

Berechnung des notwendigen Schallabsorptionsgrades einer Deckenbekleidung in Abhängigkeit der Raumhöhe. Vereinfachte Berechnungsmethode für die Praxisanwendung.

Reinhard O. Neubauer
Ingenieurbüro Neubauer VDI, Ingolstadt

1. Einleitung

Bei der Planung von Räumen mit raumakustischen Anforderungen stellt sich regelmäßig die Aufgabe eine bestmögliche Abschätzung raumakustischer Maßnahmen vorzunehmen. Schon aus Gründen der Kostenschätzung während der Grundlagenermittlung wäre es wünschenswert pauschal diese Maßnahme so genau wie möglich angeben zu können. Während der Vorplanung stellt sich aber das Problem, daß noch keine genauen Material- bzw. Konstruktionsangaben festgelegt werden können. Eine kostenintensive raumakustische Variationsberechnung wird deshalb regelmäßig umgangen. Es wird infolgedessen die Frage gestellt, ob raumakustische Maßnahmen nicht bereits im Vorfeld einer genauen Ausführungsplanung, ohne Kenntnis der verwendeten Materialien und des Raumvolumens, berücksichtigt werden können. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Raumhöhe und die Nutzung des Raumes, ob für Sprach- oder Musikdarbietung, bekannt sind.

2. Voraussetzungen und Vorgehensweise bei der Entwicklung des Näherungsverfahrens

Das Berechnungsverfahren bezieht sich auf kubische Räume, Flach- und Langräume werden nicht behandelt. Als weitere Einschränkung werden weder Luft- noch Streukörperabsorptionen berücksichtigt, da sie für kleine Räume und mittlere Frequenzen, sicher vernachlässigt werden können [1]. Um für kleine bis mittelgroße Räume im Zuge der Vorplanung eine raumakustische Beurteilung treffen zu können, vergleicht man in erster Näherung berechnete Nachhallzeiten mit "optimalen" Nachhallzeiten. Damit lassen sich mit hinreichender Genauigkeit Räume für Sprach- oder Musikdarbietungen, zumindest bezüglich des raumakustischen Kriteriums der Nachhallzeit, beurteilen. Für die vorliegende Untersuchung werden nach [3] als Unter- und Obergrenze der "optimalen" Nachhallzeit bei 500 Hz nachstehende Mittelwerte vorausgesetzt:

Sprache:	$T_{Opt.} = 0,6 - 1,1s$
Musik:	$T_{Opt.} = 0,8 - 1,5s$

2.1 Berechnungsgrundlagen

Die klassische Berechnung der äquivalenten Schallabsorptionsfläche erfolgt mittels der Sabine'schen Gleichung. Die rechnerische Ermittlung der vorhandenen äquivalenten Schallabsorptionsfläche (hier ohne Personenabsorption) ermöglicht mit Hilfe der material-spezifischen Schallabsorptionsgrade und den zugehörigen Flächenanteilen die Vorhersage der Nachhallzeit in dem Raum.

$$\text{Mittlere Nachhallzeit: } T = \frac{0,163 * V}{A} = \frac{0,163 * V}{\sum_i \alpha_i S_i} \quad (1)$$

Durch Vorgabe einer Soll-Nachhallzeit ist damit die zusätzlich erforderliche äquivalente Schallabsorptionsfläche festgelegt.

$$\Delta A = 0,163 * V * \left(\frac{1}{T_{Soll}} - \frac{1}{T} \right) \quad (2)$$

Zur Abschätzung der volumenabhängigen Soll-Nachhallzeit werden für Sprache die Werte gem. DIN 18041 [4] und für Musik die Werte aus [3] verwendet. Damit berechnet sich der notwendige, zusätzlich erforderliche Schallabsorptionsgrad zu:

$$\alpha = \left(\frac{\Delta A}{S_{Material}} \right) \quad (3)$$

V: Raumvolumen in m³; α : Schallabsorptionsgrad; S: Fläche in m² T Nachhallzeit in s; A: äquivalente Schallabsorptionsfläche in m².

Die Gl. (3) stellt die gesuchte Größe dar, mit deren Hilfe das erforderliche schallabsorbierende Material festgelegt wird. Die bestmögliche Abschätzung der notwendigen zusätzlichen äquivalenten Schallabsorptionsfläche ΔA ist Grundvoraussetzung der Kostenabschätzung der raumakustischen Maßnahmen.

Der mittlere Schallabsorptionsgrad des Raumes, d.h. der über die verschiedenen nebeneinanderliegenden Wandflächenarten gemittelte Schallabsorptionsgrad, berechnet sich durch flächenanteilmäßige Addition der einzelnen äquivalenten Schallabsorptionsflächen:

$$\text{Mittlerer Schallabsorptionsgrad: } \bar{\alpha} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S_{ges}} \quad (4)$$

Man kann sich in der Praxis leicht überzeugen, daß bei der Planung von Räumen häufig immer die gleichen Bauteilkonstruktionen zur Anwendung gelangen. Werden gängige Bauteilkonstruktionen herangezogen, kann α als Mittelwert dargestellt werden.

Ist α örtlich konstant, kann in Gl. (4) S gekürzt werden und man erhält: $\bar{\alpha} = \alpha_m$.

Zur Abschätzung der Schallabsorption üblicher Bauteilkonstruktionen (z. B. Mauerwerk verputzt, Gipskartonständerwände, Fenster, Parkett etc.) wurden 48 Materialien und deren Schallabsorptionsgrade aus Literaturangaben [1, 2, 3, 5 und 7 bis 14] entnommen und ausgewertet.

Der Mittelwert der Schallabsorptionsgrade der Materialien beträgt: $\alpha_m \approx 0,05$ (Mittlung der Oktavwerte 250 - 4000 Hz und Rundung auf ein Zwanzigstel).

Zur raumakustischen Projektierung ist es meist ausreichend, nur eine Teilfläche festzulegen die als schallabsorbierende Fläche auszubilden ist. Weist man der restlichen Raumbegrenzungsfläche bestimmte schallabsorbierende Eigenschaften zu, läßt sich so der gesuchte Schallabsorptionsgrad der vorgegebenen Teilfläche in Abhängigkeit der Raumhöhe angeben.

Für die nachstehenden Berechnungen wird deshalb die Deckenfläche als Hauptnutzungsfläche festgelegt, welche in der Praxis auch als bevorzugte Fläche zur Bekleidung mit Schallabsorbieren verwendet wird. Der gesuchte Schallabsorptionsgrad (ohne Personenabsorption) ergibt sich dann zu:

$$\alpha_D = \frac{0,163 * h}{T_{Soll}} \cdot \frac{\sum \alpha_n S_n}{S_D} \quad (5)$$

$\sum \alpha_n S_n / S_D = \text{Äquivalente Schallabsorptionsfläche der "restlichen Raumbegrenzungsfläche", d. h. der Wände (incl. Fenster) und des Fußbodens (n = 1 bis 5).}$

Bei Kenntnis der Soll-Nachhallzeit und der "Restflächenschallabsorption" ist die Raumhöhe (h) zur Festlegung des erforderlichen Schallabsorptionsgrades der Decke hinreichend.

2.2 Raumformen und Raumabmessungen

Die Form des Raumes hat auf die akustische Qualität einen großen Einfluß. Mit Hilfe der Gesetzmäßigkeiten zur Ausbildung diffuser Schallfelder in geschlossenen Räumen leitete Gruhl [6] zulässige Abmessungen der Raumachsen für kubische Räume ab. Die Bedingungen für die Raumachsen l, b, h des kubischen Raumes sind:

$$l/h < 3, \quad l/b < 2$$

bzw. für $l/h > 3$: $b/h < 3, \quad l/b < 2$

In der Praxis werden Räume nicht willkürlich groß gebaut. Schon deshalb nicht, da die Baukosten proportional mit dem Bauvolumen, d. h. mit der Kubikmeterzahl des umbauten Raumes wächst. Für die nachstehenden Betrachtungen werden infolgedessen die Raumabmessungen auf "durchschnittliche" Bereichsgrößen kleiner bis mittelgroßer Räume beschränkt:

Raumhöhe:	h = 2,5 bis 7 m
Raumbreite:	b = 4 bis 10 m
Raumlänge:	l = 5 bis 20 m

Damit ergeben sich die Grenzen der betrachteten Volumina zu:

$$50 \leq V \leq 1400 \text{ m}^3$$

Bei Ausdehnung der Raumachsen (l, b, h) mit einer konstanten Schrittweite, sind unter o. g. Voraussetzungen zu jeder Raumhöhe bestimmte Raumvolumina gegeben. Werden die berechneten Volumina über der Raumhöhe aufgetragen zeigt sich, daß zu einer bestimmten Raumhöhe unterschiedliche oder auch gleiche Raumvolumina möglich sind. Das unten dargestellte Bild 1 verdeutlicht diesen Zusammenhang für eine Schrittweite von 0,5 m. Dort ist die relative Häufigkeit der Raumhöhe für alle Kombinationen von:

$$l \geq b \geq h/2 \text{ grafisch dargestellt.}$$

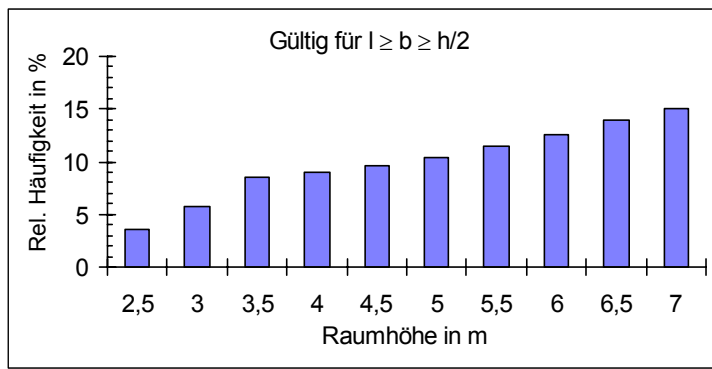


Bild 1: Relative Häufigkeit in % der Raumhöhen in m.

Mit dem oben angegebenen mittleren Schallabsorptionsgrad läßt sich näherungsweise der Restflächenschallabsorptionsgrad in Abhängigkeit der Teilflächen: Decken- und Restumfassungsfläche, für jeden Raum berechnen. Zur grafischen Darstellung der Verteilung wird beispielhaft das kombinierte Bereichsintervall für kubische Räume: $l/h < 3$ und $l/b < 2$ und einer gewählten Schrittweite von 0,5 m herangezogen.

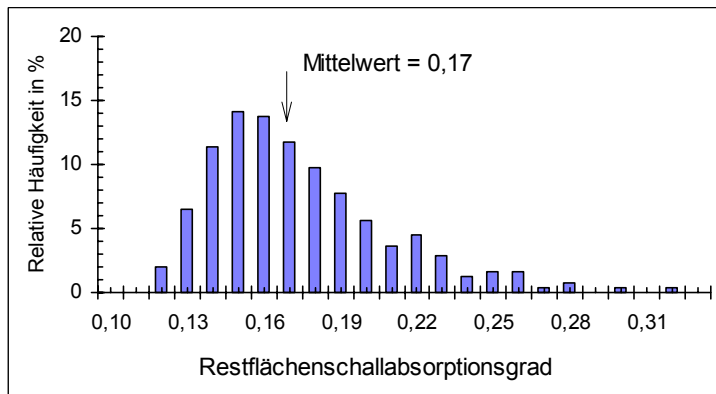


Bild 2: Relative Häufigkeit in % des Restflächenschallabsorptionsgrades für kubische Räume.

In Bild 2 ist die relative Häufigkeit des berechneten Restflächenschallabsorptionsgrades wiedergegeben. Die dargestellte Datenmenge zeigt sich als eingipflige, rechtsschiefe Verteilung. Der arithmetische Mittelwert beträgt bei Rundung auf ein Zwanzigstel 0,17. Die Streuung des Durchschnitts, d. h. der Variationskoeffizient beträgt rd. 20%.

3. Der erforderliche und gesuchte Schallabsorptionsgrad

In [15] wird die Bewertungsmethode nach ISO 11654 [16] zur Festlegung des schallabsorbierenden Materials verwendet. Näherungsweise wird dabei der berechnete Schallabsorptionsgrad dem gewichteten Schallabsorptionsgrad gleichgesetzt. Dies ist zulässig, da der gewichtete Schallabsorptionsgrad für breitbandig wirkende Schallabsorber in guter Übereinstimmung mit dem arithmetisch gemittelten Schallabsorptionsgrad steht [17].

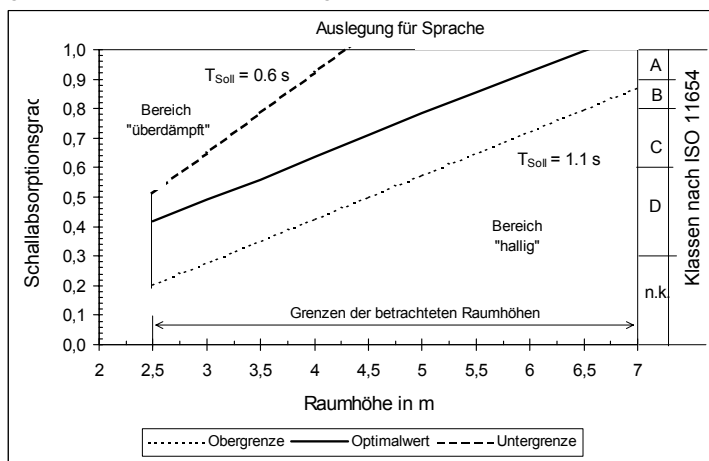


Bild 3: Erforderlicher Schallabsorptionsgrad einer Deckenfläche in Abhängigkeit der Raumhöhe, nach Gl. (5).

In Bild 3 ist der erforderliche Schallabsorptionsgrad bzw. die erforderliche Schallabsorberklasse einer zusätzlich vorzusehenden Deckenbekleidung in Abhängigkeit der Raumhöhe für Räume mit Anforderungen an eine ausreichende Hörsamkeit dargestellt.

In dem nachstehenden Bild 4 ist entsprechend obiger Darstellung der erforderliche Schallabsorptionsgrad einer Deckenbekleidung für Räume in denen Musikdarbietungen vorgesehen sind wiedergegeben. Im allgemeinen sind Räume für Musikdarbietungen raumakustisch schwierig zu beurteilen. Eine einfache Betrachtung des objektiven Kriteriums der Nachhallzeit ist häufig unzureichend. Die Berücksichtigung anderer raumakustischer Gütekriterien wie z. B. Durchsichtigkeit, Räumlichkeit, etc. ist für größeren Raumvolumina erforderlich. Für kleine bis mittelgroße Räume kann es aber durchaus sinnvoll sein bestimmte schallabsorbierende Mindestmaßnahmen kalkulatorisch zu berücksichtigen. Für diesen Zweck ist das betrachtete Verfahren geeignet. Es ist jedoch zu beachten, daß zur Gewährleistung einer ausreichenden Versorgung aller Zuhörerplätze mit energiereichen Schallreflexionen diese oftmals über die Deckenfläche zu erfolgen haben. Der mit Bild 4 gefundene Schallabsorptionsgrad eignet sich dennoch, da dieser mit der entsprechenden Deckenfläche als Produkt das gesuchte ΔA darstellt, welches natürlich als Gesamtmaßnahme an allen Raumbooberflächen raumakustisch sinnvoll aufgeteilt werden kann.

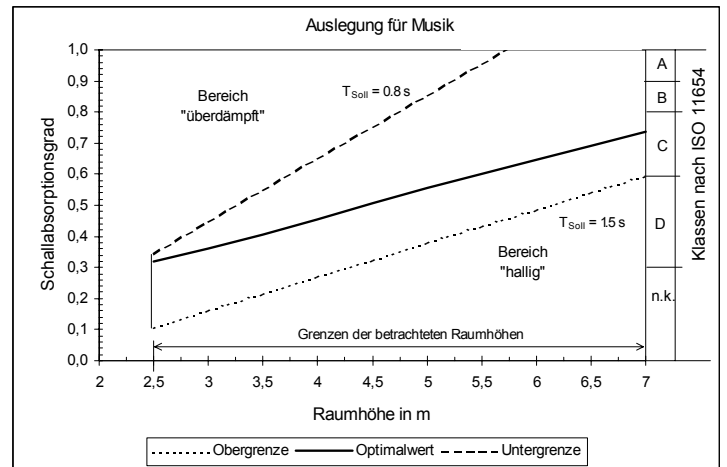


Bild 4: Erforderlicher Schallabsorptionsgrad einer Deckenfläche in Abhängigkeit der Raumhöhe, nach Gl. (5).

Literatur

- [1] Kuttruff H.: "Room Acoustics". 3rd ed. London: Elsevier APPLIED SCIENCE, 1991.
- [2] Fasold W., Sonntag E., Winkler W.: "Bauphysikalische Entwurfslehre: Bau- und Raumakustik". Köln: Müller, 1987.
- [3] Hartmann G.: "Praktische Akustik". Bd. 2: Raum- und Bauakustik. München: Oldenbourg, 1968.
- [4] DIN 1801 - Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Ausgabe Okt. 1968.
- [5] Baron M.: "Auditorium Acoustics and Architectural Design". London: E & FN Spon, 1993.
- [6] Gruhl, S.: "Richtlinie zur Berechnung der Lärmimmission in Räumen". Dresden: ZIAS, 1981.
- [7] Beranek L.L.: "Acoustics". 3rd ed. New York: Acoustical Society of America, 1990.
- [8] Wendehorst O.W.: "Bautechnische Zahlentafeln". Stuttgart: B.G. Teubner, 1994.
- [9] Schneider K.-J.: "Bautabellen für Architekten". 11. Auflage. Düsseldorf: Werner, 1994.
- [10] Gösele K., Schüle W.: "Schall - Wärme - Feuchte". 9. Auflage. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH, 1989.
- [11] Lutz P., Jenisch R., Klopfer H., et al.: "Lehrbuch der Bauphysik". 3. Auflage. Stuttgart: B.G. Teubner, 1994.
- [12] Bobran H.W.: "Handbuch der Bauphysik". 6. Auflage: Braunschweig: Vieweg & Sohn mbH, 1990.
- [13] Heckl H., Müller H.A.: "Taschenbuch der Technischen Akustik". Berlin: Springer, 1975.
- [14] Schulz P.: "Schallschutz - Wärmeschutz - Feuchteschutz - Brandschutz im Innenbau". 3. Auflage. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt, 1980.
- [15] Neubauer R.O.: "Anwendung der ISO 11654 in der Praxis". Bauphysik 17 (1995), Heft 6, S. 185 - 188.
- [16] International Standard ISO 11654: "Acoustics - Sound absorbers for use in buildings. Rating of sound absorption". 1994.
- [17] Neubauer R.O.: "Beurteilung und Klassifizierung von Schallabsorptionsmaterialien". Unveröffentlichte Untersuchung zur Beurteilungsmethode nach ISO 11654. April 1994.