möglich. Die Klassifizierung des Schallschutzes unter Verwendung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_w bleibt jedoch eine Funktion des geometrischen Verhältnisses von Raumvolumen (V) zu Trennbauteilfläche (S).

Stichworte Schalldämmung; Schallschutz; Schallschutzklasse; Klassifizierung

The classification of soundproofing with the measure $D_{nT,w}$ with use of the weighted apparent sound reduction index R'_w
Buildings must ensure sound insulation appropriate to their use. This sound insulation is regulated by building regulations. In Germany, this is regulated by DIN 4109 Part 1 with a specification of a "minimum sound insulation". Additional requirements are referred to as "increased sound insulation". However, increased sound insulation does not necessarily lead to increased soundproofing. Soundproofing and sound insulation are not equivalent terms in this respect. This article shows that a direct assignment of the quantities R'_w and $D_{nT,w}$ is only possible for certain geometric ratios of room volume and separating area (V/S). If a permissible deviation between R'_w and $D_{nT,w}$ is accepted, a classification of the sound insulation values (R'_w) with fixed class limits can be made. This makes it possible to classify the sound insulation with reference to the descriptive parameter $D_{nT,w}$ using the weighted apparent sound reduction index R'_w.

Keywords sound insulation; soundproofing; sound insulation classes; classification

1 Einleitung

Die Klassifikation des Schallschutzes stellt im Sinne einer Einordnung der Schalldämmung in Klassen eine gewisse Herausforderung dar. Insbesondere hat der Schallschutz als begriffliche Größe eine subjektive Bedeutung, nämlich den wahrgenommenen Schutz vor störenden Schallimmissionen. Als Schutz wird damit eine Wahrnehmungsgröße beschrieben, im Gegensatz zu einer physikalischen Größe. Die Einteilung verschiedener physikalischer Größen in bestimmte Klassen ist im Bauwesen und in der Bauphysik weit verbreitet und kann zum Beispiel in den Darstellungen von Energieverbräuchen durch sogenannte Energielabel oder „Energieeffizienzklassen" für Gebäude [1] sichtbar gemacht werden, aber auch andere Klassenbildungen wie „Schallschutzklassen" bei Fenstern [2] und Klassifizierung der Eigenschaften von Fenstern und Türen [3], Einstufung von Unterdecken in „Schallabsorptionsklassen" [4] oder die Bewertung der Schallabsorption von Materialien in Gebäuden in „Schallabsorptionsklassen" [5], oder auch „Luftdichtheitsklassen" von Gebäuden [6] sowie abschließend „Raumnutzungsklassen" bei der Wahl der Abdichtungsmaßnahmen an Gebäuden [7] sind bekannt. Die Schalldämmung stellt als physikalische Größe gewissermaßen einen Widerstand dar, der ähnlich eines elektrischen Widerstandes oder eines wärmeschutztechnischen Widerstandes, wie er sich in dem Begriff Wärmedämmung wiederfindet, verstanden werden muss. So wird auch der Baustoff Beton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [8] in unterschiedliche Klassen unterteilt. Auch im Ziegelbau wird eine Rohdichteklasse verwendet [9]. Die Rohdichteklasse von z. B. Ziegeln ist von 0,35 bis 2,4 eingeteilt, wobei die Rohdichten von 0,30 kg/dm^3 bis 2,5 kg/dm^3 reichen. Die „Qualität" eines gebauten Raumes kann jedoch mit der Angabe einer bestimmten Rohdichte oder einer bestimmten Rohdichteklasse des verwendeten Materials nicht dargestellt werden. Eine Klassifikation kann also eine Gruppe von Material- oder Bauteileigenschaft

 © 2021 Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin.

beschreiben oder sie beschreibt eine Art Wirkung, wie es der Begriff „Schutz“ andeutet. Schutz besagt, dass vor einer bestimmten Einwirkung geschützt wird. Um einen bestimmten Schutz gewährleisten zu können, benötigt man einen bestimmten „Widerstand“, der in der Bauakustik in Form einer Schalldämmung eingesetzt wird. Aber im Sinne einer Schutzwirkung könnten auch eine schalltechnisch günstige Grundrissgestaltung oder andere gestalterische Maßnahmen ausgeführt werden. Verschiedene europäische Länder haben Klassifizierungssysteme, zum Teil als Kenngrößen des Schallschutzes (z. B. $D_{nT,w}$) und zum Teil als Kenngrößen der Schalldämmung (z. B. R'_w) etabliert. In diesem Artikel soll dargestellt werden, wie eine Klassifizierung des Schallschutzes mit Bezug auf die beschreibende Kenngröße D_{nT} mithilfe der Bauteileigenschaft beschreibenden Kenngröße Bau-Schalldämm-Maß R' möglich ist.

2 Kenngrößen des Schallschutzes und der Schalldämmung

Als kennzeichnende Größe für den Luftschallschutz kann die nachhallzeitbezogene Größe $D_{nT,w}$ verwendet werden [10]. Die Bezeichnung dieser Größe ist die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz. Für die Luftschalldämmung kann die bauteilbezogene Größe R'_w verwendet werden. Die Bezeichnung dieser Größe ist das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w. Beide Größen sind in DIN EN ISO 16283-1 [11] definiert.

3 Klassenbildung des Schallschutzes

Die Verknüpfung der bauteilbezogenen Größe R' mit der nachhallzeitbezogenen Größe D_{nT} ist detailliert in [10] dargestellt. Dort wird gezeigt, dass eine pauschale Umrechnung, ohne Bezug der geometrischen Verhältnisse von Raumvolumen (V) und Trennbauteilfläche (S) unter Beachtung einer vorgegebenen Streuung bzw. einer akzeptierten Differenz, nicht möglich ist. Verdeutlicht wird dies mit der Gl. (1) für den Luftschallschutz:

$$D_{nT} = R' + 10 \lg\left(V/S\right) - 4{,}95 \text{ dB} \left[\text{dB}\right] \qquad (1)$$

Dabei ist

D_{nT} Standard-Schallpegeldifferenz in dB
R' Bau-Schalldämm-Maß in dB
V Volumen des Empfangsraumes in m^3
S Fläche des Trennbauteils in m^2

Eine Klassenbildung beider Größen ist für jede Größe getrennt problemlos möglich. So hat z. B. Österreich [12] Schallschutzklassen von A bis E definiert und jeder Klasse ein bestimmtes $D_{nT,w}$ zugeordnet. Einer einschaligen Trennwand in Aufenthaltsräumen in Wohnungen der Klasse B wurde z. B. ein $D_{nT,w}$ = 60 dB zugewiesen. Die Klassenbreite beträgt 5 dB. Auch ISO-TC 19488 [13] weist den Standard-Schallpegeldifferenzen sogenannte „Class limits“ zu. Es werden immer bestimmte Einzahlwerte gefordert, die eine bestimmte Klasse erfüllen. Dabei werden feste Klassengrenzen und Klassenbreiten vorgegeben. Die Klassen bzw. Intervalle sind dabei stets so eingeteilt, dass die Grenzen zwischen zwei Klassen direkt aneinander liegen.

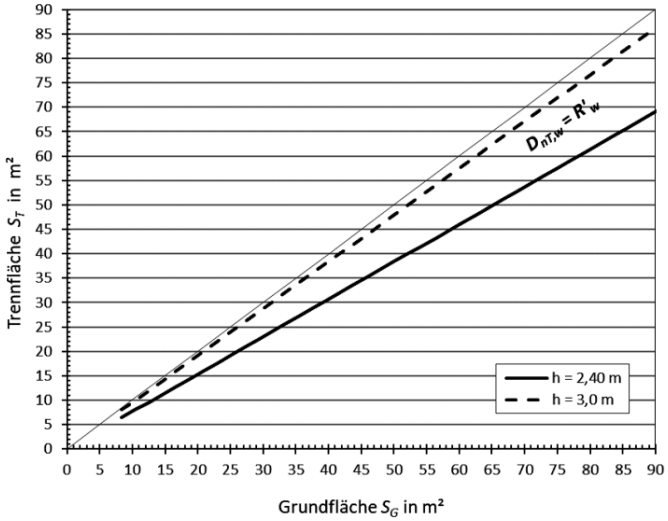

Bild 1 Darstellung der Differenz $R'_w - D_{nT,w} = 0$ in Abhängigkeit der geometrischen Verhältnisse: Trennfläche S_T und Grundfläche S_G. Die Mindestgrundfläche beträgt 8 m^2. Die Raumhöhe beträgt zwischen 2,40 m und 3,0 m. Die grau gezeichnete Diagonale kennzeichnet $S_T = S_G$.
Shown is the difference $R'_w - D_{nT,w} = 0$ depending on the geometric ratio: partition area S_T to floor area S_G. The minimum floor area is 8 m^2. The room height is between 2.40 m and 3.0 m. The diagonal drawn line in grey indicates $S_T = S_G$.

Der Nachweis zur Gewährleistung einer bestimmten Klasse ist damit immer mit der gleichen kennzeichnenden Größe verbunden.

Aufgrund der Zuordnung der kennzeichnenden Größen $D_{nT,w}$ und R'_w nach Gl. (1) ist eine direkte Verknüpfung nur in Abhängigkeit des Verhältnisses von (V/S) bzw. (S/V) möglich. Eine allgemeine Gleichstellung der Werte kann damit nicht durchgeführt werden. Wie in [10] gezeigt, lässt sich grundsätzlich das geometrische Verhältnis von Raumvolumen zu Trennfläche (V/S) so auflösen, dass daraus entweder eine funktionale Abhängigkeit von der Raumtiefe (b), der Raumlänge (l) oder der Raumhöhe (h) resultiert. Wird eine Grundfläche von $S_G \geq 8$ m^2 und Raumhöhen zwischen 2,40 m und 3,0 m vorausgesetzt, ergibt sich für die Fallunterscheidung: $R'_w = D_{nT,w}$, also die zahlenmäßige Gleichheit beider Größen, nachstehend in Bild 1 wiedergegebene Grafik.

Aus Bild 1 ist ersichtlich, dass rechnerisch auf Basis der Gl. (1) 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 ±1 dB bzw. von ±2 dB zugelassen, ergibt sich die grafische Darstellung wie in Bild 2 gezeigt. Weicht die Trennfläche von der Grundfläche ab, vergrößert sich der Un-

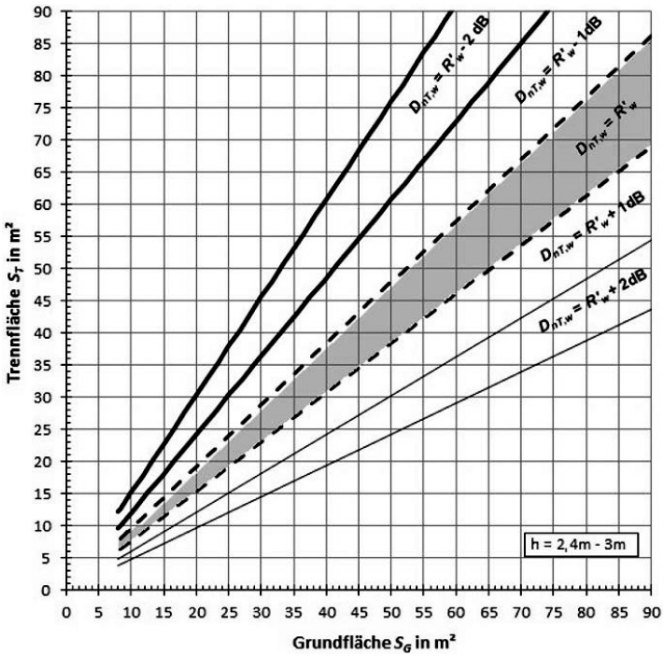

Bild 2 Darstellung der unterschiedlichen Differenzen von $R'_w - D_{nT,w}$ in Abhängigkeit des geometrischen Verhältnisses: Trennfläche S_T zu Grundfläche S_G. Die Mindestgrundfläche beträgt 8 m². Die Raumhöhe beträgt zwischen 2,40 m und 3 m.
Differences of $R'_w - D_{nT,w}$ as a function of the geometric ratio: partition area S_T to floor area S_G. The minimum floor area is 8 m². The room height is between 2.40 m and 3 m.

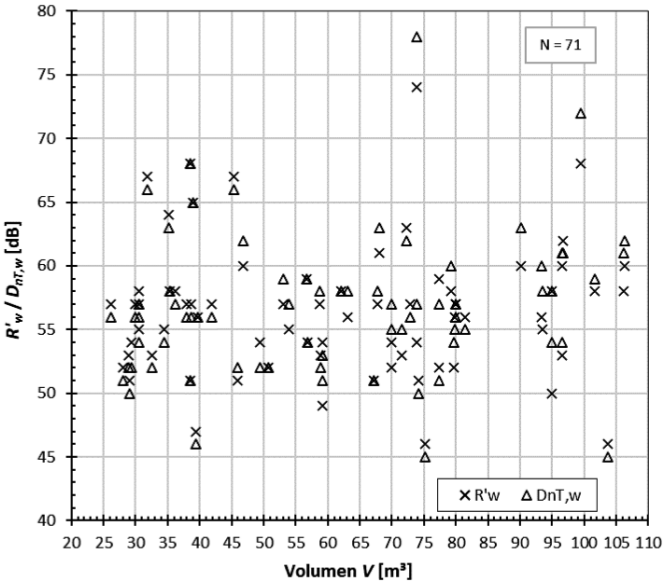

Bild 3 Messergebnisse der ermittelten bewerteten Bau-Schalldämm-Maße R'_w und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenzen $D_{nT,w}$ von 71 Trennbauteilen (Decken und Wände); über dem Volumen aufgetragen
Measured values of the weighted apparent sound reduction index R'_w and the weighted standardized level difference $D_{nT,w}$ of 71 separation components (ceilings and walls) applied over the volume

terschied und Abweichungen von mehreren Dezibel treten auf. Diese Abweichungen ergeben sich aus den geometrischen Verhältnissen und sind nicht „akustisch" bedingt. Aus Bild 2 ist ablesbar, dass bei den beständig auftretenden Grundrissgrößen, also z. B. Räume zwischen 10 und 20 m² Grundfläche, die Differenz zwischen $D_{nT,w}$ und R'_w rechnerisch nicht größer als +2 dB ist. 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).

Um eine Klassierung bzw. Klasseneinteilung anschaulich zu finden, wurden Schalldämmungsmessungen durchgeführt und statistisch ausgewertet.

4 Schalldämmungsmessung

Zur Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_w und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ wurden an 71 Trennbauteilen (Decken und Wände) Schalldämmungsmessungen nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 durchgeführt. Die Ermittlung der entsprechenden Einzahlwerte erfolgte nach DIN EN ISO 717 Teil 1. Die Ergebnisse sind grafisch in Bild 3 dargestellt.

Bild 3 zeigt die Verteilung der Messergebnisse für die Daten $D_{nT,w}$ und R'_w. Es ist zu erkennen, dass die Werte deutlich schwanken. Der Schwankungsbereich von $D_{nT,w}$ beträgt 45 bis 78 dB und von R'_w gleich 46 bis 74 dB. Für den dargestellten Datensatz (N = 71) beträgt der Schwankungsbereich der Differenzen ($D_{nT,w} - R'_w$) gleich –2 dB bis +4 dB.

In der Tabelle 1 sind die Messergebnisse für die Trenndecken (N = 49) und in Tabelle 2 für die Trennwände (N = 22) wiedergegeben.

Eine erste Analyse der Verteilung der Kenngrößen im gesamten Messdatensatz (N = 71) ist grafisch in Bild 4 getrennt für die kennzeichnenden Größen R'_w und $D_{nT,w}$ dargestellt.

Aus der grafischen Darstellung in Bild 4 zeigt sich eine Verteilung mit vergleichbarer Streubreite der Werte des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_w und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ im gesamten Messdatensatz. Die in der Grafik eingezeichnete Verteilungskurve, welche aus dem Messdatensatz berechnet wurde, beschreibt eine Normalverteilung beider Kenngrößen. Um die statistische Verteilung der Kenngrößen in direktem Zusammenhang zueinander zu verdeutlichen, ist in Bild 5 ein Boxplot mit der direkten Gegenüberstellung der R'_w-Werte und der $D_{nT,w}$-Werte einzeln für Wohnungstrennwände und Wohnungstrenndecken gezeigt.

Die direkte Gegenüberstellung der maximalen und minimalen Abweichung der R'_w-Werte von den korrespondierenden $D_{nT,w}$-Werten ist in Bild 6 grafisch dargestellt.

Tab. 1 Ergebnisse der Schalldämmungsmessungen nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 an Wohnungstrenndecken in unterschiedlichen Räumen
Results of sound insulation measurements according to DIN EN ISO 16283 Part 1 on partition ceilings in different rooms

Nr.	T_{30} [s]	R'_w [dB]	D_{nTw} [dB]	S [m²]	V [m³]	V/S [m]
1	0,50	52	51	10,4	28,0	2,7
2	0,32	53	52	11,1	28,9	2,6
3	0,34	51	50	11,9	29,0	2,4
4	0,49	54	52	12,0	29,3	2,4
5	0,24	57	56	11,9	30,0	2,5
6	1,22	58	57	12,4	30,5	2,5
7	2,21	67	66	12,3	31,8	2,6
8	0,46	53	52	13,6	32,6	2,4
9	0,61	55	54	13,8	34,4	2,5
10	2,24	64	63	13,6	35,2	2,6
11	0,34	58	57	14,4	36,2	2,5
12	0,33	57	56	15,3	38,0	2,5
13	0,49	57	56	15,3	38,7	2,5
14	3,21	65	65	12,4	39,0	3,2
15	0,83	47	46	15,6	39,4	2,5
16	2,39	57	56	16,0	41,8	2,6
17	2,78	67	66	18,1	45,4	2,5
18	1,75	54	52	21,0	49,4	2,4
19	0,41	52	52	18,6	50,7	2,7
20	0,41	57	59	10,6	53,0	5,0
21	0,33	59	59	18,4	56,7	3,1
22	0,32	54	54	18,7	56,8	3,0
23	0,64	53	52	24,3	58,9	2,4
24	2,39	54	53	24,1	59,1	2,5
25	0,54	58	58	20,4	62,1	3,1
26	0,74	56	58	13,3	63,1	4,7
27	1,90	51	51	25,8	67,1	2,6
28	0,80	52	55	12,0	69,9	5,8
29	0,52	53	55	17,3	71,6	4,1
30	0,77	63	62	29,4	72,3	2,5
31	0,49	57	56	29,4	72,8	2,5
32	0,65	51	50	29,3	74,1	2,5
33	0,27	46	45	29,8	75,2	2,5
34	0,66	59	57	31,7	77,3	2,4
35	3,59	52	51	31,3	77,4	2,5
36	1,94	58	60	15,3	79,3	5,2
37	0,47	52	54	16,5	79,7	4,8
38	0,48	56	55	31,9	79,8	2,5
39	1,03	57	57	29,3	80,0	2,7
40	4,34	57	56	29,3	80,0	2,7
41	0,65	56	55	33,2	81,4	2,5
42	0,62	58	58	29,3	94,9	3,2
43	0,60	53	54	28,2	96,5	3,4
44	2,29	60	61	25,4	96,5	3,8
45	0,61	62	61	37,2	96,7	2,6
46	3,08	58	59	26,5	101,7	3,8
47	0,44	46	45	39,5	103,7	2,6
48	0,77	58	61	15,8	106,2	6,7
49	2,25	60	62	21,8	106,3	4,9

Tab. 2 Ergebnisse der Schalldämmungsmessungen nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 an Wohnungstrennwände in unterschiedlichen Räumen
Results of sound insulation measurements according to DIN EN ISO 16283 Part 1 on apartment partitions in different rooms

Nr.	T_{30} [s]	R'_w [dB]	D_{nTw} [dB]	S [m²]	V [m³]	V/S [m]
1	0,29	57	56	10,5	26,2	2,5
2	0,28	57	56	11,4	30,5	2,7
3	0,35	55	54	11,5	30,5	2,7
4	0,46	58	58	11,5	35,3	3,1
5	0,57	51	51	11,2	38,5	3,5
6	0,55	68	68	11,3	38,5	3,4
7	0,51	56	56	12,3	39,7	3,2
8	1,80	51	52	11,2	45,9	4,1
9	1,40	60	62	10,2	46,8	4,6
10	0,49	55	57	13,1	54,0	4,1
11	0,56	57	58	13,7	58,7	4,3
12	2,39	49	51	11,3	59,1	5,2
13	0,47	57	58	18,8	67,8	3,6
14	2,95	61	63	12,5	68,1	5,5
15	1,56	54	57	10,8	70,0	6,5
16	0,72	74	78	10,3	73,8	7,2
17	0,72	54	57	12,3	73,8	6,0
18	2,72	60	63	15,1	90,2	6,0
19	0,75	56	60	11,6	93,4	8,1
20	0,62	55	58	13,5	93,5	7,0
21	0,29	50	54	13,4	95,0	7,1
22	0,59	68	72	15,6	99,5	6,4

In Bild 6 sind die maximale und minimale Abweichung der R'_w-Werte von den korrespondierenden $D_{nT,w}$-Werten im Bereich von –2 dB bis +4 dB als gestrichelte Linien gekennzeichnet. Die Gesamtheit der Messdaten zeigt, dass rund 17 % dem Wert ($R'_w = D_{nT,w}$), rund 48 % dem Wert ($R'_w > D_{nT,w}$) und rund 35 % dem Wert ($R'_w < D_{nT,w}$) entsprechen. Damit zeigt sich, dass für nahezu der Hälfte der Messdaten das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w größer ist als die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$.

Die Analyse des Datensatzes mit Überprüfung der statistischen Signifikanz erfolgt über den Rangkorrelationskoeffizient Spearmans Rho (ρ). Die Rangkorrelationsanalyse nach Spearman berechnet den linearen Zusammenhang zweier mindestens ordinalskalierter Variablen und zeigt wie stark der Zusammenhang ist und in welche Richtung er besteht. Ein Wert von 1 bedeutet einen vollständig linearen Zusammenhang bzw. eine vollständig positive Korrelation und der Wert 0 bedeutet, dass kein linearer Zusammenhang bzw. keine Korrelation besteht. Eine vollständig negative Korrelation würde den Wert –1 zeigen. In Tabelle 3 sind die ermittelten Korrelationskoeffizienten zur Beurteilung des statistischen Zusammenhangs zwischen den Kenngrößen R'_w bzw. $D_{nT,w}$, sowie der Differenz aus ($D_{nT,w} - R'_w$) und den geometrischen bzw. akustischen Raumgrößen wiedergegeben.

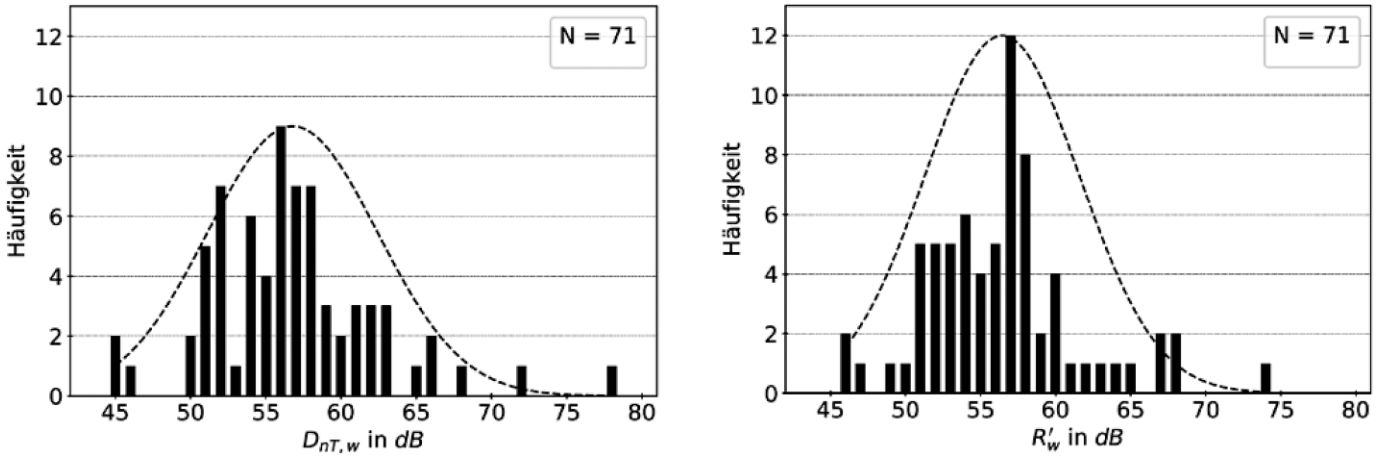

Bild 4 Häufigkeitsverteilung der Kenngrößen R'_w und $D_{nT,w}$ im Messdatensatz (N = 71) mit eingetragener Verteilungskurve (gestrichelte Linie)
Frequency distribution of the parameters R'_w and $D_{nT,w}$ in the measurement data set (N = 71) with drawn distribution curve (dashed line)

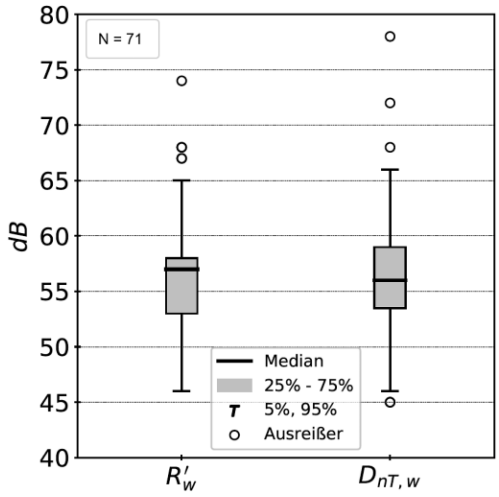

Bild 5 Boxplot der statistischen Verteilung von R'_w und $D_{nT,w}$ im Messdatensatz (N = 71)
Box plot of the statistical distribution of R'_w and $D_{nT,w}$ in the measurement data set (N = 71)

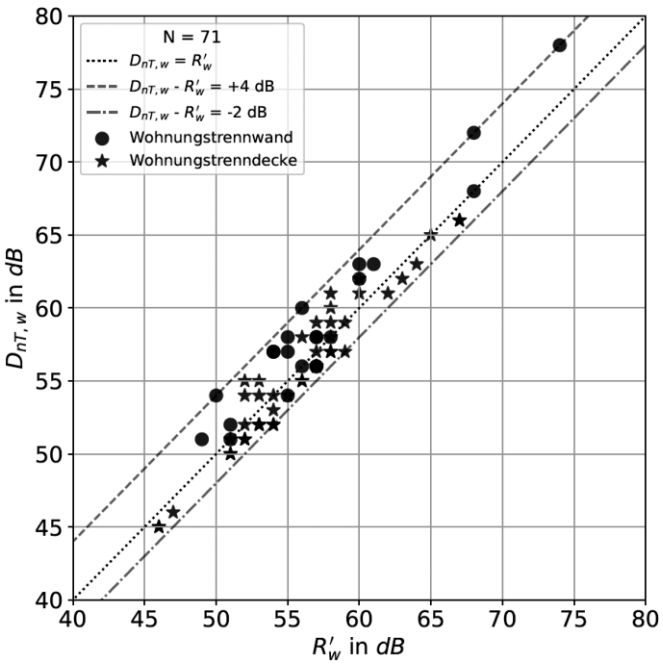

Bild 6 Verteilung der Messwerte R'_w und $D_{nT,w}$ und Linien der Minimal- und Maximalwerte (Grafik entnommen aus [18])
Distribution of measured values R'_w and $D_{nT,w}$ and lines of minimum and maximum values (Graphic taken from [18])

Aus Tabelle 3 ist ersichtlich, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang für die Differenz-Werte ($D_{nT,w} - R'_w$) und dem Verhältnis (V/S) besteht, wie es Gl. (1) erwarten lässt. Eine weitere nicht besonders erhöhte Ausprägung zeigt sich bei den Differenz-Werten ($D_{nT,w} - R'_w$) und dem Empfangsraumvolumen (V), was jedoch statistisch nicht signifikant ist. Die übrigen untersuchten Werte zeigen schwache Ausprägungen und lassen keine Aussage über allgemein gültige Zusammenhänge zu. Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha = 0{,}05$ gewählt. Eine Signifikanzprüfung wurde anhand einer Tabelle für kritische ρ-Werte gemäß [14] vorgenommen. Ein zentraler Zusammenhang besteht auch in der Beziehung zwischen Volumen (V) und Trennbauteilfläche (S). In Bild 7 ist dieser Zusammenhang im Datensatz von Wohnungstrennwänden (a) und Wohnungstrenndecken (b) grafisch dargestellt. In Bild 7a zeigt sich, dass trotz wachsendem Raumvolumen die Fläche der Trennwand zwischen 10 m² und einer Obergrenze von ca. 20 m² liegt. Der Mittelwert der Raumtiefe (l) bzw. (b) beträgt 4,7 m.

Im Gegensatz dazu kann bei den Messungen der Trenndecken eine größtenteils lineare Zunahme der Trennbauteilfläche beobachtet werden. Im Falle von Trenndecken entspricht die gesamte Deckenfläche der Trennbauteilflä-

Tab. 3 Ergebnisse der Korrelation nach Spearman [18]
Results of the correlation according to Spearman [18]

	D_{nTw}	R'_w	$D_{nTw} - R'_w$
Nachhallzeit T	0,33	0,27	0,19
Schallabsorptionsfläche A	–0,11	–0,18	0,17
Raumvolumen V	0,28	0,07	0,48
Trennbauteilfläche S	–0,08	0,00	–0,29
(V/S)-Verhältnis	0,43	0,12	0,95

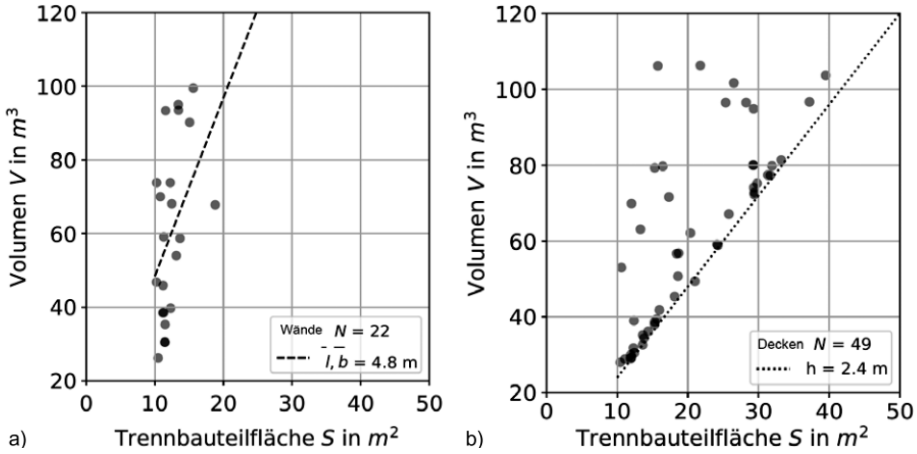

Bild 7 Trennbauteilflächen in Abhängigkeit des Empfangsraumvolumens bei (a) Wohnungstrennwänden (N = 22) und (b) Wohnungstrenndecken (N = 49) im Messdatensatz (N = 71) (Grafik entnommen aus [18])
Separation component areas as a function of the receiving room volume for (a) partition walls (N = 22) and (b) partition ceilings (N = 49) in the measurement data set (N = 71) (Graphic taken from [18])

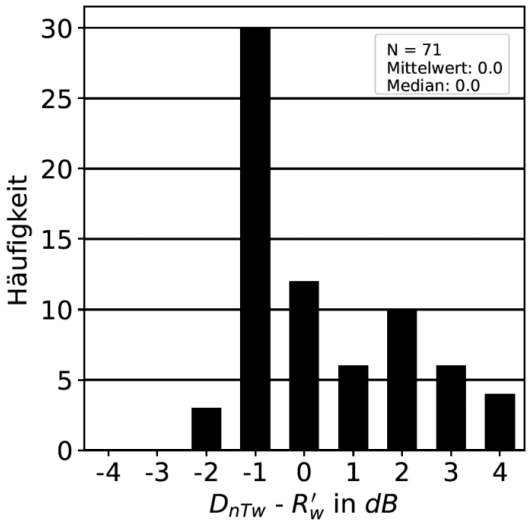

Bild 8 Absolute Häufigkeitsverteilung der Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$) im untersuchten Messdatensatz (N = 71)
Absolute frequency distribution of the difference ($D_{nT,w} - R'_w$) in the measurement data set (N = 71)

che und da, im Vergleich zu Trennwänden, deren beitragende Raumdimension „Höhe“ konstant bleibt, bedingt eine Vergrößerung des Volumens eine entsprechende Vergrößerung der Deckenfläche. Die in Bild 7b skizzierte Linie bei h = 2,4 m stellt eine Untergrenze der Raumhöhen der in diesem Datensatz untersuchten Räume dar. Die Häufigkeitsverteilung der Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$) im untersuchten Messdatensatz (N = 71) ist in Bild 8 grafisch dargestellt.

Aus Bild 8 zeigt sich anschaulich, dass in der Häufigkeitsverteilung eine deutliche Ausprägung der Differenzwerte bei –1 dB liegt. Das bedeutet, dass in der absoluten Häufigkeit das bewertete Bau-Schalldämm-Maß (R'_w) um 1 dB größer ist als die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$. Im Mittel (arithmetischer Mittelwert) und im Median liegt die Differenz der Kenngrößen im untersuchten Messdatensatz bei 0 dB mit einer Streubreite von 6 dB. Wird die Häufigkeitsverteilung getrennt für die untersuchten Trenndecken und Trennwände dargestellt, zeigt sich eine Häufigkeitsverteilung wie in Bild 9 zeigt. Dort sind die Trenndecken in Bild 9a und die Trennwände in Bild 9b dargestellt. Im Vergleich zu Bild 8 zeigt Bild 9a, dass die Ausprägung bei -1 dB durch die Decken bewirkt wird. Bild 9b hingegen zeigt, dass für Wände die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ in der Regel größer ist als das bewertete Bau-Schalldämm-Maß R'_w. Die Ausprägung der Differenzwerte erreicht Größenordnungen von bis zu 4 dB und die Differenzwerte sind gleichmäßig verteilt, eine Häufigkeitspräferenz ist nicht erkennbar.

Werden die Differenzwerte in Abhängigkeit des Empfangsraumvolumens (Bild 10a) und der Trennbauteilfläche (Bild 10b) aufgetragen, so lässt sich ein bestimmter Zusammenhang feststellen. Es zeigt sich, dass größere positive Differenzwerte lediglich bei größeren Volumina bzw. bei kleineren Trennbauteilflächen auftreten.

Werden die Differenzwerte der Kenngrößen $D_{nT,w}$ und R'_w aus den Messungen des Datensatzes in direktem Zusammenhang mit den korrespondierenden (V/S)-Verhältnissen gebracht, so ergibt sich die in Bild 11 wiedergegebene Darstellung. Theoretisch wäre gemäß Gl. (1) ein dem (V/S)-Verhältnis entsprechender Differenz-Wert zu erwarten, wie es durch den in der Grafik gestrichelten Verlauf angedeutet ist. Jedoch sind durchgehend Abweichungen erkennbar, die sich in einer ansteigenden Streubreite bei größer werdenden Verhältnis-Werten ausprägen.

Die Zusammenhänge aus Bild 11 werden im Detail für Trennwände und Trenndecken in Bild 12 aufgezeigt.

Es zeigt sich, dass bei den Wänden Schwankungen von –1 bis +4 dB und bei Decken von –2 bis +3 dB auftreten. Deutlich ist auch, dass die Differenzbildung mit einer 1 dB Abstufung erfolgt. In beiden Fällen, d. h. für Trennwände und Trenndecken, beträgt die Schwankungsbreite 5 dB.

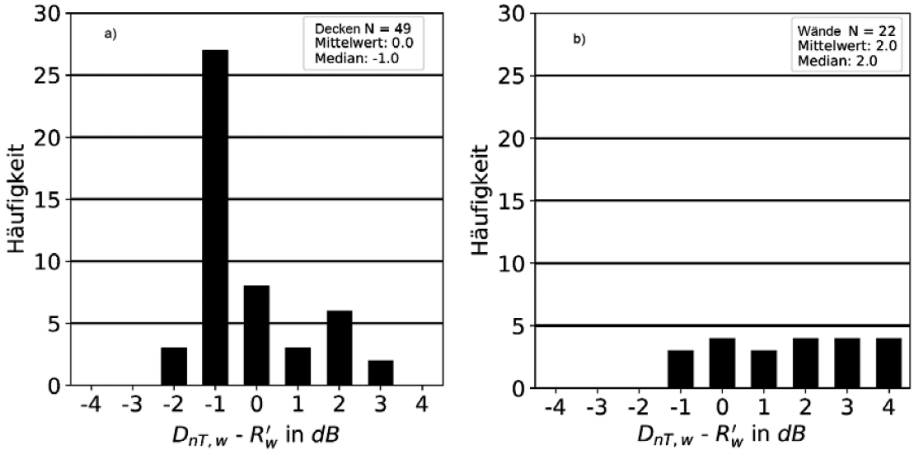

Bild 9 Absolute Häufigkeitsverteilung der Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$) für a) Trenndecken, b) Trennwände im Messdatensatz (N = 71)
Absolute frequency distribution of the difference ($D_{nT,w} - R'_w$) for a) partition ceilings, b) partition walls in the measurement data set (N = 71)

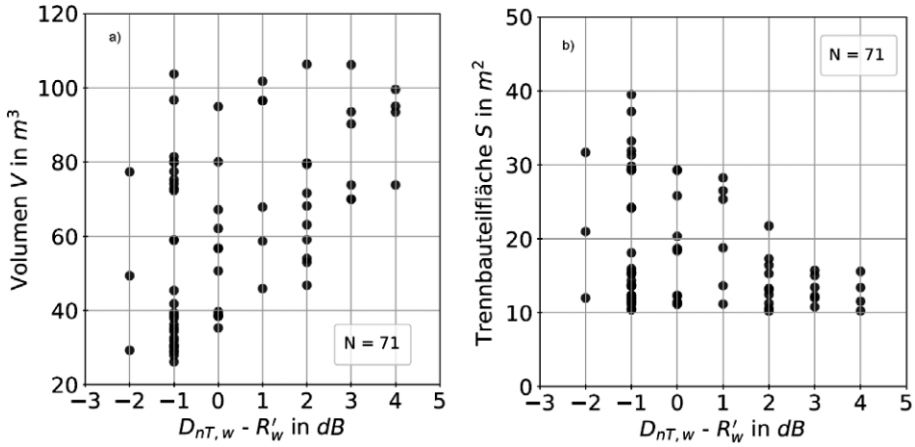

Bild 10 Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$); a) in Abhängigkeit des Volumens, b) in Abhängigkeit der Trennbauteilfläche
Difference ($D_{nT,w} - R'_w$); a) as a function of the volume, b) as a function of the separation area

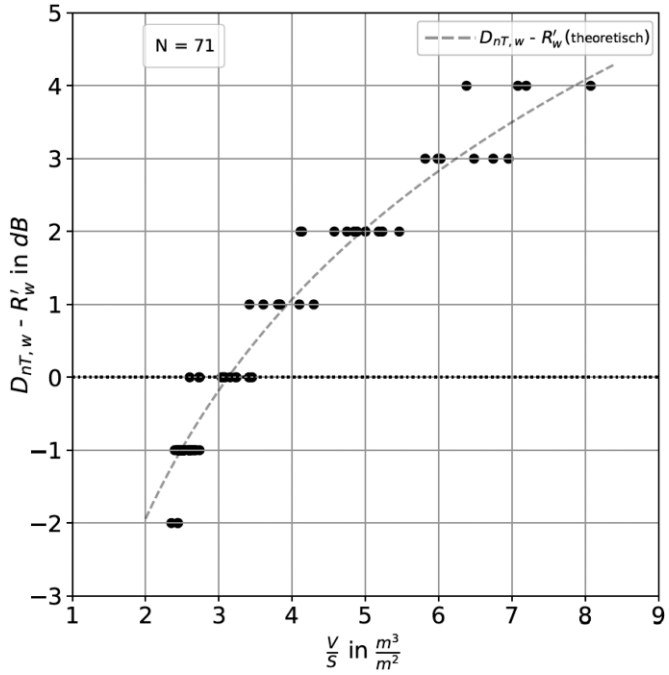

Bild 11 Darstellung des Zusammenhangs der Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$) und des Verhältnisses (V/S) des Messdatensatzes (N = 71) (Daten entnommen aus [18])
Shown is the relationship of the difference ($D_{nT,w} - R'_w$) and the ratio (V/S) of the measurement data set (N = 71) (Data taken from [18])

4.1 Randbedingungen der rechnerischen Analyse

Für eine rechnerische Analyse der kennzeichnenden Größen werden nachstehende Randbedingungen vorausgesetzt:

- Die minimale Grundfläche eines Wohnraumes wird mit $S_G = 8\ m^2$ vorausgesetzt.
- Die minimale Raumhöhe beträgt $h = 2{,}4\ m$ (siehe Bild 8).
- Hieraus resultiert ein minimales Raumvolumen von $V = 19{,}2\ m^3$.
- Die minimale Trennbauteilfläche beträgt $S = 10\ m^2$ und bleibt konstant.
- Hieraus folgt eine untere Grenze für das Verhältnis von Volumen zu Trennbauteilfläche von $(V/S) = 1{,}92\ m^3/m^2$.
- Es wird ein idealisierter Verlauf der Schallpegeldifferenz angenommen.
- Die Nachhallzeit wird pro Terzband auf $T = 0{,}5$ s festgelegt und bleibt konstant.

Unter der Voraussetzung einer diffusen Schallfeldverteilung im Raum [15, 16] ist die Gültigkeit der Sabine'schen Nachhallformel gewährleistet.

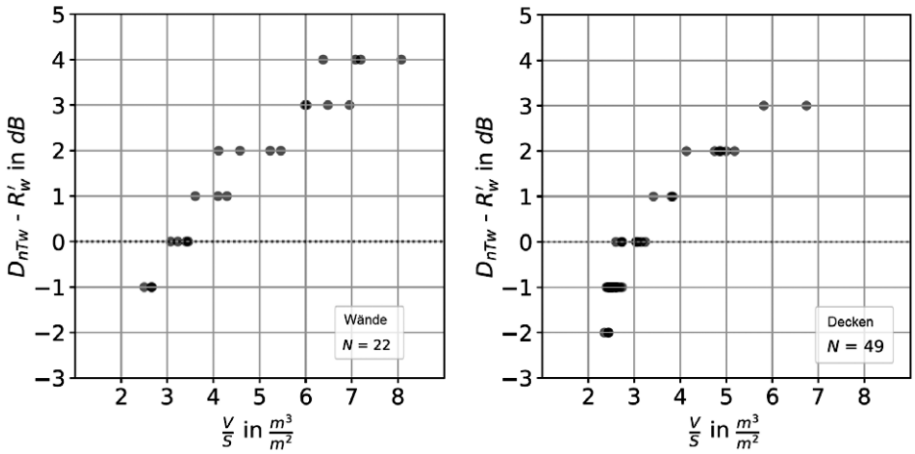

Bild 12 Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$); a) in Abhängigkeit des (V/S)-Verhältnisses für Trennwände, b) in Abhängigkeit des (V/S)-Verhältnisses für Trenndecken
Difference ($D_{nT,w} - R'_w$); a) as a function of the (V/S) ratio for partition walls, b) as a function of the (V/S) ratio for partition ceilings

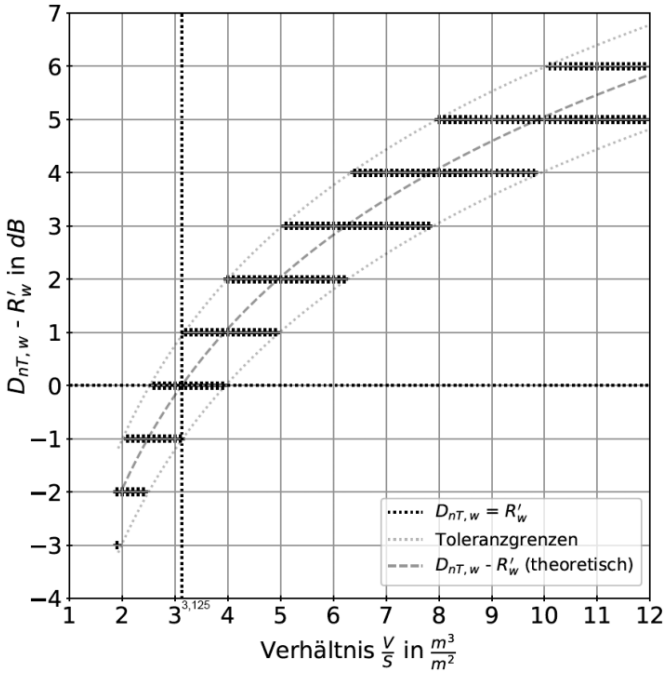

Bild 13 Theoretischer Zusammenhang der Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$) und des Verhältnisses (V/S). Die Einzahlwerte $D_{nT,w}$ und R'_w wurden terzweise nach Gl. (1) ermittelt und nach [17] berechnet (Grafik entnommen aus [18])
Theoretical context of the difference ($D_{nT,w} - R'_w$) and the ratio (V/S). The single values $D_{nT,w}$ and R'_w were determined in third-octave bands according to equ. (1) and calculated according to [17] (Graphic taken from [18])

Unter Variation des Volumens und einer konstanten Trennbauteilfläche werden die theoretisch zu erwartenden Kenngrößen frequenzabhängig berechnet. Die Bewertung der frequenzabhängigen Größen erfolgt nach dem Bewertungsverfahrens nach [17]. Der ideale Frequenzverlauf der Schallpegeldifferenz wurde iterativ mehreren Variationen unterzogen. Die im Messdatensatz festgestellten Differenzwertabweichungen sind von der Summe der ungünstigen Abweichungen gemäß des Bewertungsverfahrens in [17] abhängig. In Bild 13 sind die theoretisch zu erwartenden Differenzwerte ($D_{nT,w} - R'_w$) in Abhängigkeit des Verhältnisses (V/S) einschließlich den Toleranzgrenzen zusammengefasst.

Die in Bild 13 dargestellte vertikale Linie stellt das Verhältnis von (V/S) = 3,125 m³/m² dar, bei dem die Zahlenwerte der beiden Kenngrößen R'_w und $D_{nT,w}$ gleich sind. Dementsprechend ist bei Verhältnissen, die kleiner als dieser Schwellwert sind, das bewertete Bau-Schalldämm-Maß immer größer als die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz und bei größeren Verhältnissen stets kleiner. Aus Bild 13 lässt sich weiter ableiten, dass bei einer maximal zulässigen Differenz von +2 dB das (V/S)-Verhältnis 5 beträgt und bei der vorausgesetzten Mindesttrennbauteilfläche von S_{min} = 10 m² das zulässige Volumen dann 50 m³ beträgt. Damit kann eine Abgrenzung der Volumina mit einem Mindestvolumen von V_{min} = 8 m² × 2,40 m = 19,2 m³ und einem „Schwellenvolumen“ bei dem die Zahlenwerte der Differenz gleich sind von V = 31,25 m³ sowie einem „Grenzvolumen“ von V_{max} = 50 m³, bei dem die maximale Abweichung +2 dB beträgt, angeben werden. Die daraus abgeleiteten Volumenintervalle betragen dann: 19,2 m³ ≤ V ≤ 31,25 m³ und 31,25 m³ < V ≤ 50 m³.

Werden die ermittelten Messwerte in diese Volumenintervalle eingetragen, zeigt sich eine Verteilung wie in Bild 14 dargestellt. Bild 14 zeigt die $D_{nT,w}$-Werte und R'_w-Werte des Messdatensatzes in Abhängigkeit der Trennbauteilfläche in den festgelegten Volumengrenzen (Intervallgrenzen). In dem Volumenbereich von 19,2 m³ ≤ V ≤ 31,25 m³ beträgt die Streubreite –2 dB bis –1 dB. Bei dem Volumen V = 31,25 m³ beträgt die Differenz 0 dB. In dem Volumenbereich von 31,25 m³ < V ≤ 50 m³ beträgt die Streubreite ±2 dB.

Wird ergänzend berücksichtigt, dass die maximale Höhe gemäß Randbedingung h_{max} = 3 m entspricht und die Trenndecke maximal der Grundfläche eines Raumes entsprechen kann, so sind bei vorgegebenen Volumina Trennbauteilflächen in bestimmten Grenzen möglich. Hieraus können weitere Volumenklassen abgeleitet werden.

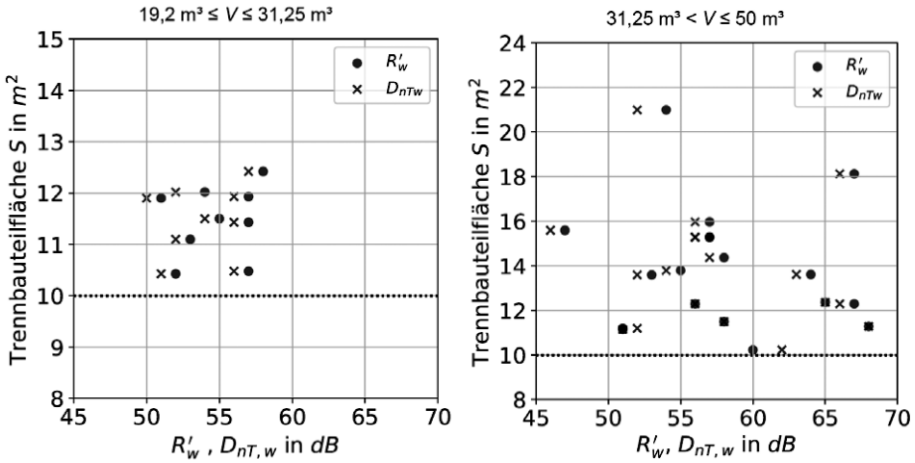

Bild 14 Messwerte des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes R'_w und der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ für verschiedene Volumenintervalle. Die in den Grafiken dargestellte gepunktete Linie stellt die Mindesttrennfläche von $S_{min} = 10$ m² dar (Daten entnommen aus [18])
Measured values of the weighted apparent sound reduction index R'_w and the weighted standardized level difference $D_{nT,w}$ for different volume intervals. The dotted line shown in the graphs represents the minimum area of $S_{min} = 10$ m². (Data taken from [18])

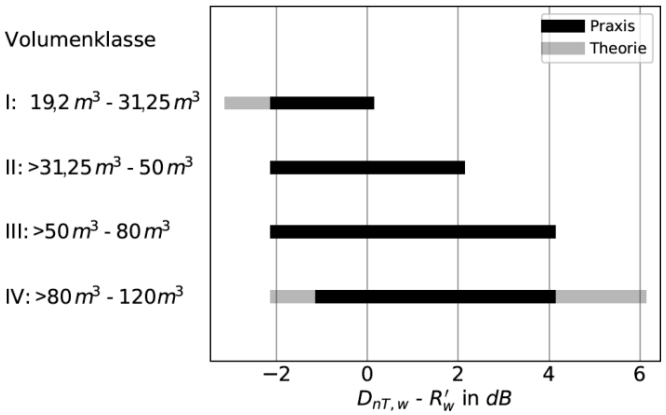

Bild 15 Volumenklassen und Streuung der Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$) (Daten entnommen aus [18])
Volume classes and dispersion of the difference ($D_{nT,w} - R'_w$) (Data taken from [18])

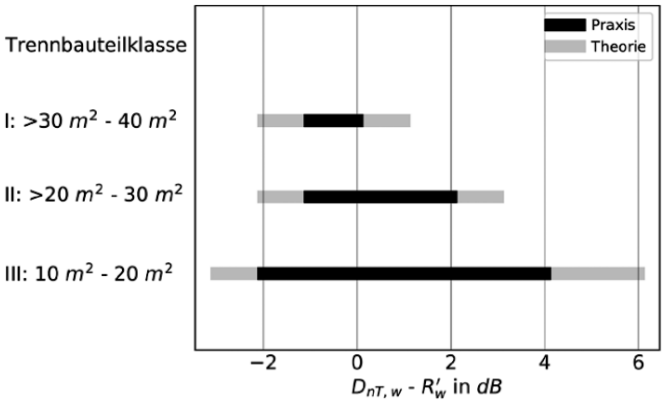

Bild 16 Trennbauteilklassen und Streuung der Differenz ($D_{nT,w} - R'_w$) (Daten entnommen aus [18])
Separation component classes and dispersion of the difference ($D_{nT,w} - R'_w$) (Data taken from [18])

4.2 Klassenbildung

4.2.1 Volumenklassen

Im Rahmen des untersuchten Datensatzes (N = 71) mit einer maximalen Grundfläche von $S_{max} = 40$ m² mit der vorausgesetzten maximalen Raumhöhe von $h_{max} = 3$ m ergibt sich eine Obergrenze des Raumvolumens von maximal $V_{max} = 120$ m³. Damit lassen sich vier Volumenklassen bilden (Bild 15). Je höher die Volumenklasse, desto größer wird die Obergrenze der Differenzwerte ($D_{nT,w} - R'_w$) und desto größer kann die mögliche Streubreite der Differenzwerte werden. Die in Bild 15 grau eingezeichneten Zonen stellen die rechnerisch ermittelten, d. h. theoretisch möglichen Differenzwerte dar.

Die in Bild 15 dargestellte Streuung der Differenzen zeigt, dass für wachsende Volumina die Abweichungen größer werden. Die Zahlengleichheit von R'_w und $D_{nT,w}$ ist eine Singularität die bei einem Volumen von $V = 31{,}25$ m³ gilt. Unter- und Überschreitungen dieses Raumvolumens bedingen eine zunehmende Streuung. Aus dem untersuchten Messdatensatz ergibt sich eine Streubreite von –2 dB bis +4 dB und aus der theoretischen Betrachtung, gültig für die vorausgesetzten Randbedingung, ergibt sich eine Streubreite von –3 dB bis +6 dB.

4.2.2 Trennbauteilklassen

In Anlehnung an eine Unterteilung in Volumenklassen, lässt sich auch eine Unterteilung in Trennbauteilklassen ableiten. In Bild 16 ist die Trennbauteilklasseneinteilung grafisch gezeigt. Die grau hinterlegten Balken weisen wieder die theoretisch möglichen Differenzwerte auf.

Aus Bild 16 wird deutlich, dass für wachsende Trennbauteilflächen die Abweichungen kleiner werden. Die Zahlengleichheit von R'_w und $D_{nT,w}$ ist eine Singularität, die volumenabhängig bei einer Trennfläche von $S = (V/3{,}125)$ auftritt. Unter- und Überschreitungen dieser Trennbauteilfläche bedingt eine abnehmende Streuung. Aus dem

untersuchten Messdatensatz ergibt sich eine Streubreite von –1 dB bis +4 dB und aus der theoretischen Betrachtung, gültig für die vorausgesetzten Randbedingung, ergibt sich eine Streubreite von –3 dB bis +6 dB.

5 Fazit

Die Klassenbildung in der Akustik kann eine deutliche Hilfe sein, um schnelle und zielgerichtete Einteilungen vornehmen zu können. Die Untersuchung zur Klassifizierung des Schallschutzes hat gezeigt, dass eine einfache Zuordnung der Schallschutzklassen in Schalldämmwerten schwierig ist. Der Vorteil einer Darstellung in Klassen ist eine einfachere Abschätzung der zu erwartenden Differenzen der beiden Kenngrößen $D_{nT,w}$ und R'_w. Die anhand der Volumenklassen und Trennbauteilklassen vereinfacht dargestellten Zusammenhänge sind jedoch aufgrund der beschriebenen Voraussetzungen und Annahmen vielschichtiger und weisen bezüglich der Grenzen der jeweiligen Klassen und die zu erwartenden Differenz-Werte umfassendere Verhältnisse auf. Eine Unterscheidung in Wohnungstrennwänden und Wohnungstrenndecken ist im Hinblick auf die Ergebnisse der Datenanalyse nützlich, aber für eine allgemein anzuwendende Klassifizierung umständlich. Eine brauchbare Klassenbildung kann anhand der Zusammenhänge aus Volumen (V) und Trennbauteilfläche (S) gewonnen werden. Eine Klassierung lässt sich vernünftig nur durchführen, wenn die Abweichungen, also die Differenzen zwischen den beiden Kenngrößen ($D_{nT,w}$ und R'_w), festgelegt werden. Erfolgt keine Festlegung können Abweichungen von mehreren Dezibel auftreten, so dass eine Klassenbildung mit vordefinierten Klassenbreiten nicht zielführend ist. Wird eine Klassenbreite vorgegeben sowie eine Abweichungsgrenze, dann ist in Abhängigkeit der Verhältnisse von (V/S) eine Klassenbildung möglich. Es muss jedoch bedacht werden, dass zu einer festen Klasse immer ein bestimmtes (V/S)-Verhältnis berücksichtigt werden muss, um die vereinbarte Fehlergrenze einhalten zu können. Wird unabhängig vom Geometrieverhältnis ein bewertetes Bau-Schalldämm-Maß einer bestimmten Klasse, ausgedrückt als bewertete Standard-Schallpegeldifferenz, zugeordnet, dann kann die Abweichung mehrere Dezibel betragen. Damit wäre eine messtechnische Prüfung zur Einhaltung einer vorgegebenen Schallschutzklasse kritisch zu hinterfragen. Ein direkter Vergleich von R'_w und $D_{nT,w}$ ist nur für ein festes (V/S)-Verhältnis zulässig und führt, außer für die Singularität $(V/S) = 3{,}125\ m^3/m^2$ immer zu einer Differenz. In Abhängigkeit der Trennbauteilfläche und des Raumvolumens kann die Streubreite –2 dB bis +6 dB betragen. Damit wird deutlich, dass eine Klassenbildung mit der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ nur mit dem bewerteten Bau-Schaldämm-Maße R'_w verknüpft werden kann, wenn eine vorgegebene Unsicherheit (Streubreite) definiert wird. Diese Unsicherheit ist vom (V/S)-Verhältnis abhängig, so dass eine feste Streubreite in der Anwendung begrenzt ist. Außerhalb dieser Gültigkeitsgrenzen können die Abweichungen mehrere Dezibel betragen. Die Klassifizierung des Schallschutzes $D_{nT,w}$ mithilfe des Schalldämm-Maßes R'_w ist eine Funktion des geometrischen Verhältnisses von Raumvolumen (V) zu Trennbauteilfläche (S).

6 Danksagung

Der Autor dankt Herrn Thomas Rauscher für die Überlassung der Daten aus seiner Masterarbeit an der Universität Stuttgart 2020.

Literatur

[1] Verordnung über den energieeinsparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 01.11.2020.

[2] VDI 2719:1987-08 (1987) *Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen.* Beuth, Berlin.

[3] DIN EN 14351-1:2019-09 – Entwurf (2019) *Fenster und Türen – Produktnorm, Leistungseigenschaften – Teil 1: Fenster und Außentüren*. Beuth, Berlin.

[4] VDI 3755:2015-01 (2015) *Schalldämmung und Schallabsorption abgehängter Unterdecken.* Beuth, Berlin.

[5] DIN EN ISO 11654:2018-05 – Entwurf (2018) *Akustik – Schallabsorber – Bewertung von Schallabsorptionsgraden.* Beuth, Berlin.

[6] EN 15665:2009-07 (2009) *Lüftung von Gebäuden – Bestimmung von Leistungskriterien für Lüftungssysteme in Wohngebäuden.* Beuth, Berlin.

[7] DIN 18533-1:2017-07 (2017) *Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teil 1: Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze.* Beuth, Berlin.

[8] DIN 1045-2:2008-08 (2008) *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1.* Beuth, Berlin.

[9] DIN EN 771-1:2015-11 (2015) *Festlegungen für Mauersteine – Teil 1: Mauerziegel.* Beuth, Berlin.

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

[11] DIN EN ISO 16283-1: 2018-04 (2018) *Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bau-teilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung.* Beuth, Berlin.

[12] ÖNorm B 8115-5: 2021-04 (2021) *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau – Teil 5: Klassifizierung.* Austrian Standards, Wien.

[13] ISO-TC 19488:2021-04 (2021) *Akustik – Akustisches Klassifizierungssystem für Wohngebäude.* Beuth Verlag, Berlin.

[14] Sheskin D. J. (2000) *Handbook of Paramteric and Nonparametric Statistical Procedures.* Chap-man and Hall/CRC Press, Boca Radon, Florida,

[15] Gruhl, S. (1981) *Richtlinie zur Berechnung der Lärmimmissionen in Räumen* in: Beiträge für die Praxis, Heft 1, Zentralinstitut für Arbeitsschutz – ZIAS, Dresden.
[16] Neubauer R. O. (1997) *Berechnung der erforderlichen Schallabsorption für kubische Räume in Abhängigkeit der Raumhöhe* in: gi – Gesundheits-Ingenieur 118, H. 1, S. 32–63.
[17] DIN EN ISO 717-1: 2021-05 (2021) *Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung.* Beuth, Berlin.
[18] 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.

Autor
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) *Die Klassifizierung des Schallschutzes $D_{nT,w}$ mithilfe des Schalldämm-Maßes R'_w.* Bauphysik 43, H. 6, S. 400–410. https://doi.org/10.1002/bapi.202100036