

Exkurs: Raumakustik

Raumakustische Maßnahmen bei der Sanierung von Altbauerschulen

Dipl.-Ing. Thomas Behr
 Institut für Erhaltung und Modernisierung
 von Bauwerken e.V.
 Salzufer 14, 10587 Berlin
 behr@iemb.de

1. Aufgabenstellung

Ziel der Sanierung von Altbauerschulen ist neben der Erhaltung und Verbesserung der Bausubstanz die Schaffung der baulichen Voraussetzungen für eine Erhöhung

der Unterrichtsqualität. Es soll eine Atmosphäre geschaffen werden, die ein konzentriertes Arbeiten für Schüler und Lehrer ermöglicht. Raumakustische Maßnahmen in den verschiedenen Nutzungsbereichen von Schulen tragen zur Gestaltung dieser Atmosphäre durch die Schaffung einer der Nutzung angemessenen akustischen Umgebung bei. Aus akustischer Sicht ergeben sich dabei folgende Aufgabenstellungen:

- Sicherstellung einer sehr guten Sprachverständlichkeit in den vorwiegend für Sprachkommunikation genutzten Räumen (Unterrichtsräume, Mehrzweckräume/Aulen),

- Pegelminderung selbst erzeugter Geräusche in allen Schulbereichen (Unterrichtsräume, Flure, Mehrzweckräume/Aulen, Sporthallen, Speisesäle) zur Reduzierung der Lärmbelastung am Arbeitsplatz für Lehrer, Erzieher und Schüler,
- Schaffung der raumakustischen Bedingungen zur Tonwiedergabe bei Multimediaanwendungen in angemessener Qualität.

Nutzungsabhängige Optimierungskriterien für die Sanierung von Schulbauten enthält Tabelle 1.

Tab. 1: Optimierungskriterien in Abhängigkeit von der Raumnutzung

Nutzung	Optimierungskriterium			Bemerkung
	Sprachverständlichkeit	Lautstärke von Geräuschen	Wiedergabequalität von Multimediaanwendungen	
Klassenräume	X ¹	(X)	(X)	- sehr gute Sprachverständlichkeit ist auch für andere Organisationsformen als den Frontalunterricht zu gewährleisten
Musikräume	X	(X)	X	- akustische Selbstkontrolle, gutes gegenseitiges Hören und gute Klangdurchmischung sind zur Unterstützung gemeinsamen Singens und Musizierens erforderlich
Werkräume	X	X		
Gruppenräume	X	X		
Foyers/Flure	(X)	X		- eine zu geringe Sprachverständlichkeit in diesen Bereichen führt zu einem unerwünschten Ansteigen des Geräuschpegels
Speiseräume	(X)	X		
Veranstaltungsräume	X	X	(X)	- meist Ermöglichung von Sprach- und Musikdarbietungen notwendig, s.a. Bemerkung zu Musikräumen

¹ X: Hauptkriterium, (X): untergeordnetes Kriterium

Exkurs: Raumakustik

2. Normen, Richtlinien, Literatur

Rechtsverbindliche Normen für die raumakustische Gestaltung von Räumen in Schulgebäuden fehlen.

Die DIN 18041 (Ausgabe 1968) „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“ [1] enthält Hinweise zur einzuhaltenen Nachhallzeit und zur Flächen-gestaltung allgemein für Räume für sprachliche Kommunikation. Die hier genannten Anforderungen entsprechen nicht dem heutigen Wissensstand. Gegenwärtig wird sie umfassend überarbei-tet und erweitert. Die Neufassung dieser Norm liegt ab 2002 als Entwurf vor.

Arbeitsschutz-Normen

Die Verordnung über Arbeitsstätten [3] enthält Grenzwerte für die zulässigen Lärmimmissionen am Arbeitsplatz für verschiedene Tätigkeitsgruppen. Die Tätigkeit des Lehrers (und sinngemäß auch der Schüler) werden nach VDI 2058/3 „Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unter-schiedlicher Tätigkeiten“ in die Gruppe „überwiegend geistige Tätigkeit“ einge-ordnet. Der zulässige Grenzwert für Be-

urteilungspegel der Lärmimmissionen beträgt damit 55 dB(A).

Die DIN 18032-1 „Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung; Grund-sätze für Planung und Bau“ [5] enthält Anforderungen an den maximal zulässigen Schallpegel für von außen eindrin-gende Geräusche. Darüber hinaus wird eine obere Grenze für die Länge der Nachhallzeit angegeben.

Veröffentlichungen der Länder

Einige Länder haben Richtlinien bzw. Leitfäden zu Anforderungen und deren Umsetzung im Bereich der Bau- und Raumakustik veröffentlicht (z.B. [6]).

Weiterführende Informationen zur Raum-akustik im Schulbau sind in [7] – [9] ent-halten.

3. Anforderungen

Die in einem Raum maximal zu erwarten-de Sprachverständlichkeit wird wesentlich durch die Faktoren Länge und Frequenz-abhängigkeit der Nachhallzeit, die zeitli-

che Verteilung der beim Hörer eintreffen- den Schallenergie, die Sprechlautstärke und durch den Störgeräuschpegel (Pegel fremd- und selbsterzeugter Geräusche) bestimmt. Die Höhe des Störgeräuschpe-gels und die notwendige Sprechlautstärke hängen dabei wiederum u.a. von der Nachhallzeit ab. Dagegen wird die zeitli-che Schallenergieverteilung beim Hörer in erster Linie von der räumlichen Anord-nung der den Schall reflektierenden bzw. absorbierenden Flächen beeinflusst.

Die im Abschnitt 1 genannten Aufgaben können damit auf Anforderungen an die Länge und den frequenzabhängigen Verlauf der Nachhallzeit sowie an die Gestaltung der Raumbegrenzungsflächen zurückgeführt werden.

3.1 Nachhallzeit im besetzten Zustand

Länge der Nachhallzeit bei mittleren Frequenzen

Die im folgenden angegebenen Sollwerte der Nachhallzeit T_{soll} gelten für den middle- ren Frequenzbereich. Der Mittelwert der Nachhallzeit bei den Oktavmittenfrequen-zen 500 Hz und 1000 Hz sollte unter Berücksichtigung des zulässigen Tole- ranzbereiches (vgl. Abb. 1-3) mit T_{soll} übereinstimmen. T_{soll} gilt dabei für Unter- richtsräume, Speisesäle, Aulen und Mehrzweckräume im besetzten Zustand. Dabei ist von einer 80% der Vollbeset- zung entsprechenden Personenanzahl auszugehen.

Allgemeine Unterrichtsräume und Fach- unterrichtsräume

Die zulässige Länge der Nachhallzeit in Unterrichtsräumen hängt vom Raumvo- lumen ab. Unterrichtsräume in Altbau- schulen weisen Grundflächen etwa im Bereich von (30 .. 120) m² auf. Den weit- aus größten Anteil bilden dabei Räume mit einer Grundfläche von etwa (50 .. 80) m². Bei im Altbau üblichen Raumhöhen von etwa (3,50 .. 5,0) m ergibt sich ein zu betrachtender Volu-

Tab. 2: Unterrichtsräume - Sollwerte der Nachhallzeit in Abhängigkeit von Raumvolumen und Raumnutzung

Raumnutzung	Sollwert der Nachhallzeit T_{soll} [s] bei einem Raumvolumen von:					
	100 m ³	200 m ³	300 m ³	400 m ³	500 m ³	600 m ³
Allg. Unter- richt/Fachunterricht	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
Musikunterricht	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3

Tab. 3: Mehrzeckräume/Speiseräume/Aulen - Sollwerte der Nachhallzeit in Abhängigkeit von Raumvolumen und Nutzungsschwerpunkt

Nutzungsschwerpunkt	Sollwert der Nachhallzeit T_{soll} [s] bei einem Raumvolumen von:			
	200 m ³	400 m ³	800 m ³	1600 m ³
Unterricht	0,5	0,6	0,8	0,9
Sprachveranstaltungen	0,7	0,8	0,9	1,0
musikalische Nutzung (aktives Musizieren)	1,1	1,3	1,4	1,5

Exkurs: Raumakustik

menbereich von 100-600 m³. Die Mehrzahl der Klassenräume weist dabei ein Raumvolumen von etwa 200-400 m³ auf.

In Tabelle 2 sind die einzuhaltenden Werte der Nachhallzeit angegeben (Zwischenwerte sind zu runden).

Falls die entsprechenden notwendigen akustischen Maßnahmen im Wand und Deckenbereich beispielsweise aus Gründen des Denkmalschutzes problematisch sind, kann als Planungszielwert für die Nachhallzeit die obere Grenze des angegebenen Toleranzbereiches angenommen werden. In diesen Fällen ist ein Fachplaner für die Festlegung raumakustischer Maßnahmen zu konsultieren.

Werk- und Gruppenräume werden wie allgemeine Unterrichtsräume behandelt.

Musikunterrichtsräume

Die in Altbauschulen überwiegend anzutreffenden Raumgrößen für Musikunterrichtsräume entsprechen den Größen der allgemeinen Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume.

Für Musikunterrichtsräume, in denen auch aktiv musiziert wird, enthält Tabelle 2 die einzuhaltenden Werte der Nachhallzeit (Zwischenwerte sind zu runden).

Findet der Musikunterricht in größeren Räumen wie z.B. der Aula statt, gelten die im Abschnitt „Mehrzweckräume, Speisesäle und Aulen“ dargestellten Anforderungen.

Verkehrsbereiche (Flure, Foyers)

In diesen Bereichen ist in Schulen regelmäßig mit hohen Schallpegeln insbesondere in den Pausenzeiten zu rechnen. Aus der Verordnung über Arbeitsstätten folgt als Grenzwert für die maximal zulässigen Lärmimmissionen ein Beurteilungspegel von 55 dB(A). Da dieser bei normalem Schulbetrieb mit raumakustischen Mitteln nicht zu realisieren ist, ergibt sich

die Notwendigkeit einer möglichst großen Reduzierung der Lärmimmissionen durch eine möglichst kurze Nachhallzeit in den lauten Schulbereichen. Realisierbar sind mit solchen Maßnahmen rechnerisch Pegelminderungen von maximal (6 .. 8) dB gegenüber dem raumakustisch unbehandelten Raum. Tatsächlich sind aber höhere Pegelminderungen zu verzeichnen, da sich Personen in akustisch bedämpften Räumen erfahrungsgemäß auch leiser verhalten. Über den Aspekt der Lärminderung in Pausenzeiten hinaus, bewirkt eine Verringerung der Geräusche in den Verkehrsbereichen während der Unterrichtszeiten eine entsprechende Störgeräuschminderung in den Unterrichtsräumen.

Da es sich bei den Verkehrsbereichen auch um Räume handelt, in denen Kommunikation stattfindet, ist neben der Minderung des Lärms auch eine angemessene Sprachverständlichkeit von Bedeutung. Die für die Pegelminderung notwendigen Maßnahmen führen gleichzeitig zu einer in ausreichendem Maße verbesserten Sprachverständlichkeit.

Mehrzweckräume/Speisesäle/Aulen

Räume dieser Art werden häufig für mehrere Nutzungsarten vorgesehen. So finden in Speisesälen oft auch Schulveranstaltungen und die Schulaufführung von Festprogrammen statt, Aulen werden teilweise auch für den normalen Schulunterricht (z.B. als Musikraum) genutzt. In Abhängigkeit von der Hauptnutzung ergeben sich die in Tabelle 3 angegebenen einzuhaltenden Nachhallzeiten (Zwischenwerte sind zu runden).

Diese Sollwerte sind mit einer Toleranz von ±20% einzuhalten.

Bei ausschließlich als Speisesaal genutzten Räumen steht die Minderung des Lärmpegels im Vordergrund, es wird empfohlen diese Räume wie Verkehrsflächen zu behandeln.

Falls die entsprechenden notwendigen bauliche Maßnahmen im Wand und Deckenbereich beispielsweise aus Gründen

des Denkmalschutzes problematisch sind, kann als Planungszielwert für die Nachhallzeit die obere Grenze des Toleranzbereiches angenommen werden. In diesen Fällen ist ein Fachplaner für die Festlegung raumakustischer Maßnahmen zu konsultieren.

Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit

Allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume

Die Verkürzung der Nachhallzeit bei hohen Frequenzen über 2000 Hz gegenüber der Nachhallzeit bei mittleren Frequenzen ist physikalisch unvermeidlich. Im Frequenzgebiet unter 250 Hz ist ein Anstieg der Nachhallzeit zu vermeiden, da dieser die Sprachverständlichkeit stark vermindert.

Der für die Nachhallzeit einzuhaltende frequenzabhängige Toleranzbereich bezogen auf den oben angegebenen Sollwert bei mittleren Frequenzen im besetzten Zustand ist in Abbildung 1 dargestellt.

Musikunterrichtsräume

Für Musikunterrichtsräume in denen auch aktiv musiziert wird, ist ein geringer Anstieg der Nachhallzeit im Frequenzbereich unterhalb 250 Hz zulässig und wünschenswert (vgl. Abbildung 2).

Verkehrsbereiche (Flure, Foyers)

In den Verkehrsbereichen kann ein Anstieg der Nachhallzeit im Frequenzgebiet unter 250 Hz zugelassen werden, da hier die Sprachverständlichkeit eine untergeordnete Bedeutung hat (vgl. Abbildung 3).

Exkurs: Raumakustik

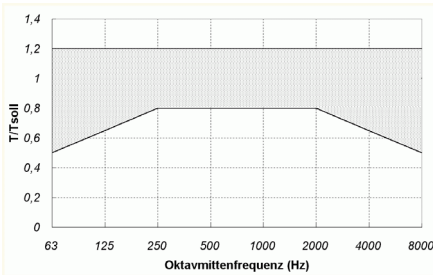


Abb. 1: Toleranzbereich der Nachhallzeit für Allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume

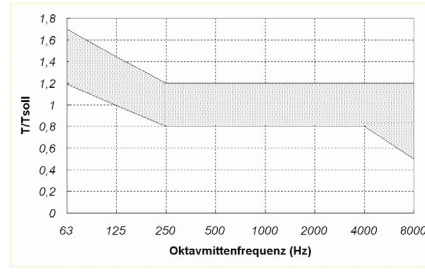


Abb. 2: Toleranzbereich der Nachhallzeit für Musikunterrichtsräume

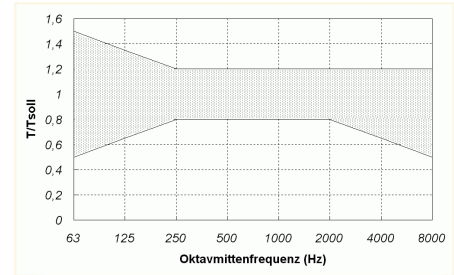


Abb. 3: Toleranzbereich der Nachhallzeit für Verkehrsbereiche

Mehrzweckräume/Speisesäle/Aulen

Der zulässige frequenzabhängige Toleranzbereich der Nachhallzeit entspricht in diesen Räumen bei hauptsächlichlicher Nutzung für Unterricht bzw. für Sprachveranstaltungen den entsprechenden, für allgemeine Unterrichtsräume gültigen Anforderungen. Bildet das aktive Musizieren einen wichtigen Bestandteil der Nutzung, so sollte der für Musikunterricht zulässige Toleranzbereich eingehalten werden.

3.2 Flächengestaltung

Unterrichtsräume, Mehrzweckräume und Aulen

Für eine angemessene Sprachverständlichkeit ist das Eintreffen von energiereichen Schallreflexionen im Zeitraum bis (35 .. 50) ms nach dem Direktschall wichtig. Diese Reflexionen werden durch eine bei mittleren und hohen Frequenzen schallreflektierend gestaltete Deckenfläche im zentralen Deckenbereich begünstigt.

Starke Schallreflexionen mit einer längeren Zeitverzögerung gegenüber dem Direktschall führen zu einer Verminderung der Sprachverständlichkeit. Da solche Reflexionen in Unterrichtsräumen ab einer Länge von etwa 9 m an der Rückwand und dem hinteren Deckenbereich entstehen, sind diese Flächen mindestens im mittleren und hohen Frequenzbereich schallabsorbierend zu verkleiden. An der Rückwand ist dabei im Bereich

über etwa 2 m über OKF bis zur Decke Absorber vorzusehen. Die Decke sollte im von der Tafel aus gesehen hinteren Bereich absorbierend gestaltet werden.

Die vollflächige Verkleidung der Decke in Räumen mit mehr als 40 m² Grundfläche sowie von Flächen in der Nähe des Sprecherstandortes (Tafelwand, vorderer Deckenbereich) mit einem Absorber für mittlere und hohe Frequenzen ist unbedingt zu vermeiden.

In Musikunterrichtsräume ist eine vollflächige Verkleidung der Decke mit einem Absorber für mittlere und hohe Frequenzen nicht zulässig.

Bei einer vollflächig absorbierenden Decke in Räumen bis 40 m² Grundfläche ist zusätzlich an der der Tafel gegenüberliegenden Wand ein absorbierender Bereich zwischen etwa 2 m über OKF bis zur Decke vorzusehen. Andernfalls ist je nach Raumlänge mit unangenehmen Klangfärbungen oder Flatterechos zu rechnen.

Soweit Absorber für tiefe Frequenzen (Frequenzgebiet unterhalb 250 Hz) notwendig sind, sollte dieser möglichst in der Nähe des Sprecherstandortes vorgesehen werden.

Verkehrsbereiche, Speiseräume

Die in diesen Bereichen vorzusehenden absorbierenden Materialien sollten etwa gleichmäßig über die Grundfläche verteilt

(z.B. als absorbierende Unterdecke) angebracht werden.

4. Schallabsorber – Begriffe

Die Anforderungen an die Nachhallzeit nach Abschnitt 3 sind in der Regel nur einzuhalten, wenn in allen Nutzungsbereichen die Grundscharabsorption erhöht wird. Dies erfolgt durch das Einbringen schallabsorbierender Materialien in die Räume.

Kennzeichnende Größen für das Schallabsorptionsvermögen eines flächenhaften Materials ist der **Schallabsorptionsgrad** α . Er gibt das Verhältnis der absorbierten Leistung zur eintreffenden Leistung an. Der Schallabsorptionsgrad α ist frequenzabhängig und kann die Werte von 0 (die gesamte auftreffende Schalleistung wird absorbiert) bis 1 (die gesamte auftreffende Schalleistung wird reflektiert) annehmen.

Angaben zum frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrad α zahlreicher Materialien sind der Literatur (z.B. [11], [12]) bzw. Angaben der Produkthersteller zu entnehmen.

Übliche Angaben zur Produktkennzeichnung sind:

- α : Schallabsorptionsgrad für jedes Terzband, i.d.R. Messergebnisse
- α_p : praktischer Schallabsorptionsgrad für jedes Oktavband, berechnet nach EN ISO 11654 „Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden“
- α_w : bewerteter Schallabsorptionsgrad als Einzahlwert nach EN ISO 11654

Exkurs: Raumakustik

Tab. 4: Unterrichtsräume - Erforderliche zusätzliche äquivalente Schallabsorptionsfläche in Abhängigkeit von Raumvolumen und -nutzung

Raumnutzung	zus. äquivalente Schallabsorptionsfläche (m ²) bei einem Raumvolumen von:										
	100 m ³	150 m ³	200 m ³	250 m ³	300 m ³	350 m ³	400 m ³	450 m ³	500 m ³	550 m ³	600 m ³
Allg. Unterricht/Fachunterricht	15	25	35	40	50	60	70	75	80	90	100
Musikunterricht	0	0	0	2	3	5	10	15	20	25	30

- „Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden“; Da in die Bewertung lediglich die Absorptionsgrade oberhalb 250 Hz eingehen, kann α_w ausschließlich zur Beurteilung des Absorptionsverhaltens bei mittleren und hohen Frequenzen genutzt werden.
- NRC: noise reduction coefficient – mittlerer Schallabsorptionsgrad im Bereich zwischen 250 Hz und 2000 Hz

Beim Vergleich von Absorptionsgraden unterschiedlicher Produkte ist auf mit der tatsächlichen Einbausituation vergleichbaren lichten Abstand zur rückwärtigen Raumbegrenzung zu achten.

Kennzeichnende Größe der Schallabsorption einer Fläche i der Größe S_i ist die **äquivalente Schallabsorptionsfläche A_i** . Diese gibt die Größe einer vollständig absorbierenden Fläche an, welche die gleiche Schalleistung absorbiert wie die Fläche i der Größe S_i . Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A_i ist frequenzabhängig und wird berechnet aus

$$A_i = \alpha_i \cdot S_i,$$

α_i : Schallabsorptionsgrad der Fläche i der Größe S_i .

Für Berechnungen in Oktavbandbreite kann der Schallabsorptionsgrad α_i durch den praktischen Absorptionsgrad α_p ersetzt werden.

Bei Verwendung der Einzahlwerte α_w (bewerteter Schallabsorptionsgrad) und NRC (noise reduction coefficient) zur vereinfachten Dimensionierung ergibt sich die äquivalente Schallabsorptionsfläche A_i näherungsweise zu:
 $A_i \approx \alpha_{wi} S_i$ bzw. $A_i \approx NRC_i \cdot S_i$.

α_{wi} : Schallabsorptionsgrad der Fläche i der Größe S_i .

NRC _{i} : noise reduction coefficient der Fläche i der Größe S_i .

5. Erforderliche Maßnahmen

Allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume

Zur Einhaltung der Anforderungen an die Nachhallzeit bei mittleren Frequenzen im besetzten Zustand ist in Abhängigkeit vom Raumvolumen die in Tabelle 4 angegebene zusätzliche äquivalente Schallabsorptionsfläche notwendig. Zwischenwerte können mit ausreichender Genauigkeit linear interpoliert werden.

Die erforderliche Einbaufläche für Schallabsorber ergibt sich aus diesen Angaben und den Schallabsorptionseigenschaften des gewählten Produkts nach Abschnitt 4.

Die Schallabsorptionseigenschaften können dabei durch Verwendung des praktischen Schallabsorptionsgrades α_p , des bewerteten Schallabsorptionsgrades α_w oder des noise reduction coefficient NRC berücksichtigt werden. Bei Verwendung des praktischen Schallabsorptionsgrades α_p wird die erforderliche Einbaufläche für mittlere Frequenzen (1000 Hz Oktavmittefrequenz) berechnet.

Geeignet sind Schallabsorber mit möglichst gleichmäßigen Absorptionseigenschaften für die Oktavmittefrequenzen von 250 Hz bis 4000 Hz.

Anmerkung:

- Anforderung an den praktischen Schallabsorptionsgrad α_p :

(500 .. 4000) Hz: $\Delta\alpha_p \leq 0,2$;
 250 Hz: $\alpha_p \geq (\alpha_{p,max} - 0,4)$

- Anforderung an den bewerteten Schallabsorptionsgrad α_w : Der Absorber darf nicht durch einen der Kennbuchstaben T, M oder H als spezieller Tiefen-, Mitten oder Höhenabsorber gekennzeichnet sein.
- Anforderungen an den noise reduction coefficient NRC: Der NRC enthält keine Aussage über Frequenzabhängigkeit des Schallabsorptionsgrades, es ist der frequenzabhängige Verlauf des Schallabsorptionsgrades analog zu α_p zu beurteilen.

Anordnung der schallabsorbierenden Flächen

Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3 genannten Anforderungen an die Flächengestaltung ergeben sich für die Anordnung von schallabsorbierenden Flächen folgende Varianten:

- Variante I: vollflächige schallabsorbierende Deckenverkleidung
- Variante II: schallabsorbierende Verkleidung der Decke im von der Tafel aus gesehen hinteren Bereich und der der Tafel gegenüberliegenden Wand ab etwa 2 m über OKF bis zur Decke (vgl. Abbildung 4)
- Variante III: wie Variante II, zusätzlich: schallabsorbierende Streifen an der Decke entlang der Fenster- und der Flurwand (vgl. Abbildung 5)
- Variante IV: wie Variante III, zusätzlich: schallabsorbierende Verkleidung der Flurwand ab 2 m über OKF bis zur Decke (vgl. Abbildung 6)

Exkurs: Raumakustik

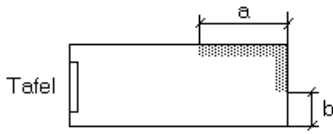


Abb. 4: Längsschnitt Variante II,
a: (25 .. 30)% der Raumlänge,
b: 2 m über OKF

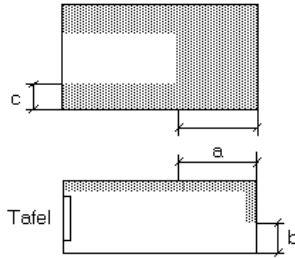


Abb. 5: Deckenansicht und Längsschnitt
Variante III,
a: (25 .. 30)% der Raumlänge, b: 2 m über
OKF, c: ca. 25% der Raumbreite



Abb. 6: Flurwandansicht Variante IV,
b: 2 m über OKF

Maßnahmen zur Absorption bei mittleren und hohen Frequenzen

Die zur Einhaltung der Anforderungen bezüglich der Nachhallzeit erforderlichen Schallabsorptionsgrade für die Absorberflächen sind in Tabelle 5 angegeben. Diese können sowohl als praktische Schallabsorptionsgrade α_p , als bewertete Schallabsorptionsgrade α_w als auch als noise reduction coefficient NRC interpretiert werden.

Bei Verwendung von unterschiedlichen Materialien im Decken- und Wandbereich ist darauf zu achten, dass der über alle Absorberflächen gemittelte Absorptionsgrad¹ dem in der Tabelle 5 angegebenen Wert entspricht.

Maßnahmen zur Absorption tiefer Frequenzen

Der eingesetzte Absorber sollte den in Tabelle 6 in Abhängigkeit vom Raumvolumen und von der Anordnung der Absorberflächen angegebenen praktischen Absorptionsgrad α_p bei tiefen Frequenzen (125 Hz Oktavmittenfrequenz) aufweisen. In Fällen in denen das nicht der Fall ist, ist zusätzlich Absorber für tiefe Frequenzen vorzusehen.

Als Flächen zur Unterbringung von zusätzlichen Tiefenabsorbern sind der bei mittleren und hohen Frequenzen schall-

Tab. 5: erforderlicher Schallabsorptionsgrad in Abhängigkeit von der Anordnung der Absorberfläche und dem Raumvolumen für allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume

	erforderlicher Schallabsorptionsgrad bei Anordnung der Absorptionsflächen nach Variante			
	I	II	III	IV
100	0,3 – 0,9	≥ 0,5	≥ 0,3	0,3 – 0,9
150				
200	Anordnung für allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume ungeeignet	≥ 0,6	≥ 0,6	≥ 0,4
250				≥ 0,7
300				
350				
400				
450				
500				
550				
600				

Tab. 6: erforderlicher praktischer Absorptionsgrad α_p bei 125 Hz Oktavmittenfrequenz in Abhängigkeit von der Anordnung der Absorberfläche und dem Raumvolumen für allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume;

Raumvolumen [m³]	erforderlicher Schallabsorptionsgrad bei Anordnung der Absorptionsflächen nach Variante			
	I	II	III	IV
100	≥ 0,4	≥ (0,7)	≥ 0,5	≥ 0,4
150	*)	*)	≥ 0,6	≥ 0,5
200	Anordnung für allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume ungeeignet	*)		
250				
300				
350				
400				
450				
500	*)	≥ 0,6		
550				
600				

¹ Berechnet nach Abschnitt 7

*) in jedem Fall zusätzlicher Tiefenabsorber erforderlich

Exkurs: Raumakustik

reflektierend zu gestaltende Deckenspiegel und freie Wandflächen an der Tafelwand geeignet.

Der Aufbau der Tiefenabsorber kann als Plattenschwinger erfolgen. Auf einer Lattung wird im lichten Wandabstand von etwa 40 mm eine Platte mit einer flächenbezogenen Masse $m' = (8 \dots 20)$ kg/m² angeordnet. Der Achsabstand der Lattung (z.B. Dachlatte 60x40) muss mindestens 60 cm betragen. Der Bereich zwischen den Latten ist mit einer Dämmstoffeinlage (Faserdämmstoff) zu versehen.

Musikunterrichtsräume

Zur Einhaltung der Anforderungen an die Nachhallzeit bei mittleren Frequenzen im besetzten Zustand ist in Abhängigkeit vom Raumvolumen die in Tabelle 4 angegebene zusätzliche äquivalente Schallabsorptionsfläche notwendig. Zwischenwerte können mit ausreichender Genauigkeit linear interpoliert werden.

Die erforderliche Einbaufläche für Schallabsorber ergibt sich aus diesen Angaben und den Schallabsorptionseigenschaften des gewählten Produkts nach Abschnitt 4.

Geeignet sind Schallabsorber mit möglichst gleichmäßigen Absorptionseigenschaften für die Oktavmittenfrequenzen von 250 Hz bis 4000 Hz (vgl. Abschnitt „allgemeine Unterrichts- und Fachunterrichtsräume“).

In Musikunterrichtsräumen sollte die Decke auch bei kleinen Raumvolumina nicht vollflächig mit Absorber verkleidet sein.

Maßnahmen zur Absorption bei mittleren und hohen Frequenzen

Die zur Einhaltung der Anforderungen bezüglich der Nachhallzeit erforderlichen Schallabsorptionsgrade für die Absorberflächen sind in Tabelle 7 angegeben. Diese können sowohl als praktische Schallabsorptionsgrade α_p , als bewertete

Tab. 7: erforderlicher bewerteter Absorptionsgrad α_w in Abhängigkeit von der Anordnung der Absorberfläche und dem Raumvolumen für Musikräume

Raumvolumen [m ³]	erforderlicher Schallabsorptionsgrad bei Anordnung der Absorptionsflächen nach Variante			
	I	II	III	IV
100	Anordnung für Musikunterrichtsräume ungeeignet	/	/	/
150		0,2 – 0,3	≤ 0,3	≤ 0,2
200				
250		0,2 – 0,5	0,2 – 0,4	≤ 0,3
300		0,3 – 0,5		
350		0,3 – 0,7		
400		0,4 – 0,7	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
450				
500				
550				
600				

Tab. 8: erforderlicher praktischer Absorptionsgrad α_p bei 125 Hz Oktavmittenfrequenz in Abhängigkeit von der Anordnung der Absorberfläche und dem Raumvolumen für Musikunterrichtsräume

Raumvolumen [m ³]	erforderlicher Schallabsorptionsgrad bei Anordnung der Absorptionsflächen nach Variante			
	I	II	III	IV
100	Anordnung für Musikunterrichtsräume ungeeignet	0,1 – 0,5	≤ 0,4	≤ 0,3
150		0,1 – 0,6		
200			0,1 – 0,4	0,1 – 0,3
250				
300		0,2 – 0,7	0,1 – 0,5	0,1 – 0,4
350		0,2 – 0,8		
400		≥ 0,3	0,2 – 0,5	0,1 – 0,5
450				
500				
550				
600				

Schallabsorptionsgrade α_w als auch als noise reduction coefficient NRC interpretiert werden.

Bei Verwendung von unterschiedlichen Materialien im Decken- und Wandbereich ist darauf zu achten, dass der über alle Absorberflächen gemittelte Absorptionsgrad dem in der Tabelle 7 angegebenen Wert entspricht.

Maßnahmen zur Absorption tiefer Frequenzen

Der eingesetzte Absorber sollte den in Tabelle 8 in Abhängigkeit vom Raumvo-

lumen und von der Anordnung der Absorberflächen angegebenen praktischen Absorptionsgrad α_p bei tiefen Frequenzen (125 Hz Oktavmittenfrequenz) aufweisen. In Fällen in denen das nicht der Fall ist, ist zusätzlich Absorber für tiefe Frequenzen vorzusehen.

Als Flächen zur Unterbringung von zusätzlichen Tiefenabsorbern sind der bei mittleren und hohen Frequenzen schallreflektierend zu gestaltende Deckenspiegel und freie Wandflächen an der Tafelwand geeignet (vgl. Abschnitt „allgemeine Unterrichts- und Fachunterrichtsräume“).

Exkurs: Raumakustik

Verkehrsbereiche (Flure, Foyers)

Die erforderliche zusätzlich einzubringende schallabsorbierende Fläche ist bevorzugt im Deckenbereich anzuordnen. Bei vollflächig absorbierender Gestaltung der Decke in Fluren und Foyers ist in der Regel mit einer spürbaren Pegelminderung gegenüber dem akustisch unbehandelten Zustand zu rechnen wenn für den bewerteten Absorptionsgrad α_w der Decke gilt:

$$\alpha_w \geq 0,3$$

Es gilt allgemein je größer der Absorptionsgrad des eingesetzten Schallabsorbers, desto größer ist die erzielbare Pegelminderung. Bei vollflächiger Deckenverkleidung ist bei einer Vergrößerung des bewerteten Absorptionsgrades über $\alpha_w = 0,5$ hinaus nur noch mit einer geringfügigen zusätzlichen Pegelminderung zu rechnen.

Werden nur Teilflächen der Decke absorbierend gestaltet oder Absorberflächen im Wandbereich vorgesehen, so kann der erforderliche Absorptionsgrad des einzusetzenden Materials wie folgt abgeschätzt werden:

$$\alpha_w = \alpha_{wo} \cdot S_G / S_A$$

mit

$$\alpha_{wo} = 0,3 \dots 0,5$$

S_G Raumgrundfläche, S_A vorgesehene Fläche für Absorber

Mehrzweckräume/Speisesäle/Aulen

Für Räume dieser Art mit Raumvolumen bis 600 m³ sind raumakustische Maßnahmen entsprechend der Hauptnutzung vorzusehen:

- für Unterricht (außer Musikunterricht) genutzte Räume sind zu behandeln wie allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume,
- für Musikunterricht und aktives Musizieren (Proben, Aufführungen) genutzte Räume sind zu behandeln wie Musikunterrichtsräume,

- für Versammlungen, Theateraufführungen u.ä. genutzte Räume sind zu behandeln wie allgemeine Unterrichtsräume und Fachunterrichtsräume;

Die vom Raumvolumen und von der Anordnungsvariante der schallabsorbierenden Fläche abhängigen zulässigen Schallabsorptionsgrade liegen dabei an der unteren Grenze des in Tabelle 5 angegebenen Bereiches.

- Ausschließlich als Speisesäle genutzte Räume sind wie Verkehrsflächen zu behandeln.

Für Mehrzweckräume, Speisesäle mit Mehrzwecknutzung und Aulen mit Raumvolumina über 600 m³ sollte zur Festlegung der akustischen Maßnahmen ein Fachplaner hinzugezogen werden.

6. Quellennachweis

- [1] DIN 18041: „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“, Oktober 1968.
- [2] DIN 18041 (Entwurf): „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“, erscheint 2002.
- [3] ArbStättV, Verordnung über Arbeitsstätten, 1975
- [4] VDI 2958-3: „Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten“, Februar 1999.
- [5] DIN 18032-1: „Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung; Grundsätze für Planung und Bau“, April 1989.
- [6] Schottke, H.: „Leitfaden Raumakustik in Unterrichtsräumen“, Sozialministerium Mecklenburg – Vorpommern, 2001
- [7] Schick, A.; Klatt, M., Meis, M.: „Die Lärmbelastung von Lehrern und Schülern – ein Forschungsstandsbericht“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Jahrgang 46, Heft 3, 1999, S. 77 ff.
- [8] MacKenzie, D.J.; Airey, S.: „Akustik in Klassenzimmern, Ein Forschungsprojekt“, Heriot-Watt University Edinburgh, 1999.

- [9] Lehmann, U.: „Modelluntersuchungen im Maßstab 1:20 an einem Klassenraum mit unterschiedlicher Decken- und Wandauskleidung“, in: Bauforschung – Baupraxis, Heft 287, Bau- und Raumakustik Beiträge (10), Berlin, 1991, S. 36 ff
- [10] DIN EN ISO 11654: „Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden, Bewertung der Schallabsorption“, Juli 1997
- [11] Fasold, W.; Veres, E.: „Schallschutz + Raumakustik in der Praxis“, Berlin, 1998.
- [12] Fasold, W., Sonntag, E., Winkler, H.: „Bauphysikalische Entwurfslehre, Bau- Raumakustik“, Berlin, 1987.

7. Anhang

Ermittlung des mittleren Absorptionsgrades bei Flächen unterschiedlicher absorbierender Eigenschaften

Sollen im Wand- und Deckenbereich unterschiedliche schallabsorbierende Produkte eingesetzt werden, so muss der über die gesamte Absorberoberfläche gemittelte Absorptionsgrad die in Abschnitt 5 angegebenen Werte für den erforderlichen Schallabsorptionsgrad einhalten. Die Mittelung erfolgt unter Berücksichtigung der Größen der Einzelflächen:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\square}} \alpha_{i_{\square}} \cdot S_{i_{\square}}}{\sum_{i=1}^{N_{\square}} S_{i_{\square}}}$$

mit:

α_i : Schallabsorptionsgrad der Fläche S_i
 N : Anzahl der Absorberflächen mit unterschiedlichem Absorptionsgrad