



Richtlinie für die Akustik von Schulzimmern und anderen Räumen für Sprache

1 Einleitung

Diese Richtlinien der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik SGA wurden von der Fachgruppe Raumakustik verfasst und vom Vorstand der SGA am 11.3.2004 genehmigt. Sie stützt sich auf die Deutsche Norm DIN 18041, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen.[1]

Die Richtlinie gibt eine Einführung in die DIN-Norm, ersetzt sie aber nicht. Die Verfasser gehen davon aus, dass die DIN 18041 von den Anwendern dieser Richtlinie beschafft wird.

Weiter stützt sich die Richtlinie auf die Empfehlungen der SGA für Beschallungsanlagen. [2]

Die Richtlinie gibt damit der Stand des Wissens und der Technik für eine gute Hörsamkeit in Räumen für Sprache wieder.

2 Anwendungsbereich der Richtlinie

Diese Richtlinie behandelt in erster Linie die Anforderungen für Unterrichtsräume (Schulzimmer, Hörsäle, Auditorien etc.) sowie Sporthallen.

In der DIN Norm 18041 sind aber auch die Anforderungen für eine Reihe von anderen kleinen und mittleren Räumen für Sprach- und Musikknutzung aufgeführt, wie z. B. Gemeindefest, Ein- und Mehrpersonenbüros, Fahrkarten- und Bankschalter, Publikumsbereich für den öffentlichen Verkehr, Verkaufsräume, Gaststätten, Operationssäle, etc. In der vorliegenden Richtlinie wird auf die Zusammenfassung der entsprechenden Anforderung verzichtet.

In der DIN Norm 18041 und in dieser Richtlinie werden die Belange von Personen mit eingeschränktem Hörvermögen besonders berücksichtigt.

3 Anforderungen

3.1 Zulässige Störgeräusche

Die DIN 18041 unterscheidet zwischen Störhall von bauseitigen Geräuschen (Verkehrslärm von aussen, Geräusche von benachbarten Räumen) und Betriebsgeräuschen (haustechnische Anlagen, Projektoren etc.). Für beide Geräuscharten ist der zulässige Störgeräuschpegel als A-bewerteter Mittleungspegel in der Tabelle 1 auf der folgenden Seite angegeben.

3.2 Volumenkenzahl / Nachhallzeit

Um einer für Sprache angepasste Nachhallzeit zu erzielen wird für Sprachdarbietungen in der DIN 18041 eine Volumenkenzahl (Raumvolumen je Platz) von **3 - 6 m³ / Person** empfohlen.

Die Nachhallzeit von Räumen für Unterricht (Schulzimmer, Gruppenräume, Seminarräume, Hörsäle, Räume für Tele-Teaching, Tagungsräume, Konfe-

renzräume etc.) wurde in der neuen DIN 18041 nach dem Stand des Wissens festgelegt.

Der anzustrebende **Sollwert der Nachhallzeit T_{soff}** in Sekunden als Mittelwert der Oktavbänder 500 Hz und 1000 Hz wird abhängig vom Raumvolumen V in m³ nach der folgenden Formel festgelegt:

$$T_{soff} = 0.32 \cdot \lg(V) - 0.17$$

Der Zusammenhang ist in Abbildung 1 dargestellt. Die anzustrebende Frequenzabhängigkeit findet sich in Abbildung 2.

Der Sollwert gilt für den besetzten Zustand. Im unbesetzten Zustand sollte die Nachhallzeit im Allgemeinen nicht mehr als 0.2 s über dem Sollwert liegen.

Für Personen mit Hörschäden wird die raumakustische Situation für Sprachkommunikation umso günstiger empfunden, je kürzer die Nachhallzeit ist. Nach heutigem Kenntnisstand im Bereich des barrierefreien Planens und Bauens sollte für Personen mit eingeschränktem Hörvermögen die anzustrebende Nachhallzeit vorrangig für Räume mit einem Volumen bis zu 250 m³ und der Nutzung Sprache/ Unterricht in den Oktavbändern 250 Hz bis 2000 Hz bis 20% unter den in Abbildung 1 angegebenen Kurven liegen. Abbildung 2 ist in diesem Frequenzbereich nicht anzuwenden. Vergleichbare Anforderungen gelten auch für die Kommunikation in einer Sprache, die nicht als Muttersprache gelernt wurde, bei der Kommunikation mit Personen, die Deutsch als Fremdsprache sprechen, und die Kommunikation mit Personen, die auf andere Weise ein Bedürfnis nach erhöhter Sprachverständlichkeit haben, z. B. Personen mit Sprach- oder Sprachverarbeitungsstörungen, Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitsstörungen, Leistungsschwäche. †

Für Sport- und Schwimmhallen mit einem Volumen von 2 000 ... 8 500 m³ ohne Publikum sind die Nachhallzeiten wie folgt definiert (Abbildung 1):

$$\text{Sport 1: } T_{soff} = 1.27 \cdot \lg(V) - 2.49$$

$$\text{Sport 2: } T_{soff} = 0.95 \cdot \lg(V) - 1.74$$

Sport 1: für normale Nutzung und/oder einzügigen Unterrichtsbetrieb (eine Klasse/Sportgruppe, einheitlicher Kommunikationsinhalt) Sport 2: für mehrzügigen Unterrichtsbetrieb (mehrere Klassen/Sportgruppen parallel)

3.3 Geometrische Gestaltung der Räume

Die **Primärstruktur** des Raumes sollte kreisförmige und elliptische Grundrisse ohne ergänzende raumakustische Massnahmen vermeiden, Trapezgrundrisse mit in Bezug auf die Darbietungsrichtung konvergierender Seitenwandführung sind denen mit divergierender vorzuziehen. †

Schalltechnische Anforderungen an die Raumnutzung	Störgeräuschpegel L_{NA} dB	Eignung ^a für eine Entfernung: Sprecher – Hörer		Eignung ^a für Personen mit Hörverlusten	Eignung ^a für die Wahrnehmung schwieriger oder fremdsprachiger Texte
		mittlere ^{b,c}	grössere ^b		
I (mindest)	≤ 40 (laut)	+	-	-	-
II (mittlere)	≤ 35 (mittel)	+	o	o	o
III (hohe)	≤ 30 (leise)	+	+	+	+

^a) "+" geeignet, "o" bedingt geeignet, "-" nicht geeignet

^b) Für eine mittlere Entfernung zwischen Sprecher und Hörer kann üblicherweise ein Abstand von 5 m bis 8 m, für grössere Entfernungen > 8 m, angenommen werden.

^c) Auch geeignet für geringere Entfernungen zwischen Sprecher und Hörer bis etwa 5 m.

Tabelle 1 Einstufung der zulässigen Störgeräuschpegel gemäss DIN 18041 (Tabelle 1)

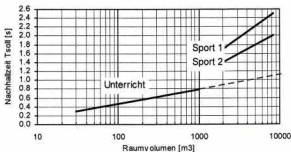


Abbildung 1 Sollwert T_{soll} der gemittelten Nachhallzeit zwischen 500 Hz und 1000 Hz im besetzten Zustand für Räume für Unterricht gemäss DIN 18041, Bild 1

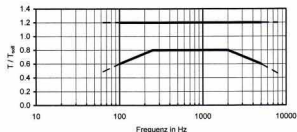


Abbildung 2 Toleranzbereich der empfohlenen Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz für Sprache gemäss DIN 18041, Bild 2

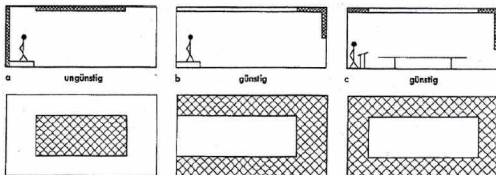


Abbildung 3 Verteilen von Schallschluckflächen für Räume kleiner bis mittlerer Raumgrösze, z. B. Unterrichts- und Sitzungsräume gemäss DIN 18041 (Bild 5). Oben Längsschnitt, unten Deckenuntersicht.

Konkav gekrümmte Wand- und Deckenflächen sind akustisch kritisch und deshalb ohne zusätzliche raumakustische Massnahmen zu vermeiden, wenn der Krümmungsradius zwischen dem halben und dem doppelten Abstand zwischen Darbietendem/Zuhörer und der grössten Entfernung zur gekrümmten Fläche liegt.¹

Für eine ausreichende Direktschallversorgung ohne Klangfärbungsänderungen sollte eine **Sitzreihenüberhöhung** realisiert werden (Dimensionierung siehe DIN 18041)

Anmerkung: Personen mit eingeschränktem Hörvermögen sind zusätzlich auf **optische Informationen** (Absehen vom Mund, Gestik, Mimik, Schrift) angewiesen. Dies ist bei der Auswahl des Sprecherstandortes, seiner Beleuchtung und bei der technischen Raumausstattung zu berücksichtigen.¹

Die **Sekundärstruktur des Raumes** (Gestaltung der Wände und Decke) ist in Abhängigkeit von der Raumgeometrie zur Schalllenkung und zur Schallstreuung auszulegen.¹

- Der **Wegunterschied** zwischen dem Direktschall (Sichtverbindung zur Schallquelle) und dem energiereichen reflektierten Schallanteil (z. B. erste Spiegelreflexion an der Wand oder/und Decke) sollte bei vorrangiger Sprachnutzung nicht mehr als 17 m betragen. Beträgt in diesem Fall der Abstand zwischen den Wandflächen hinter und gegenüber der Darbietungszone mehr als 9 m, so ist diese Rückwand raumakustisch zu behandeln.¹
- Nützliche deutlichkeits- und klarheitserhöhende **Anfangsreflexionen** unter Beachtung des zulässigen Wegunterschiedes sind durch schallreflektierende mittlere Deckenbereiche zu realisieren.¹ (siehe Abbildung 3)

Parallele Flächen im Raum ohne zusätzliche raumakustische Massnahmen (schallabsorbierend, diffus streuend oder mindestens 5° geneigt) sollten vermieden werden.¹

4 Massnahmen

4.1 Bauakustische Massnahmen

Bei der Planung von Räumen für sprachliche Kommunikation ist zusätzlich zu den funktionalen Abhängigkeiten auch zu beachten, dass Räume mit geringem gegenseitigem Störpotential aneinander grenzen. Ein grosser Abstand von Hauptverkehrswegen ausserhalb und innerhalb des Gebäudes, von lauten Funktionsräumen und von Technikzentralen verringert den Aufwand für den baulichen Schallschutz.¹

Es gelten die Anforderungen der Schweizer Norm SIA 181, Schallschutz im Hochbau. [3]

4.2 Raumakustische Massnahmen

4.2.1 Kleine Räume mit Volumen unter 250 m³

Geometrische Gestaltung:

Die beschriebenen Massnahmen und Auslegungshinweise gelten insbesondere für Besprechung- und Klassenzimmer, Gruppenräume in Kindergärten

und Kindertagesstätten und anderen Räumen, die überwiegend der sprachlichen Kommunikation, auch unter Einsatz audiovisueller Medien, dienen. Aufgrund der Raumabmessungen ist eine Überdämpfung des Raumes durch schallabsorbierende Massnahmen in der Regel nicht zu befürchten.¹

Für kleine Räume sind höhere Volumenkenzahlen als in 3.2 gezeigt günstig, soweit geeignete raumakustische Massnahmen ergriffen werden.¹

Besonders in kleinen Räumen können störende Dröhneffekte bei tiefen Frequenzen auftreten. Diesen man kann mit schallabsorbierenden Massnahmen bzw. der Wahl geeigneter Raumproportionen entgegenwirken.¹

Schallabsorbierende Flächen

Art und Umfang der in den Raum einzubringenden schallabsorbierenden Flächen hängen vom Raumvolumen und den akustischen Eigenschaften der vorgesehenen Raumboberflächen einschliesslich der Ausstattungsgegenstände ab. Für Raumvolumina bis ca. 250 m³ genügt im Allgemeinen die frequenzabhängige Auslegung für die Oktavmittelfrequenzbereiche zwischen 125 Hz und 4000 Hz bzw. der Terzmittelfrequenzen zwischen 100 Hz und 5000 Hz unter Vernachlässigung der Schalldämpfung der Luft nach der Formel von Sabine.¹

Die DIN 18041 enthält eine vereinfachte Dimensionierung zum Abschätzen der notwendigen absorbierenden Flächen für unterschiedlich bewertete Absorptionsgrade α_n nach EN ISO 11654.

Grundsätzlich ist es wünschenswert, die absorbierenden Flächen gleichmässig auf die Raumboberflächen zu verteilen. Zweckmässig sind die in Abbildung 3 b und c gezeigten Anordnungen. Die Grösse der Fläche hängt von den oben erwähnten Berechnungen der Nachhallzeit ab. Tieffrequente Schallabsorber sind in Schallquellennähe, in Raumecken oder -kanten besonders wirksam.¹

4.2.2 Mittlere Räume mit Volumen von 250 m³ bis 5'000 m³

Geometrische Gestaltung:

Bei solchen Raumgrössen handelt es sich in der Regel um grössere Klassenräume, Seminarräume und Hörsäle. Aufgrund der Grösse bedarf es neben der Anordnung frequenzabhängig schallabsorbierender Materialien auch, dass nützliche Reflexionen gelenkt und langverzögert und damit schädliche Reflexionen vermieden werden.¹

Räume, die gegenüber Länge und/oder Breite sehr niedrig sind, sollten vermieden werden. Die Raumproportionen sind bei grösseren Räumen aufgrund der höheren Eigenfrequenzdichte auch bei tiefen Frequenzen weniger kritisch. Zueinander parallele, unbehandelte Wandflächen sind genauso ungünstig wie konkav gekrümmte oder abgewinkelte Flächen, die im Aufenthaltsbereich der Personen (oder ggf. Mikrofonpositionen) zu Flatterechos oder Fokussierungen führen können.¹

In grösseren Zuhörerräumen sind ansteigende Sitzreihen einer Zuhöreranordnung vorzuziehen; vor-

teilhaft ist eine gegenüber dem Auditorium erhöhte Sprecherposition (z. B. Podest, Podiumsbühne).[†]

Schallabsorbierende Flächen

Die Berechnung der erforderlichen Flächen für die Schallabsorption erfolgt nach der Formel von Sabine.

In Räumen mit einer Länge von mehr als etwa 9 m können von der Rückwand direkt oder über Winkelspiegelreflexionen langverzögerte Schallanteile in den vorderen Raumbereich gelenkt werden, die zu einer Minderung der Sprachverständlichkeit führen. In diesem Fall müssen diese Reflexionsflächen entweder schallabsorbierend verkleidet oder so geneigt werden, dass der auftreffende Schall als nützliche Verstärkung zu den von der Schallquelle entfernteren Hörern hin reflektiert wird. Auch stark gegliederte Oberflächen sind zweckmässig.[†]

Bei zueinander parallelen Flächen sollte zumindest eine der gegenüberliegenden Flächen absorbierend gestaltet oder gegliedert werden. Dies gilt insbesondere bei grösseren Räumen mit nicht ansteigernder Bestuhlung. Auch eine Schrägstellung der Flächen um mindestens etwa 5° ist günstig.[†]

In Räumen mit rechtwinkliger Geometrie und weitgehend ebener Beschaffenheit der Oberflächen (z. B. Sport- oder Schwimmhallen) können sich bei einseitiger Verteilung schallabsorbierender Flächen, z. B. bei ausschliesslich absorbierender Verkleidung der Decke, deutlich längere Nachhallzeiten einstellen, als dies nach der Berechnung zu erwarten ist. Um dies zu verhindern, sollten an mindestens einer Wandfläche Kombinationen aus schallabsorbierenden oder schallstreuenden Massnahmen eingesetzt werden. Im Zweifelsfall können genauere Prognosen durch Anwendung verfeinerter statistischer Berechnungsmethoden (Simulationsverfahren am mathematischen oder physikalischen Modell) erfolgen. Dies setzt die Nutzung geeigneter raumakustischer Simulationssoftware, Erfahrung mit solchen Aufgabenstellungen und den sicheren Umgang mit diesen Werkzeugen voraus.[†]

5 Anforderungen an Beschallungsanlagen für Sprache

Beschallungsanlage für Sprache haben ganz spezifische Anforderungen zu erfüllen, welche sich deutlich unterscheiden von jenen für Musikbeschallungen. Planung, Realisierung und Inbetriebnahme müssen von ausgewiesenen Fachleuten erfolgen. Bei der Planung sind moderne Mittel (Planungs-Software) einzusetzen. Es wird dasjenige Beschal-

lungskonzept evaluiert, welche die besten Verhältnisse für die Sprachverständlichkeit gewährleistet.

Beschallungsanlagen sind nach den Empfehlungen der SGA [2] zu planen, in Betrieb zu nehmen und zu betreiben. Sie müssen die in diesen Empfehlungen enthaltenen Anforderungen erfüllen. Es gelten die Mindestwerte der unten stehenden Tabelle 2 für die Sprachverständlichkeit.

6 Höranlagen für Schwerhörige

Schwerhörige benötigen im Vergleich zu Guthörenden einen deutlich stärkeren Direktschallanteil bei entsprechend verringerter Diffusfallschallkomponente. Deshalb sind Beschallungsanlagen mit Lautsprechern für sie im Allgemeinen nicht hilfreich, sondern es ist eine direkte Tonsignalübertragung zum jeweiligen Schwerhörigen notwendig.[†]

Bei **induktiven Höranlagen** können Trägerinnen und Träger von Hörgeräten durch Umschalten auf Stellung T das Sprachsignal induktiv empfangen. Damit fallen störende Raumreflexionen weg. Solche Anlagen sind nach den Empfehlungen der SGA zu planen, in Betrieb zu nehmen und zu betreiben. Sie müssen die in den SGA-Empfehlungen enthaltenen Anforderungen erfüllen. [2] Weitere Angaben zu Höranlagen finden sich in einer Publikation der IGGH: Beschallungsanlagen, Höranlagen und Raumakustik. [4]

7 Quellen / Literaturhinweise

- [1] DIN 18041:2004-05, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen.
- [2] SGA, Beschallungsanlagen für Sprache. Empfehlungen für Architekten und Bauherren. Schweizerische Gesellschaft für Akustik, 2001.
- [3] SIA 181, Schallschutz im Hochbau.
- [4] Beschallungsanlagen, Höranlagen und Raumakustik. Schweizerische Fachstelle für behindertengerechtes Bauen. Zürich. 2002.
- [5] Ludowika Huber, Joachim Kahlert, Maria Klätte (Hg). Die akustisch gestaltete Schule: Auf der Suche nach dem guten Ton. Edition Zuhören Band 3, Vandenhoeck & Ruprecht 2002.

Die mit [†] bezeichneten Textstellen dieser Richtlinie sind direkt aus der DIN 18041 [1] zitiert.

SGA 2004-06-21

Raumtyp	Deutlichkeitsmass C_{50}	Common Intelligibility Scale C/S	Speech Transmission Index STI	Articulation Loss of Consonants AL_{con}
Kleines Auditorium, Hörsaal, Unterrichtsraum	≥ 0 dB	$\geq 0,75$	$\geq 0,56$	< 8 %
Sport- und Schwimmhallen mit Publikum	≥ -2 dB	$\geq 0,70$	$\geq 0,50$	< 12 %

Tabelle 2 Anforderungen gemäss DIN 18041, Tabelle 4