

Schulraumakustik aus dem „Hör“-Winkel der Betroffenen

Carsten Ruhe

TAUBERT und RUHE GmbH, Halstenbek; e-Post: carsten.ruhe@taubertundruhe.de

Einleitung

Im Ingenieurbüro des Autors wurden 153 Mess- und Beratungsaufgaben für Schulen in einer „Projekt-Datenbank“ erfasst, in die Anfragen auch dann aufgenommen wurden, wenn kein Auftrag folgte. Bei Neubauten liegt der Anteil der stornierten Anfragen bei etwa 20%, bei Sanierungen aber sogar bei fast 50%. Grund dafür sind die finanziellen und zeitlichen Probleme. Bei allen Schulträgern ist die Haushaltslage sehr angespannt, insbesondere wenn gerade eine Modernisierungsmaßnahme für die Schule abgeschlossen wurde. Nochmals Geld für eine abermalige akustische Sanierung auszugeben, stößt dann in den kommunalen Verwaltungen auf völliges Unverständnis. In einigen wenigen Fällen war eine Finanzierung über die Haftpflichtversicherung der Architekten möglich.

Wenn eine Sanierung notwendig wird, muss diese (häufig auf Druck der Lehrer, Eltern oder sogar der Presse) sehr zeitnah erfolgen. Häufig erwarten die Auftraggeber vorab einen Therapievorschlag in der Hoffnung, „die ganze Sache in den Herbstferien abzuwickeln“. Etwas mehr Zeit erhält der Berater, wenn bereits kurz vor den Sommerferien bekannt ist, dass im folgenden Schuljahr in einem bestimmten Klassenraum ein hörgeschädigtes Kind integrativ beschult werden soll. Dann stehen für die Planung, Mittelbeschaffung und Ausführung insgesamt etwa sechs bis acht Wochen zur Verfügung.

Von den verantwortlichen Planern wird die optische Gestaltung der Unterrichtsräume gegenüber der akustischen als höherwertig eingeschätzt. Diese Situation ergibt sich vorrangig bei Neubauten, wenn also noch keine Beanstandungen durch Lehrer, Schüler oder die Eltern vorgetragen werden können. Dann wird die Auffassung vertreten, so „schlimm“ wie ein Akustiker die Situation ausmalt sei sie wohl doch nicht.

Was ist Auslöser einer Beratungsaufgabe?

Während bei Neubauten, häufig auch durch Veranlassung der Architekten, eine Beauftragung durch den Bauherren erfolgt, werden Umgestaltungen und Modernisierungen aus anderen Gründen veranlasst: Beanstandungen werden von Eltern und Lehrern/innen häufig dann vorgetragen, wenn eine Renovierung des Klassenraumes die raumakustische Situation verschlechtert hat. Nach einem häufig dreimaligen Farbauftrag ist die Decke wieder reinweiß, aber „der Raum klingt irgendwie anders“.

Zahlreiche Beratungsaufträge - insbesondere nach dem 1. Mai 2002, als das Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz in Kraft trat - werden dadurch ausgelöst, dass ein hörgeschädigtes Kind wohnortnah integrativ beschult werden soll. Dann ist der Klassenraum hörgeschädigtengerecht anzupassen. Hierzu ist eine ausführliche Veröffentlichung in Vorbereitung.

Wann wird beanstandet?

Aus den oben erwähnten Gründen liegen bei weitem nicht für alle beratenen Projekte die Nachhallzeiten des Ausgangszustandes vor. Nachfolgend einige Beispiele:

Ort	Nachhallzeit	Volumen	Bewertung
Gymnasium Barmstedt	1,37 s	216 m ³	-
Berufsschule Elmshorn	1,77 s	264 m ³	-
Berufsschule Elmshorn	1,81 s	197 m ³	-
Berufsschule Elmshorn	1,95 s	224 m ³	-
Realschule Hohenlockstedt	0,70 s	189 m ³	+
Realschule Hohenlockstedt	1,48 s	203 m ³	-
Realschule Hohenlockstedt	0,70 s	203 m ³	+
Grundschule Heiligenstedten	0,94 s	197 m ³	-
Grundschule Heiligenstedten	0,58 s	184 m ³	+
Grundschule Bardowick	1,35 s	268 m ³	-
Grundschule Surendorf	1,31 s	185 m ³	-
Grundschule Surendorf	1,69 s	160 m ³	-
Integr. Gesamtsch. Norderst.	0,97 s	217 m ³	-
Grundschule Esingen	1,02 s	198 m ³	-
Grundschule Esingen	0,64 s	198 m ³	+
FH Westküste, Heide	1,01 s	305 m ³	-
Grund/Hauptschule Gees th.	0,44 s	161 m ³	+
Grund/Hauptschule Gees th.	0,51 s	166 m ³	+
Grund/Hauptschule Gees th.	0,34 s	156 m ³	++
Grund/Hauptschule Gees th.	1,27 s	168 m ³	--
Grund/Hauptschule Gees th.	0,44 s	156 m ³	+
Grundschule Lübeck-Moisling	0,34 s	179 m ³	++

Nachhallzeiten in einigen Klassenräumen und ihre subjektive Bewertung durch die Lehrer/innen

Eine auffällig unbefriedigende Situation liegt offenbar dann vor, wenn die Nachhallzeiten in Klassenräumen $T_m = 1,25$ s überschreiten. Dann wird der Störgeräuschpegel so hoch und die Sprachverständlichkeit so schlecht, dass Nachbesserungen unumgänglich sind.

In zwei Fällen wurden bereits Räume bei einer mittleren Nachhallzeit von $T_m = 1,0$ s beanstandet. Dort bestand zunächst mit $T_m = 0,6$ s eine deutlich günstigere Situation, die durch Renovierungen verschlechtert wurde. Einige raumakustisch befriedigende Räume waren aber noch im Ursprungszustand vorhanden, so dass Lehrer und Schüler die Möglichkeit des direkten A-B-Vergleichs hatten.

Ein besonders eklatantes Beispiel zeigt die Abb. 1: In einer Realschule hatte man den Klassenraum 5b mit einer Elterninitiative renoviert und dabei in Unkenntnis auch die Decke angestrichen. Die Messungen führten zu einer mittleren Nachhallzeit von fast $T_m = 1,5$ s. In dem vergleichsweise überprüften Klassenraum 10a lag der Mittelwert bei lediglich $T_m = 0,7$ s. Sämtliche Deckenplatten wurden ausgetauscht und durch neue des selben Typs ersetzt. Danach ergab sich im Klassenraum 6a (Messung nach den Sommerferien im folgenden Schuljahr) wiederum eine Nachhallzeit von $T_m = 0,7$ s. Sie entspricht zwar der Anforderung

derung nach der alten DIN 18041, ist aber nach dem Entwurf noch zu lang.

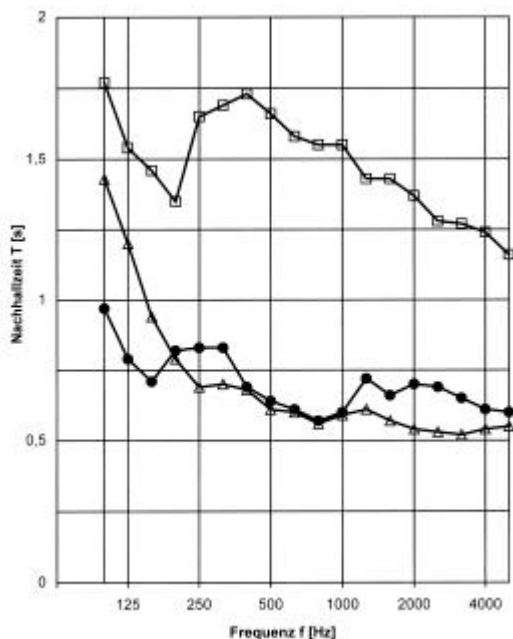


Abbildung 1: Nachhallzeiten in einer Realschule
oben: beanstandeter Raum 5a $T_m = 1,48$ s
unten: zum Vergleich Raum 10a (alt) $T_m = 0,70$ s
Mitte: nachgebesserter Raum 6a $T_m = 0,70$ s

Im Zusammenhang mit der Beratung zur Integrativen Beschulung Hörgeschädigter Kinder wurden in „optimal ausgestatteten Klassenräumen“ mehrfach Nachhallzeiten unter $T_m = 0,45$ s ermittelt. Die Nutzer haben diese Räume durchgängig sehr gelobt. Dabei war festzustellen, dass die Hausmeister der Schulen als „Kummerkasten“ über das objektivste Urteil verfügen. Lehrer können nur eine begrenzte Anzahl der Räume beurteilen und beim Schulleiter werden die Beanstandungen häufig nicht oder nur beiläufig vorgetragen.

Was wird beanstandet?

Die vorgetragenen Beanstandungen lassen sich in sechs Gruppen einteilen:

- zu viel Nachhall
- zu viel Lärm der Schüler/innen
- zu schlechte Sprachverständlichkeit
- zu geringe Konzentration
- zu große Hör-Anstrengung
- zu hoher Stimmaufwand

Maßnahmen zur Verbesserung lassen sich unter der Aufgabenstellung „**schaft ruhige Klassenräume!**“ zusammenfassen. Die Forderung nach einer maximalen Schallabsorption müsste nur konsequent umgesetzt werden.

Tieffrequente Nachhallanteile

Unter Raumakustikern wird zur Zeit im Zusammenhang mit der Überarbeitung der Raumakustik-Norm DIN 18 041 eine intensive Diskussion über die zulässigen Nachhallzeiten bei tiefen Frequenzen geführt. Für die Nutzer der Räume ist diese Frage in den meisten Fällen uninteressant:

Bei monoton fallender Nachhallzeitkurve treten bisweilen Dröhneffekte auf, die beanstandet werden. Im Allgemeinen ist dann die mittlere Nachhallzeit ebenfalls deutlich zu lang (Abb. 2, obere Kurve). Derart extreme Zustände sind natürlich nachzubessern. Wenn aber im Frequenzbereich zwischen 250 und 2000 Hz die Nachhallzeit „kurz genug“ war, so hat sich keine der befragten Personen über den tieffrequenten Nachhall geäußert. So wird z.B. der nachgebesserte Raum 6a (Abb. 2, untere Kurve), trotz eines deutlichen Anstiegs bei tiefen Frequenzen von den Nutzern als gut beurteilt.

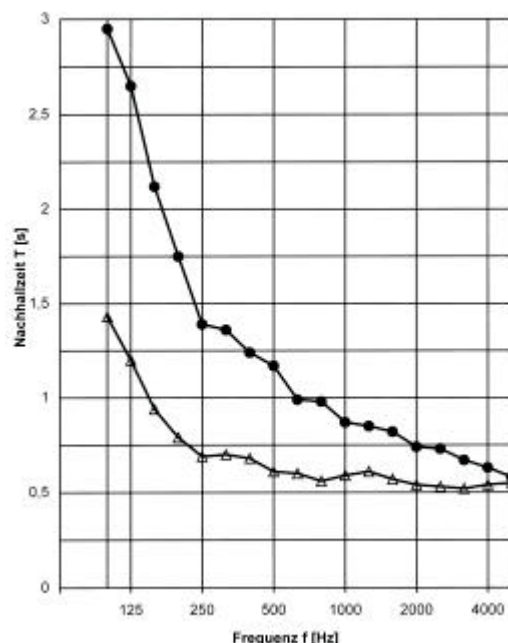


Abbildung 2: tieffrequente Nachhallanteile
Sitzungssaal 116 $T_m = 1,25$ s
nachgebesserter Klassenraum aus Abb.1 $T_m = 0,70$ s

In einer Schule lag im Raum 6b eine mittlere Nachhallzeit von $T_m = 0,44$ s mit einem sehr ausgeglichenen Frequenzgang vor. Im benachbarten Raum 6a betrug die mittlere Nachhallzeit nur $T_m = 0,34$ s, jedoch mit einem deutlichen Anstieg zu den tiefen Tönen. (Abb. 3). Auch hier war der Wert bei 100 Hz etwa doppelt so lang wie der Mittelwert. Dieser Raum wurde von den Lehrern besser beurteilt als der Raum 6b. Derart tiefe Frequenzen werden selbst durch männliche Sprache nicht angeregt. Somit ist dieser Frequenzbereich für Sprachdarbietungen uninteressant. Eine akademische Diskussion über (oft auch teure) Verbesserungsmaßnahmen bei den tiefen Tönen hilft den Betroffenen nicht weiter, sondern blockiert allenfalls eine notwendige Baumaßnahme.

Schallausbreitungsbedingungen

Eine stehende Lehrerin und die vorne sitzenden Schüler hören bei horizontaler Schallausbreitung über die Köpfe der Schüler hinweg ein Rückwandecko mit einer Zeitverzögerung von 40 bis 50 ms. Dieses verschlechtert - insbesondere für hörgeschädigte Personen - die Sprachverständlichkeit. Ein schallabsorbierendes Rückwandpaneel bewirkt für diese Schallausbreitungsrichtung angenäherte Freifeldbedingungen. Das störende Rückwandecko entfällt.

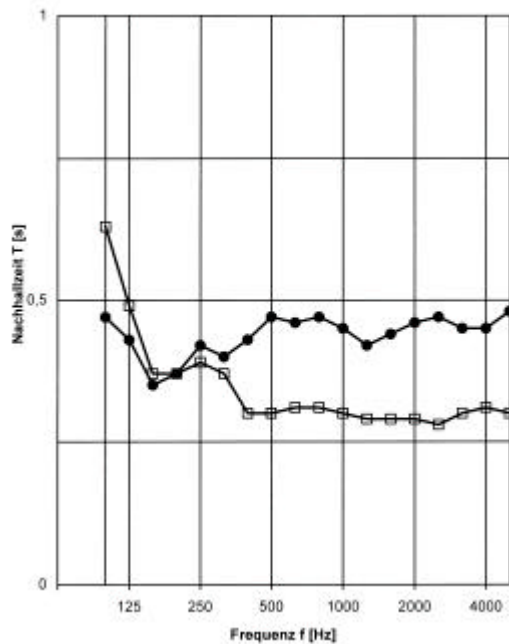


Abbildung 3: Nachhallzeiten in einer Hauptschule
6a, mit tieffrequentem Anteil $T_m = 0,34$ s
6b, mit ausgeglichenem Frequenzgang $T_m = 0,44$ s

Der Sprachschallpegel nimmt von 1 m bis zu den hinteren Plätzen um etwa 10 dB ab (Abb. 4). Dies sind etwa 2,5 dB mehr als nach der Hallfeld-Theorie zu erwarten ist, weil geringere Diffusschallanteile vorhanden sind. Der etwas geringere Nutzsignalpegel wird durch den deutlich geringeren Störgeräuschpegel mehr als wett gemacht.

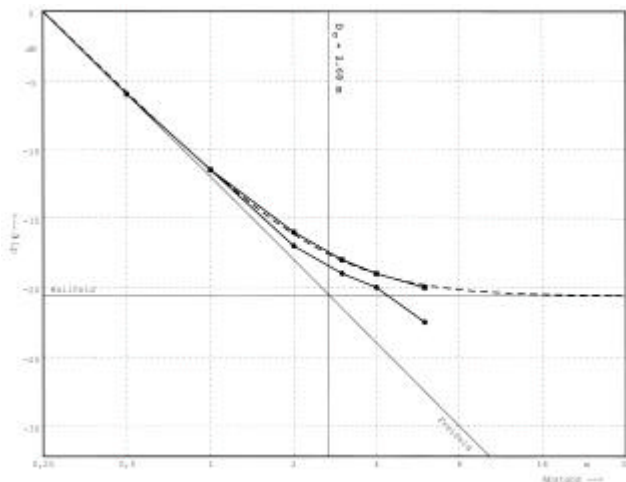


Abbildung 4: Schallausbreitung Raum nach Abb. 3
oben: Klassenraum 6b ohne absorbierendes Rückwandpaneel, hier entsteht eine Hallfeldsituation
unten: Klassenraum 6a mit absorbierendem Rückwandpaneel, hier liegen näherungsweise Freifeldbedingungen ohne langverzögertes Rückwandecho vor

Was muss man tun?

Die Standardvorschläge für eine optimale Klassenraumgestaltung (unter Einschluss der barrierefreien Ausstattung für Hörgeschädigte) lassen sich in sechs prinzipielle Anforderungen zusammenfassen:

- Störgeräuschpegel im eigenen Raum so niedrig wie möglich

- Störgeräuschpegel von außen so niedrig wie möglich
- Nachhallzeit so kurz wie bautechnisch möglich
- keine Schallreflexionen von der Rückwand
- das Zwei-Sinne-Prinzip unterstützen, gute Sichtbeziehungen zur Tafel und Mitschülern und gute Beleuchtung, aber Blendungen vermeiden (das Auge hört mit).
- für hörgeschädigte Kinder (je nach Grad der Hörschädigung) Unterstützung mit Funk-Übertragung.

Standardräume erfordern Standardlösungen

Klassenräume neuerer Bauart haben in den alten Bundesländern häufig ein Volumen von ca. 200 m³. Größere Räume haben nicht etwa eine größere Grundfläche sondern oft eine unangemessen große Höhe, insbesondere bei Altbauten. DIN 18 041 gibt für Unterrichtsräume eine mittlere Nachhallzeit von $T_m = 0,55$ s vor. Für den Unterricht hörgeschädigter Schüler/innen empfiehlt die Norm eine Nachhallzeit von etwa $T_m = 0,45$ s. Dann beträgt die erforderliche äquivalente Absorptionsfläche $A_{\text{erf.}} = 70$ m².

Zur Schallabsorption und darüber hinaus auch zur ganz wesentlichen Störgeräuschvermeidung ist ein strapazierfähiger Teppichboden sinnvoll, z. B. Nadelfilz oder Kugeln. Die wesentlichen Schallabsorptionsflächen ergeben sich aber durch Maßnahmen an der Decke und an der Rückwand. Berechnungen mit α_w sind ausreichend, weil insbesondere der Sprachfrequenzbereich zwischen 250 Hz und 2 000 Hz berücksichtigt werden muss.

Für eine möglichst breitbandige Wirkung der Schallabsorber sind generell große Bautiefen notwendig, die an der Decke mindestens 150 bis 200 mm betragen. An der Rückwand wird häufig aus Platzgründen auf 80 bis 100 mm reduziert. Bei den abgehängten Decken sind die Sturzhöhen der Fenster zu beachten, wenn die Deckenplatten vollflächig angebracht werden sollen. Keine baulichen Komplikationen gibt es, wenn man die Decke freischwebend wie ein „Segel“ einhängt.

Man „verschenkt“ mit einer derartigen Bauweise aber die besonders wirksamen Randbereiche, die man auch gut als Tiefenabsorber nutzen kann. Bei den Hausmeistern und beim Reinigungspersonal ist der offene Rand wegen möglicher Schmutzablagerungen und wegen des Hinaufwerfens von Gegenständen nicht beliebt. Wenn deshalb eine vertikale Abschottung hergestellt werden müsste, kostet es weniger, die Decke an den Rändern bis an die Wände heranzuführen und Plattenzuschnitte in Kauf zu nehmen.

Anforderungen für die Materialauswahl

Nachfolgend sind die während der unterschiedlichsten Beratungsaufgaben diskutierten Anforderungen aufgeführt:

- hochgradige und breitbandige Schallabsorption
- gute Lichtreflexion
- optisch ansprechende Oberfläche
- hohe mechanische Stabilität
- Brandschutz-Klassifizierung mindestens B1
- Allergie, Hygiene und Reinigung
- Umweltverträglichkeit
- geringe Konstruktionshöhe
- gängige Rastermaße mit wenig Verschnitt

aber optimaler Ausnutzung der Flächen

- schnelle Verfügbarkeit
- handwerksübliche Konstruktionen
- schneller Einbau (gegebenenfalls auch in Eigenhilfe)
- günstiger Preis

Wirkung der Maßnahmen

Die durch diese Maßnahmen erzielbaren Verbesserungen sind „eigentlich“ allgemein bekannt, so dass man sich wundern muss, warum immer noch wieder Fehlschläge auftreten. Einige Effekte kommen aber in Klassenräumen so ausgeprägt vor, dass sie nachfolgend besonders erwähnt werden sollen.

Durch die Schallabsorptionsmaßnahmen verkürzt sich die Nachhallzeit. Dadurch werden sowohl die Diffusschallanteile des Nutzsignals als auch die Störgeräusche gedämpft. Der geringe Diffusschall des Nutzsignals führt zu einer besseren Sprachdeutlichkeit und die niedrigeren Störgeräusche animieren die Schüler/innen auch zu einem ruhigeren Verhalten.

Durch diesen noch weitgehend unbekanntem Effekt ist die eintretende L_{eq} -Minderung oft mehr als doppelt so groß wie rechnerisch nach $\Delta L = 10 \lg(T_1/T_2)$ zu erwarten wäre. Schallpegelmessungen vor und nach einer raumakustischen Klassenraumsanierung haben Verbesserungen bis zu 10 dB nachgewiesen. Dies ist durch einen „positiven Rückkoppelungseffekt“ zu begründen, weil man in einem ruhigeren Raum selbst auch leiser sprechen kann und dennoch gut verstanden wird.

Ausblick

Bei der raumakustischen Sanierung oder Neuplanung von Klassenräumen sind neben den akustischen Anforderungen zahlreiche weitere Aspekte zu beachten. Hier hat der Beratende Ingenieur einen Spagat auszuführen zwischen

- akustischen Anforderungen
- Zeitbedarf für Messungen, Auswertung, Berechnung, Begutachtung
- Zeitbedarf für Materialfestlegung, Ausschreibung, Angebot, Beauftragung, Materialbeschaffung, Montage
- Finanzierungsbedarf für den Gutachter und die Handwerker (2. Jahreshälfte = Haushaltssperre)
- optischem Gestaltungswillen des Gebäudeplaners
- Dauer der Sommerferien
- Geduld von Eltern und Lehrern

Literatur

Ruhe, Carsten: Kommunikationsräume - auch für Hörgeschädigte!, IVSS-Kongress, Wien, 2000

Ruhe, Carsten: Schulraumakustik aus der Sicht der Beratungspraxis, 9. Oldbg. Symp. zur Psychologischen Akustik

Ruhe, Carsten: Klassenraumgestaltung für die Integrative Beschulung schwerhörender Kinder, erscheint demnächst