

# Einfluss der äquivalenten Schallabsorptionsfläche auf das Schalldämm-Maß

Die Schalldämmung, ausgedrückt mit der kennzeichnenden Größe  $R'_{w}$ , wird in Deutschland zur Beschreibung des baulichen Schallschutzes verwendet. Die messtechnische Ermittlung erfolgt nach den Regeln wie sie in DIN EN ISO 16283 Teil 1 beschrieben werden, wobei die Trennfläche mit der äquivalenten Schallabsorptionsfläche normiert wird. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche wird durch Messung der Nachhallzeit im Empfangsraum ermittelt. DIN EN ISO 16283 Teil 1 fordert die Anwendung der Sabine'schen Nachhallformel zur Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche. Für Räume mit größeren äquivalenten Schallabsorptionsflächen hat sich allgemein die Verwendung der Eyring'schen Nachhallformel bewährt. Welchen Einfluss die Bestimmung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche mittels der Nachhallformel nach Eyring auf die Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes hat, wird anhand theoretischer Betrachtung als auch durch Messergebnisse dargestellt. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Anwendung der Eyring'schen Nachhallformel bei der Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes ein um bis zu 1 dB höheres bewertetes Bau-Schalldämm-Maß bewirkt.

**Stichworte** Schalldämmung; Nachhallzeit; Diffuses Schallfeld; Schallschutz; Sabine; Eyring

## 1 Einleitung

Der Schallschutz zwischen fremden Wohnräumen ist in Deutschland bauordnungsrechtlich als technische Regel eingeführt. Der erforderliche Schutz wird in Deutschland durch das Bau-Schalldämm-Maß  $R'_{w}$  ausgedrückt. Die nach Bauordnungsrecht entsprechend der Länderbauordnungen erforderlichen Schalldämm-Maße sind in DIN 4109 Teil 1 [1] angegeben und müssen rechnerisch im Zuge der Baugenehmigung nachgewiesen werden. Dieser Nachweis erfolgt als „Schallschutznachweis“ auf der Grundlage der Berechnungsvorschriften nach DIN 4109 Teil 2 [2]. Wird der geforderte Schallschutz nach Fertigstellung des Gebäudes beklagt oder soll im Zuge der Qualitätssicherung beurteilt werden, wird der tatsächlich vorliegende bauliche Schallschutz durch Güteprüfung auf der Grundlage von DIN EN ISO 16283 Teil 1 [3] messtechnisch ermittelt und nach DIN EN ISO 717 Teil 1 [4] bewertet. Die Messnorm DIN EN ISO 16283 Teil 1 legt ein Verfahren zur Bestimmung der Luftschalldämmung zwischen zwei Räumen mit Raumvolumen im Bereich von 10 Kubikmeter bis 250 Kubikmeter in einem Gebäude durch Schalldruckpegelmessungen in dem Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz fest. Sie beschreibt unter ihrem Anwendungsbereich: „Die Prüfergebnisse können

## Impact of the equivalent sound absorption area on the sound insulation

The sound insulation, expressed with the characteristic measure  $R'_{w}$ , is used in Germany to describe the sound insulation. The metrological determination is carried out according to DIN EN ISO 16283 Part 1, whereby the separating surface is standardised with the equivalent sound absorption area. The equivalent sound absorption area is determined by measuring the reverberation time in the receiving room. DIN EN ISO 16283-1 requires the use of Sabine's reverberation formula to calculate the equivalent sound absorption area. For rooms with larger equivalent sound absorption areas, the use of Eyring's reverberation formula has generally proven its worth. The influence of the determination of the equivalent sound absorption area by means of the reverberation formula according to Eyring is shown by theoretical consideration as well as by measurement results. It has been shown that the application of Eyring's reverberation formula results in a higher sound insulation value by up to 1 dB.

**Keywords** sound insulation; reverberation time; equivalent sound absorption area; Sabine; Eyring

*genutzt werden, um die Luftschalldämmung in unmöblierten und möblierten Räumen quantitativ zu bestimmen, zu beurteilen und miteinander zu vergleichen, wobei das Schallfeld etwa einem diffusen Schallfeld entsprechen darf, dies jedoch nicht muss. Die gemessene Luftschalldämmung ist von der Frequenz abhängig und kann in eine Einzahlangabe umgewandelt werden, um unter Anwendung der Bewertungsverfahren nach ISO 717-1 die akustische Leistung zu charakterisieren.“*

Die Norm DIN EN ISO 16283 Teil 1 beschreibt eine Methode um die Luftschalldämmung in unmöblierten und möblierten Räumen quantitativ zu bestimmen, zu beurteilen und miteinander vergleichen zu können. Möblierte Räume und unmöblierte Räume weisen unterschiedliche Nachhallzeiten auf, was auf die unterschiedliche Ausgestaltung der Räume mit schallabsorbierenden Materialien beziehungsweise Oberflächen der Raumumfassungsflächen zusammenhängt. Dies ist auch der Grund warum die gemessenen Schallpegel im Empfangsraum mit der gemessenen Nachhallzeit im Empfangsraum korrigiert, d. h. normiert, werden müssen. Diese Normierung erfolgt vereinbarungsgemäß aufgrund internationaler normativer Übereinkommen mittels der äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A$ . Damit soll sichergestellt werden, dass der

Empfangspegel nicht von der Ausgestaltung des Empfangsraumes, d.h. von seinen absorptiven Eigenschaften, abhängt. Welchen Einfluss die Bestimmung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A$  auf das bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  hat, wird anhand nachstehender Untersuchungsergebnisse diskutiert und dargestellt.

## 2 Das Bau-Schalldämm-Maß $R'$ , $R'_w$

Das gemessene Bau-Schalldämm-Maß  $R'$  wird nach Gl. (1) ermittelt:

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

mit

- $L_S$  energetisch gemittelter Schalldruckpegel im Senderaum in dB
- $L_E$  energetisch gemittelter Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB
- $S$  Fläche des Trennbauteils in  $\text{m}^2$
- $A$  äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum in  $\text{m}^2$

Die Messgrößen sind die Schalldruckpegel  $L_S$  und  $L_E$ . Die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  im Empfangsraum wird über die Messung der Nachhallzeit  $T$  bestimmt. Die Berechnung von  $A$  stellt eine wichtige Größe in der Ermittlung des „gemessenen“ Schalldämm-Maßes dar. Für die Bestimmung des Bau-Schalldämm-Maßes  $R'$  wird die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  erforderlich, welche keine Messgröße, sondern ein Kennwert ist, der von einer gemessenen Kenngröße abgeleitet wird.

## 3 Die Nachhallzeit $T$

Aus der klassischen Nachhallzeittheorie ist bekannt, dass bei unterschiedlichen Ansätzen der Energieverteilung im Raum unterschiedliche Nachhallformeln resultieren. Allen Nachhallformeln gemeinsam ist jedoch, dass sie streng nur gelten, wenn das Schallfeld ausreichend diffus ist. In [5, 6] werden eine Vielzahl verschiedener Nachhallformeln zur Berechnung der Nachhallzeit diskutiert und deren Abweichungen dargestellt. Eine allgemeine Akzeptanz haben dabei die Ansätze von W.C. Sabine [7] und die von C.F. Eyring [8]. Die Nachhallformel von Sabine und Eyring sind bei Vernachlässigung der Luftabsorption nachstehend wiedergegeben:

$$\frac{V}{S_{\text{ges}}} \left( \frac{55,26}{c_0 T_{60}} \right) = \begin{cases} \bar{\alpha} & \text{Sabine} \\ -\ln(1 - \bar{\alpha}) & \text{Eyring} \end{cases} \quad (2)$$

mit

- $T_{60}$  Nachhallzeit in s
- $V$  Raumvolumen in  $\text{m}^3$
- $S_{\text{ges}}$  Raumboberfläche in  $\text{m}^2$
- $\bar{\alpha}$  mittlerer Schallabsorptionsgrad [-]
- $c_0$  Schallgeschwindigkeit in Luft in  $\text{ms}^{-1}$

## 4 Äquivalente Schallabsorptionsfläche $A$

Aus Gl. (1) ergibt sich, dass zur Bestimmung des Bau-Schalldämm-Maßes  $R'$  die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  erforderlich ist. Aus der gemessenen Nachhallzeit  $T$  kann die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  abgeleitet werden. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  wird nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 durch die Gl. (3) beschrieben:

$$A = 0,16 V/T \quad [\text{m}^2] \quad (3)$$

mit

- $A$  äquivalente Schallabsorptionsfläche in  $\text{m}^2$
- $V$  Volumen des Empfangsraumes in  $\text{m}^3$
- $T$  Nachhallzeit im Empfangsraum in s

Aus der gemessenen oder berechneten Nachhallzeit  $T$  kann bei Kenntnis des Raumvolumens  $V$  die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  ermittelt werden. Bei konstanter Nachhallzeit ist die äquivalente Schallabsorptionsfläche volumenabhängig. In Bild 1 ist für verschiedene Nachhallzeiten die äquivalente Schallabsorptionsfläche über dem Raumvolumen nach Gl. (3) grafisch aufgetragen. Es zeigt sich, dass je kürzer die Nachhallzeit ist, desto größer wird die äquivalente Schallabsorptionsfläche, was unmittelbar aus Gl. (3) ersichtlich ist.

Die in Bild 1 eingetragene Bezugsnachhallzeit ( $T_0 = 0,5$  s) wird unter anderem für die Berechnung der Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$  herangezogen, die dadurch unabhängig von der äquivalenten Schallabsorptionsfläche  $A$  ist.

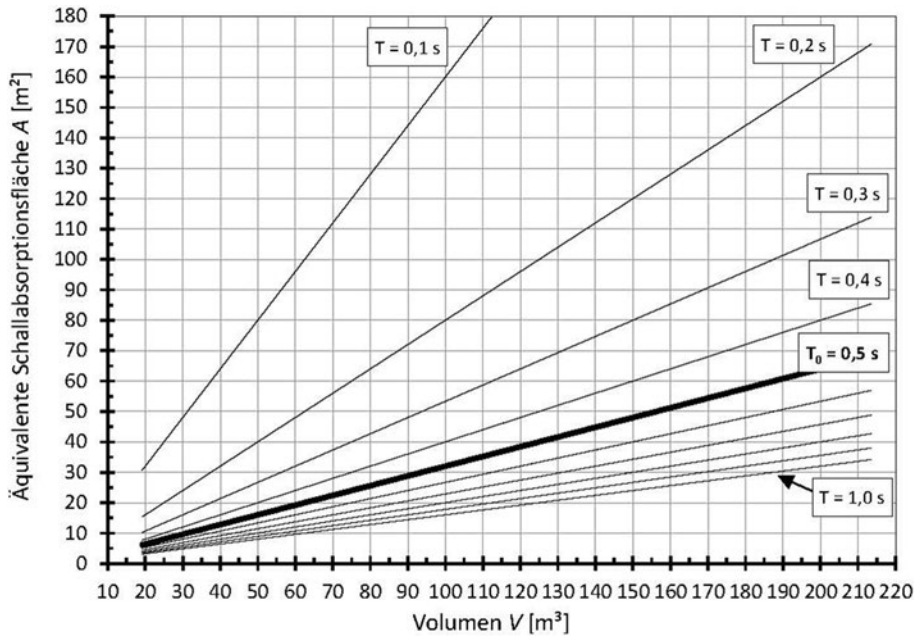
Bei der Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes nach Gl. (1) wird der Bezug auf die äquivalente Schallabsorptionsfläche erforderlich, da der Schalldruckpegel im Empfangsraum  $L_E$  durch eine zusätzlich in den Raum eingebrachte Schallabsorption  $\Delta A$  nach Gl. (4) reguliert wird:

$$\Delta L_E = 10 \lg \left( 1 + \frac{\Delta A}{A_{\text{vorh.}}} \right) [\text{dB}] \quad (4)$$

mit

- $\Delta L_E$  Schallpegeländerung im Empfangsraum nach Einbringung einer zusätzlichen Schallabsorption in dB
- $\Delta A$  zusätzlich in dem Empfangsraum eingebrachte Schallabsorption in  $\text{m}^2$
- $A_{\text{vorh.}}$  äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum vor dem Einbringen einer zusätzlichen Schallabsorption in  $\text{m}^2$

Die Gl. (4) besagt, dass bei einer Verdoppelung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum der Schallpegel um 3 dB abgesenkt werden kann. Bei unmöblierten und leeren Räumen kann eine Verdoppelung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche leicht erreicht werden. Eine Normierung auf die tatsächlich vorliegende äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum



**Bild 1** Äquivalente Schallabsorptionsfläche nach Gl. (3); die durchgezogene fette Linie kennzeichnet die Nachhallzeit  $T = 0,5$  s, die nach DIN EN ISO 717-1 Bezugsnachhallzeit  $T_0$  genannt wird  
 Equivalent sound absorption area according to Eq. (3); the solid bold line indicates the reverberation time  $T = 0.5$  s, which is named  $T_0$  according to DIN EN ISO 717-1 as reference reverberation time

ist daher zur Ermittlung der korrekten Schalldämmung eine wichtige Maßnahme.

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  ist als gedachte Fläche definiert, die einen Schallabsorptionsgrad von 1 besitzt. Daraus ergibt sich eine identische Schallabsorption, wie die tatsächliche Oberfläche des Schallabsorbers. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  im Raum wird als Produkt aus dem Schallabsorptionsgrad  $\alpha$  und der Fläche  $S$  nach Gl. (5) berechnet:

$$A = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i \quad [m^2] \quad (5)$$

- mit
- $A$  äquivalente Schallabsorptionsfläche in  $m^2$
  - $S_i$  Teilfläche  $i$  im Raum in  $m^2$
  - $\alpha_i$  Schallabsorptionsgrad der Teilfläche  $S_i$  [-]
  - $n$  Gesamtzahl der Teilflächen

In [9] wird gezeigt, dass es in der Literatur andere Nachhallzeitformeln gibt, die jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und der Vergleich von gemessener und berechneter Nachhallzeit zu mehr oder weniger großen Abweichungen führt. Die Nachhallzeitformel nach Eyring unterscheidet sich von der Sabine'schen Gleichung dadurch, dass die Abnahme der Schallenergie im Raum nach abschalten der Schallquelle als exponentiell angenommen wird. Für einen vorausgesetzten Energieabfall von 60 dB ergibt sich damit ein Schallabsorptionsgrad von

$$\alpha_E = 1 - e^{-\alpha_s} \quad (6)$$

- mit
- $\alpha_E$  Schallabsorptionsgrad aus der Nachhallzeitformel nach Eyring [-]

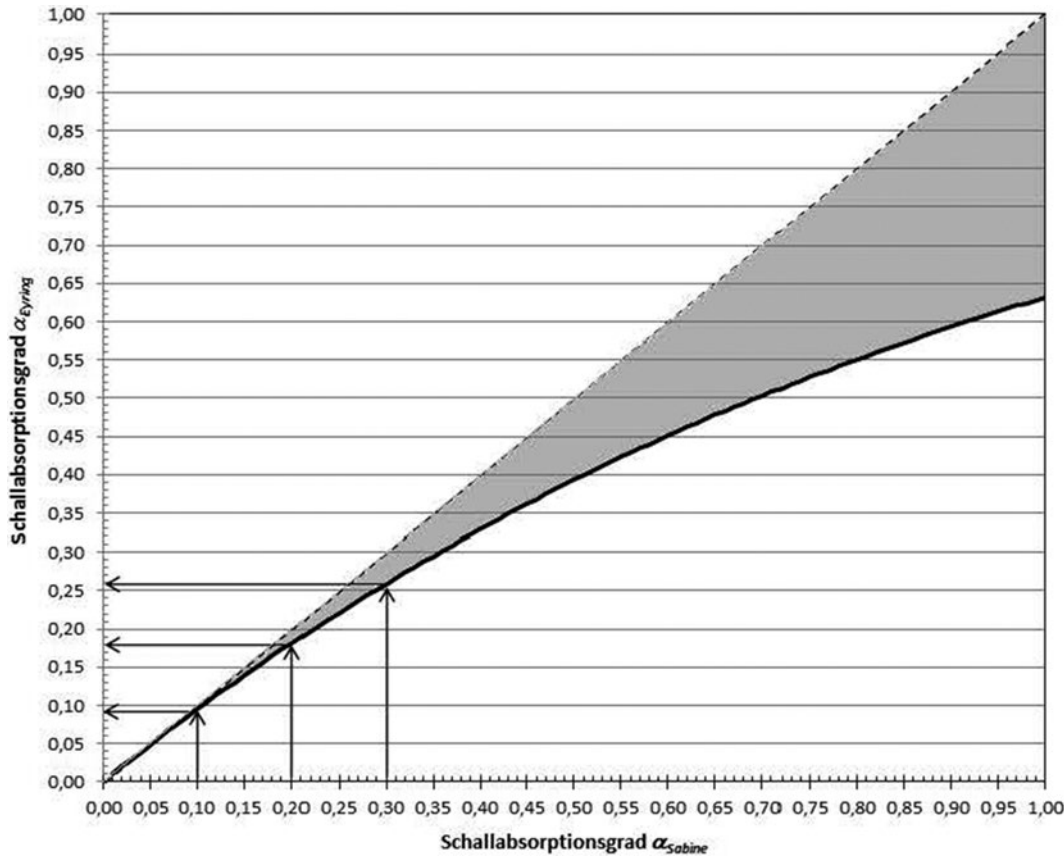
$\alpha_s$  Schallabsorptionsgrad aus der Nachhallzeitformel nach Sabine [-]

Der funktionale Zusammenhang ist grafisch in Bild 2 dargestellt.

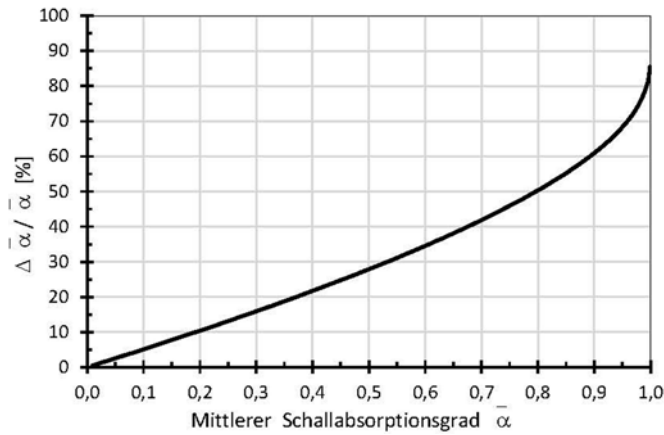
Aus dem Verlauf des Graphen in Bild 2 zeigt sich, dass beide Größen nur in einem kleinen Bereich ( $\alpha < 0,10$ ) annähernd gleich sind, identisch sind sie nie. Die Abweichung beider Ansätze für die Berechnung der Schallabsorptionsgrade nach Sabine und nach Eyring ist durch die in Bild 2 eingetragene Diagonale sofort erkennbar. Aus dem Graphen in Bild 2 sieht man, dass bei kleinen Schallabsorptionsgraden ( $\bar{\alpha} \ll 1$ ) beide Gleichungen (siehe Gl. (2)) ähnliche Werte der berechneten Schallabsorptionsgrade liefern. Jedoch für  $\alpha_s = 0,30; 0,40; 0,50; 0,60$  usw. ergibt die Gleichung nach Eyring entsprechend  $0,26; 0,33; 0,39; 0,45$  usw. und der Unterschied zwischen diesen Werten wird signifikant. Für kleine Absorptionsgrade ( $\alpha < 0,2$ ) ist es jedoch im Rahmen der Genauigkeit gering, ob nach Sabine oder Eyring die äquivalente Schallabsorptionsfläche berechnet wird. Je größer aber der Schallabsorptionsgrad wird, desto größer ist auch die Differenz zwischen beiden Größen.

In Bild 3 ist der relative Fehler über dem mittleren Schallabsorptionsgrad grafisch aufgetragen. Es zeigt sich, dass bei einem angenommenen Fehler von unter 10%, der mittlere Schallabsorptionsgrad nicht größer als 0,2 betragen darf.

Für die Berechnung des Bau-Schalldämm-Maßes ist die äquivalente Schallabsorptionsfläche erforderlich, die sich aus der gemessenen Nachhallzeit ergibt. Wird die äquivalente Schallabsorptionsfläche nach Eyring bestimmt, er-



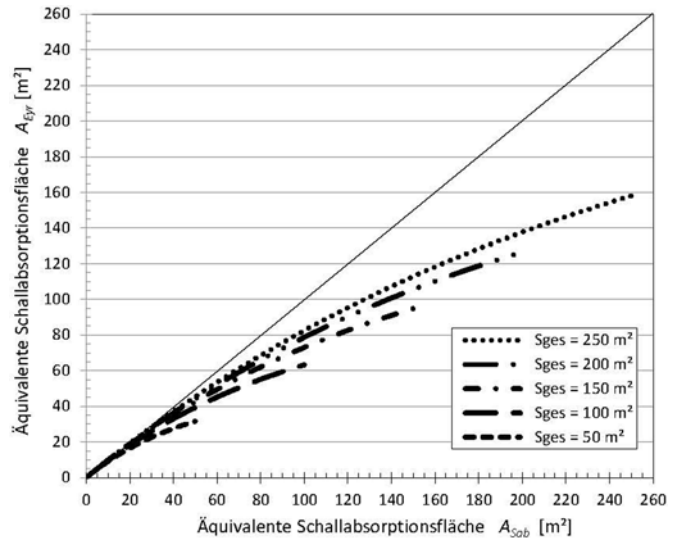
**Bild 2** Vergleich der Schallabsorptionsgrade nach Sabine und Eyring. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die Gleichheit der Ergebnisse ( $\bar{\alpha}_S = \bar{\alpha}_E$ ). Die grau hinterlegte Fläche kennzeichnet den Differenzbereich zwischen den Werten nach Sabine und nach Eyring.  
 Comparison of sound absorption levels according to Sabine and Eyring. The dashed line indicates the equality of the results ( $\bar{\alpha}_S = \bar{\alpha}_E$ ). The grey area indicates the difference between the values according to Sabine and Eyring.



**Bild 3** Relativer Fehler der abgeleiteten Größen  $\bar{\alpha}$  und  $\ln(1 - \bar{\alpha})$   
 Relative error of the derived values  $\bar{\alpha}$  and  $\ln(1 - \bar{\alpha})$

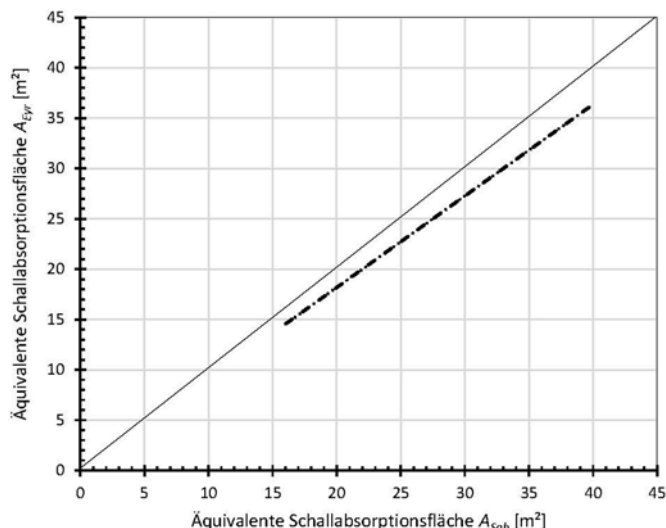
gibt sich theoretisch der funktionale Zusammenhang wie er in Bild 4 grafisch dargestellt ist. Bild 4 zeigt die äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$ , berechnet nach Sabine ( $A_{Sab}$ ) und nach Eyring ( $A_{Eyr}$ ).

Aus Bild 4 ist sofort erkennbar, dass bei zunehmender Raumbofläche ( $S_{ges}$ ) bei gleichem mittleren Schallabsorptionsgrad die Abweichung zwischen den Ergebnissen nach Sabine und Eyring größer wird. Bei Schallabsorptionsflächen bis etwa  $20 \text{ m}^2$  ist der Unterschied gering. Diese Grenze wird bei üblichen Wohnungs- und Verwal-



**Bild 4** Vergleich der berechneten äquivalenten Schallabsorptionsfläche nach Sabine und nach Eyring nach Gl. (2) für  $A = S_{ges} \bar{\alpha}$ . Die durchgezogene Linie (Diagonale) kennzeichnet die Gleichheit beider Ergebnisse.  
 Comparison of the calculated equivalent sound absorption area according to Sabine and Eyring according to equation (2) for  $A = S_{ges} \bar{\alpha}$ . The solid line (diagonal) indicates the equality of both results.

tungsbauten selten, wenn überhaupt, überschritten. Für die Gültigkeit der Gl. (3) ist ein diffuses oder quasi-diffuses Schallfeld erforderlich. In [10] wurden Untersuchungen zur Volumenverteilung mit Raumabmessungen nach



**Bild 5** Vergleich der nach Sabine und Eyring berechneten äquivalenten Schallabsorptionsfläche für  $l/h > 3$ , zul.  $\Delta A/A = 10\%$  (mittlerer Schallabsorptionsgrad  $\bar{\alpha} = 0,194$ )  
 Comparison of the equivalent sound absorption area calculated according to Sabine and Eyring for  $l/h > 3$ , compared to  $\Delta A/A = 10\%$  (mean sound absorption  $\bar{\alpha} = 0,194$ )

Gruhl [11] durchgeführt, die ein diffuses Schallfeld gewährleisten. Für ein Verhältnis von Raumlänge  $l$  zu Raumhöhe  $h$  von  $l/h > 3$  und einer relativen Abweichung von ca. 10% zwischen den Berechnungen nach Sabine und Eyring ergibt sich eine Abweichung der berechneten äquivalenten Schallabsorptionsfläche wie in Bild 5 dargestellt.

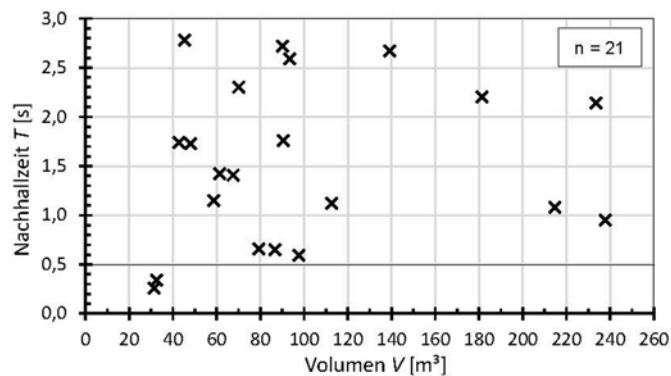
Aus Bild 5 ist ersichtlich, dass die nach der Eyring'schen Nachhallzeitformel berechnete äquivalente Schallabsorptionsfläche immer kleiner ist als die nach der Sabine'schen Nachhallzeitformel berechnete äquivalente Schallabsorptionsfläche. Damit wird unter Bezug auf Gl. (1) das Bau-Schalldämm-Maß  $R'$  größer. Der Unterschied der Nachhallzeitformeln hat damit direkt Einfluss auf das Bau-Schalldämm-Maß.

### 5 Messwerte

Im üblichen Wohnungs- und Verwaltungsbau sind Raumvolumen und äquivalente Schallabsorptionsflächen begrenzt. Damit zusammenhängend sind auch die Differenzen zwischen den Berechnungen der äquivalenten Schallabsorptionsflächen, wie in Bild 4 erkennbar, klein. Zur Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$  wurden 21 Schalldämmungsmessungen nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 durchgeführt und nach DIN EN ISO 717 Teil 1 ausgewertet. Die Ergebnisse, zusammen mit dem Raumvolumen  $V$ , der mittleren Nachhallzeit  $T$  und der Trennfläche  $S_T$ , sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Die Messergebnisse der Nachhallzeiten sind grafisch in Bild 6 wiedergegeben.

Die in Bild 6 dargestellten Messergebnisse der Nachhallzeiten beziehen sich sowohl auf leere Räume als auch auf

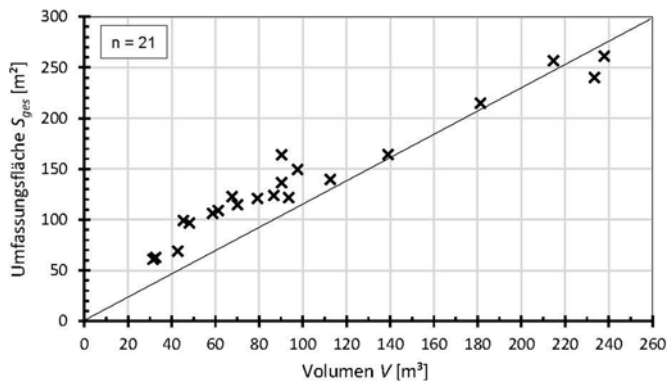


**Bild 6** Gemessene mittlere Nachhallzeit  $T_{(500\text{ Hz}-1\text{ kHz})}$  über dem Raumvolumen  $V$   
 Measured mean reverberation time  $T_{(500\text{ Hz}-1\text{ kHz})}$  over the room volume  $V$

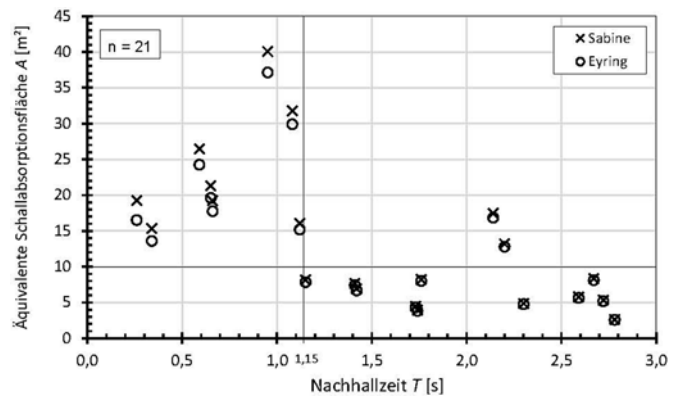
möblierte Räume. Die dargestellten Messwerte sind Oktav-Mittelwerte nach ISO 3382 [12] im Frequenzbereich 500 Hz–1000 Hz. Ergänzend wurde informationshalber die nach DIN EN ISO 16283-1 [3] für Wohnräume angegebene Bezugs-Nachhallzeit  $T_0 = 0,5$  s als durchgezogene horizontale Linie mit in Bild 6 eingetragen. Aus dem Vergleich der gemessenen Nachhallzeit wird deutlich, dass

**Tab. 1** Gemessene Nachhallzeiten  $T_{(500\text{ Hz}-1\text{ kHz})}$  und ermittelte bewertete Bau-Schalldämm-Maße  $R'_w$   
 Measured reverberation time  $T_{(500\text{ Hz}-1\text{ kHz})}$  and determined apparent airborne sound insulations  $R'_w$

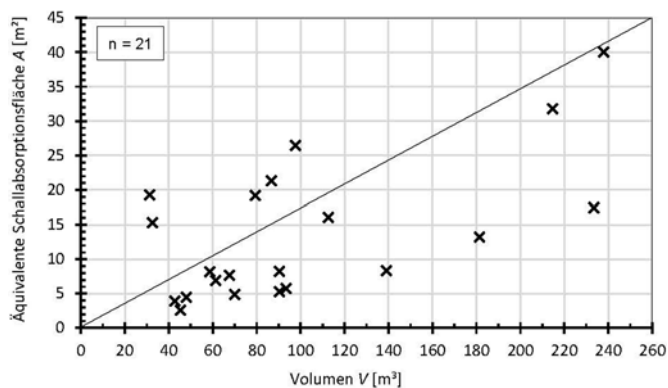
Nr.	$V$ [m³]	$T_{(500\text{ Hz} - 1\text{ kHz})}$ [s]	$S_T$ [m²]	$R'_w$ [dB]
1	31,30	0,26	10,00	54
2	32,60	0,34	13,60	53
3	42,70	1,74	12,70	54
4	45,33	2,78	18,10	67
5	48,00	1,73	10,10	52
6	58,70	1,15	16,23	46
7	61,30	1,42	12,70	46
8	67,50	1,41	23,40	70
9	70,00	2,30	10,80	54
10	79,25	0,66	31,70	59
11	86,66	0,65	33,20	56
12	90,16	2,72	15,07	60
13	90,30	1,76	24,00	53
14	93,40	2,59	19,30	55
15	97,54	0,59	36,67	56
16	112,50	1,12	16,53	42
17	139,00	2,67	21,30	45
18	181,30	2,20	22,90	39
19	214,60	1,08	22,90	42
20	233,50	2,14	26,50	39
21	237,80	0,95	23,00	54



**Bild 7** Umfassungsfläche  $S_{ges}$  über dem Raumvolumen  $V$  der untersuchten Räume  
Total area  $S_{ges}$  above the room volume  $V$  of the examined rooms



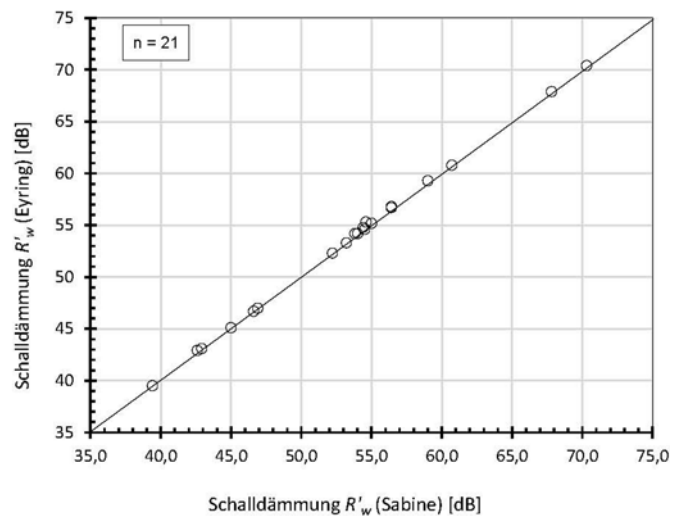
**Bild 9** Berechnete Schallabsorptionsfläche  $A$  über der gemessenen mittleren Nachhallzeit  $T$   
Calculated sound absorption area  $A$  above the measured mean reverberation time  $T$



**Bild 8** Ermittelte äquivalente Schallabsorptionsfläche  $A$  über dem Raumvolumen  $V$   
Determined equivalent sound absorption area  $A$  above the room volume  $V$

die Bezugs-Nachhallzeit entweder deutlich überschritten oder unterschritten wird. Eine um den Bezugswert auftretenden Häufung der Werte wird nicht festgestellt. Die festgestellten Abweichungen sind beträchtlich und korrelieren nicht mit der Bezugs-Nachhallzeit.

Aus Bild 7 wird deutlich, dass die Umfassungsfläche mit dem Raumvolumen korreliert, was mit der äquivalenten Schallabsorptionsflächen nicht der Fall ist. Dies wird aus Bild 8 deutlich, wo die aus den gemessenen Nachhallzeiten ermittelten äquivalenten Schallabsorptionsflächen über dem Raumvolumen dargestellt sind. In Bild 9 sind die aus den gemessenen Nachhallzeiten ermittelten äquivalenten Schallabsorptionsflächen über der Nachhallzeit aufgetragen. Ergänzend ist in Bild 9 informationshalber die nach DIN EN ISO 16283-2 [13] für Wohnräume angegebene Bezugs-Schallabsorptionsfläche  $A_0 = 10 \text{ m}^2$  als durchgezogene horizontale Linie mit eingetragen. Aus dem Vergleich der berechneten äquivalenten Schallabsorptionsflächen wird deutlich, dass die Bezugs-Schallabsorptionsfläche entweder deutlich überschritten oder unterschritten wird. Eine um den Bezugswert auftretende Häufung der Werte wird nicht festgestellt. Die festgestellten Abweichungen sind beträchtlich und korrelieren nicht mit der Bezugs-Schallabsorptionsfläche.



**Bild 10** Ermitteltes bewertetes Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  mit unterschiedlich berechneter äquivalenter Schallabsorptionsfläche  $A$ , jeweils ermittelt nach Sabine und nach Eyring  
Determined apparent airborne sound insulation  $R'_w$  with differently calculated equivalent sound absorption area  $A$ , determined by Sabine and Eyring

Es zeigt sich, dass, für diesen Datensatz (21 Messwerte), die Differenz zwischen der Anwendung der Sabine'schen Gleichung und der Eyring'schen Gleichung oberhalb etwa einer Nachhallzeit von 1,15 s sehr klein ist. Bei kürzeren Nachhallzeiten als etwa 1,15 Sekunden werden die Unterschiede deutlicher. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse zusammenfassend dargestellt, in der zusätzlich die auf eine Nachkommastelle gerundeten Werte ausgewiesen sind, um die tatsächliche Abweichung deutlicher zu machen.

In Bild 10 sind die ermittelten bewerteten Schalldämm-Maße grafisch gegenübergestellt.

Aus Bild 10 ist bei genauer Betrachtung zu erkennen, dass die berechnete Schalldämmung unter Verwendung der Eyring'schen Nachhallformel nicht kleiner ist als die Schalldämmung bei Verwendung der Sabine'schen Nachhallformel. Das ermittelte Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  ist bei Anwendung der Eyring'schen Nachhallformel immer

**Tab. 2** Ermittelte bewertete Schalldämm-Maße  $R'_w$  mit den unterschiedlich bestimmten äquivalenten Schallabsorptionsflächen  $A$  jeweils nach Sabine und Eyring, sowie die Differenz zwischen beiden Größen  
 Determined apparent airborne sound insulation  $R'_w$  with different equivalent sound absorption areas  $A$  according to Sabine and Eyring, and difference between the two

Nr.	$\Delta A$ [m <sup>2</sup> ]	$R'_{w,Sab}$ [dB]	$R'_{w,Eyr}$ [dB]	$\Delta R$ [dB]	$R'_{w,Sab}$ [dB]	$R'_{w,Eyr}$ [dB]	$\Delta R$ [dB]
1	2,75	54	55	-1	54,6	55,3	-0,7
2	1,73	53	54	-1	53,8	54,2	-0,4
3	0,11	54	54	0	54,0	54,2	-0,2
4	0,03	67	67	0	67,8	67,9	-0,1
5	0,10	52	52	0	52,2	52,3	-0,1
6	0,31	46	46	0	46,6	46,7	-0,1
7	0,21	46	47	-1	46,9	47,0	-0,1
8	0,23	70	70	0	70,3	70,4	-0,1
9	0,10	54	54	0	54,5	54,6	-0,1
10	1,45	59	59	0	59,0	59,3	-0,3
11	1,74	56	56	0	56,4	56,8	-0,4
12	0,10	60	60	0	60,7	60,8	-0,1
13	0,20	53	53	0	53,2	53,3	-0,1
14	0,13	55	55	0	55,0	55,2	-0,2
15	2,21	56	56	0	56,4	56,7	-0,3
16	0,89	42	43	-1	42,9	43,1	-0,2
17	0,21	45	45	0	45,0	45,1	-0,1
18	0,40	39	39	0	39,4	39,5	-0,1
19	1,89	42	42	0	42,6	42,9	-0,3
20	0,62	39	39	0	39,4	39,5	-0,1
21	2,92	54	54	0	54,4	54,8	-0,4

größer. Für den vorliegenden Datensatz ergab sich nach Tabelle 2 eine maximale Abweichung von 0,7 dB. Damit ergibt sich bei der Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  nach [3] eine Erhöhung um +1 dB. Im Zuge einer normativen Grenzwertbetrachtung ist eine Abweichung von +1 dB signifikant und kann in der Folge schwerwiegende Maßnahmen, z. B. bei einer Nacherfüllungspflicht, nach sich ziehen. Diese Abweichung ist jedoch ausschließlich aus der Anwendung unterschiedlicher Nachhallzeitformeln begründet. Der wahrgenommene Schallschutz, in Form der Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$ , bleibt dabei unberührt [14]. Der Schallschutz im Sinne des Bauordnungsrechts, ausgedrückt als Anforderungswert nach DIN 4109 Teil 1 mit der kennzeichnenden Größe Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$ , wird, bei Anwendung von DIN EN ISO 16283 Teil 1 in Verbindung mit DIN EN ISO 717 Teil 1, systembedingt unterbewertet. Das heißt, bei Schalldämmungsmessungen wird, je kürzer die Nachhallzeit im Empfangsraum ist, das Schalldämm-Maß unterschätzt.

## 6 Fazit

Die Untersuchung zur Anwendung der Nachhallformel nach Sabine, wie sie in DIN EN ISO 16283 Teil 1 vorgeschrieben ist, zeigt, dass bei Anwendung der Eyring'schen Nachhallformel bei der Ermittlung des bewerteten Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_w$  eine Abweichung von +1 dB auftreten kann. Die berechnete äquivalente Schallabsorptionsfläche nach Eyring ist immer kleiner bzw. im Grenzfall gleich der berechneten äquivalenten Schallabsorptionsfläche nach Sabine. Im Lichte dieser Erkenntnis ist der Bezug auf eine äquivalente Schallabsorptionsfläche zur Ermittlung des Bau-Schalldämm-Maßes kritisch zu hinterfragen. Die Nachhallformel nach Sabine zur Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche ist nur für kleine äquivalente Schallabsorptionsflächen, d. h. kleine Schallabsorptionsgrade ( $\alpha \ll 1$ ), ausreichend genau. Dies wird durch die Taylor-Approximation der Logarithmusfunktion deutlich ( $e^\alpha \approx 1 + \alpha$ ). Hierdurch geht die Eyring'sche Absorption ( $-S_{ges} \ln(1 - \bar{\alpha}_{EYR})$ ) in die Sabine'sche Absorption ( $S_{ges} \bar{\alpha}_{Sab}$ ) über. Wird eine Abweichung von weniger als 10% gefordert, darf der mittlere Schallabsorptionsgrad nicht größer als 0,2 sein. Wird eine größere äquivalente Schallabsorptionsfläche in einem Raum ermittelt, dann ist die Anwendung der Gl. (3) nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 fehlerbehaftet. Die Abweichung beträgt für das nach DIN EN ISO 16283 Teil 1 ermittelte bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  bis zu -1 dB. Wird für kürzere Nachhallzeiten, wie sie typischerweise in Wohnräumen oder Büros auftreten, die Eyring'sche Nachhallformel herangezogen, beträgt das bewertete Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  bis zu +1 dB. Aus dem vorliegend untersuchten Datensatz (21 Messwerte) zeigt sich, dass in möblierten, also nicht leeren Räumen, in denen die Nachhallzeiten kleiner als 1,15 s sind, die berechneten bewerteten Bau-Schalldämm-Maße immer größer sind, wenn die Schallabsorption nach Eyring bestimmt wird. Aus Bild 2 und Bild 3 lässt sich abschließend ableiten, dass z. B. für Räume, bei denen die äquivalente Schallabsorptionsfläche klein ist, das heißt, die Nachhallzeit lang ist, die Anwendung der Eyring'schen Nachhallformel die gleichen Ergebnisse liefert wie die Anwendung der Sabine'schen Nachhallformel. Dieser Umstand ist sicherlich in Prüfständen zur Bestimmung der Luftschalldämmung von Bauteilen bzw. Elementen immer der Fall, wobei hinzukommt, dass in Prüfständen zusätzlich die Diffusität des Schallfeldes hinreichend gewährleistet wird und damit die Gültigkeit der Anwendung beider Nachhallformeln sichergestellt ist. Damit eignet sich das Labor-Schalldämm-Maß als Grundlage der Planung des baulichen Schallschutzes, wie er sich aus der Standard-Schallpegeldifferenz bestimmt, sehr gut. Zur Bewertung und Beurteilung des messtechnisch ermittelten baulichen Schallschutzes zwischen zwei Räumen eignet sich das Bau-Schalldämm-Maß aus Gründen der Unsicherheit in der Ermittlung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche nur bedingt und beschreibt maßgeblich die Bauteileigenschaft des Trennbauteils. Zusammenfassend kann die Anwendung der unterschiedlichen Nachhallzeitformeln zur Ermittlung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche

auf die Ermittlung des Bau-Schalldämm-Maßes für Nachhallzeiten unter 1 Sekunde zu Abweichungen von bis zu 1 dB führen.

## Literatur

- [1] DIN 4109:2018-01 (2018) *Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen*. Berlin: Beuth.
- [2] DIN 4109:2018-01 (2018) *Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen*. Berlin: Beuth.
- [3] DIN EN ISO 16283-1:2018-04 (2018) *Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung*. Berlin: Beuth.
- [4] DIN EN ISO 717-1:2013-06 (2013) *Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung*. Berlin: Beuth.
- [5] Neubauer, R. O. (2001) *Estimation of Reverberation Time in Rectangular Rooms with Non-Uniformly Distributed Absorption Using a Modified Fitzroy Equation* in: *Build Acoust* 8(2), pp. 115–137.
- [6] Neubauer, R. O., Kostek, B. (2001) *Prediction of the Reverberation Time in Rectangular Rooms with Non-Uniformly Distributed Sound Absorption* in: *Archives of Acoustics* 26, 3, pp. 183–201.
- [7] Sabine, W. C. (1922), *Collected Papers on Acoustic*. University Press Harvard, Reprinted by Dover, New York (1964).
- [8] Eyring, C. F. (1930) *Reverberation time in “dead” rooms* in: *J. Acoust. Soc. Am.* 1, pp. 217–241.
- [9] Neubauer, R. O. (2001). *Nachhallzeiten in Räumen mit ungleich verteilten Schallabsorptionsflächen* in: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2001*, Hamburg.
- [10] Neubauer, R. O. (1997) *Berechnung der erforderlichen Schallabsorption für kubische Räume in Abhängigkeit der Raumhöhe* in: *gi-Gesundheits-Ingenieur* 118, H. 1, S. 32–36.
- [11] Gruhl, S. (1981) *Richtlinie zur Berechnung der Lärmimmissionen in Räumen* in: *Beiträge für die Praxis*, Heft 1, Zentralinstitut für Arbeitsschutz – ZIAS, Dresden.
- [12] DIN EN ISO 3382-2:2008-09 (2008) *Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen*. Berlin: Beuth.
- [13] DIN EN ISO 16283-2:2020-11 (2020) *Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung*. Berlin: Beuth.
- [14] Neubauer, R. O. (2020) *Schalldämmung und Schallschutz – Vergleich von bewertetem Bau-Schalldämm-Maß  $R'_w$  und bewerteter Standard-Schallpegeldifferenz  $D_{nT,w}$*  in: *Bauphysik* 43 (2021), Heft 1, S. 18–26. <https://doi.org/10.1002/bapi.202000024>.

## 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) *Einfluss der äquivalenten Schallabsorptionsfläche auf das Schalldämm-Maß*. *Bauphysik* 43, H. 2, S. 79–86. <https://doi.org/10.1002/bapi.202100003>