

SPEKTRUM HÖREN

in Zusammenarbeit mit

DSB
Hören • Verstehen • Engagieren

Das Magazin für Schwerhörige. **Mittendrin im Leben!**

Keine Zauberei: Optimales Verstehen in der Schule

Einfache Maßnahmen -
große Wirkung

► Seite 8

Hörtagebuch ermöglicht höhere Kostenübernahme

Aktuelles Urteil zur
Hörsystemversorgung

► Seite 38

Unbeschwertes Urlaubsvergnügen

Barrierefrei den Sommer genießen
& weltweit mehr entdecken

► Seite 56

Das Wunder der optimierten Raumakustik



Anfang des Jahres ist die überarbeitete Raumakustik-Norm DIN 18041:2016-03 erschienen. In einer Grundschule wurde ein Klassenraum entsprechend akustisch nachgerüstet, um hörbeeinträchtigte Kinder integrativ zu beschulen. Vergleichende Schallmessungen des optimierten und eines unveränderten Klassenraumes zeigten, wie Barrierefreiheit, von der tatsächlich alle profitieren, erfolgreich umsetzbar ist. Ganz nebenbei lässt sich so auch der unerwünschte „Kneipen-Effekt“ verhindern. Carsten Ruhe, Ingenieur für technische Akustik, beschreibt hier einfache Maßnahmen, die einen „normalen“ Klassenraum in einen inklusiven verwandeln und was sie zusätzlich bewirken.

Bauliche Situation

Der nachgerüstete Klassenraum Nummer 23 hat eine Grundfläche von 58,6 m². Der danebenliegende Klassenraum 22 ist mit 55,8 m² geringfügig kleiner.

de der Klassenräume bestehen aus Ziegel-Sichtmauerwerk. Der Fußboden ist mit Nadelfilzteppich belegt. Das Pultdach hat sichtbare Holzbinder mit aufliegender Nut- und-Feder-Schalung.

Die gesamte zusätzlich eingebrachte schallabsorbierende Fläche beträgt 39,8 m².

Nachhallzeit im Wandel

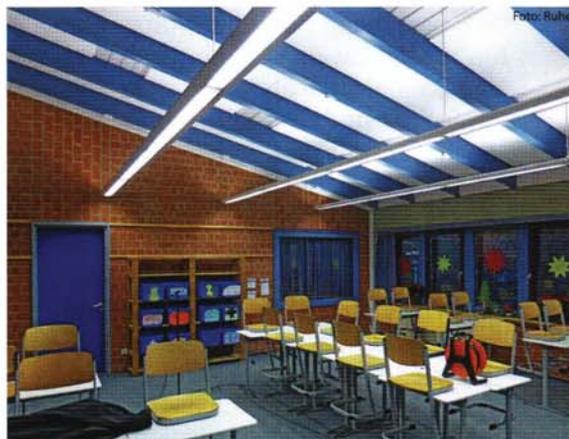
Im Klassenraum 23 wurden bei der Nachrüstung zwischen den Bindern 35,5 m² schallabsorbierende Deckenplatten aus 40 mm Schaumstoff angebracht. Weitere 4,3 m² befinden sich an der hohen Wandseite des Klassenraumes im Bereich zwischen Türsturz und Oberlichtern. Die Platten wurden direkt an die Holzschalung beziehungsweise an das Mauerwerk geklebt.

Das Schulgebäude wurde 1993 fertiggestellt. Damals galt DIN 18041: 1968-10 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“. Darin wurde für Räume bis 250 m³ eine mittlere Nachhallzeit (=Zeitintervall, innerhalb dessen der Schalldruck in einem Raum bei plötzlichem Verstummen der Schallquelle auf den tausendsten Teil seines Anfangswertes abfällt, was einer Abnahme des Schalldruckpegels von 60 Dezibel entspricht) von $T_{\text{soll}} = 0,7$ Sekunden (s) vorgeschlagen mit einem Toleranzbereich bei mittleren Frequenzen von ± 20 Prozent. Das entspricht einem Wertebereich zwischen 0,56 und 0,84 s.



Vergleichsklassenraum 22

Beide Räume befinden sich unter einem Pultdach. Dessen Höhe steigt von 3,1 auf 4,25 m. Entsprechend betragen die Raumvolumina 217 m³ beziehungsweise 207 m³. Die Wän-



Klassenraum 23 (nachgerüstet)

Seit der ersten Überarbeitung der Raumakustiknorm im Mai 2004 ist – bezogen auf die hier vorliegenden Raumvolumina von etwa 210 m³ – eine Nachhallzeit von $T_{\text{soll}} = 0,56$ s einzuhalten. Der zugehörige Toleranzbereich bei mittleren Frequenzen umfasst Werte von 0,45 bis 0,68 s.

In derselben Norm gab es bereits einen Abschnitt über die Anforderungen für eine integrative Nutzung. Diese sind in der jüngst erschienenen Neufassung von DIN 18041:2016-03 „Hörsamkeit in Räumen“ als Standardanforderung benannt, weil Neubauten zukünftig von vornherein inklusiv auszustat-

ten sind. Werden diese Werte für die hier durchgeführte Nachrüstung eines bestehenden Schulgebäudes zugrunde gelegt, so lautet die anzustrebende mittlere Nachhallzeit $T_{\text{soll}} = 0,46$ s mit einem Toleranzbereich bei mittleren Frequenzen von 0,36 bis 0,55 s. Für allgemeine Nachbesserungen bestehender Gebäude lässt diese Norm noch (in etwa) die Standardanforderungen der vorangegangenen Normfassung zu.

Im Vergleich finden sich in Tabelle 1 die Anforderungen für einen etwa 210 m³ umfassenden Klassenraum für den besetzten Zustand.

Die Nachhallzeiten wurden in den unbesetzten Räumen gemessen. Die ermittelten Nachhallzeiten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die Nachhallmesswerte sind nach DIN 18041:2016-03 auf den zu 80 Prozent besetzten Zustand umzurechnen, weil die Anforderungen der Norm für besetzte Räume gelten. In beiden Klassenräumen befanden sich jeweils 22 Stühle. Für die 80-Prozent-Berechnung wurde deshalb die zusätzliche Schallabsorptionsfläche von 18 Schülern der Primarstufe, an Tischen sitzend, angenommen. Die berechneten Nachhallzeiten zeigt Tabelle 3.

Die Messergebnisse (gestrichelte Linie) und die daraus berechneten Werte für den zu 80 Prozent besetzten Zustand (durchgezogene Linie) sind in den Diagrammen 1 und 2 auf der Folgeseite dargestellt. Zusätzlich sind jeweils die Toleranzbereiche für die inklusive Nutzung eingetragen. Sehr deutlich ist zu erkennen, dass beim Klassenraum 22 im unbesetzten und besetzten Zustand erhebliche Abweichungen zur Anforderung der aktuellen DIN-Norm vorliegen. Im Klassenraum 23 werden die Sollvorgaben zumindest für den Frequenzbereich von 500 bis 4000 Hertz (Hz) eingehalten. Bei den beiden unteren Oktaven liegt noch eine Überschreitung vor. Sie ist durch die direkte Verklebung der Schaumstoffplatten (ohne Luftabstand) begründet.

In Diagramm 3 und 4 auf der Folgeseite ist jeweils der Toleranzbereich der neuen Normfassung für eine Nachrüstung bestehender Gebäude (etwa entsprechend den Sollvorgaben der vorangegangenen Normfassung) eingezeichnet.

Der Vergleichsklassenraum 22 hält im besetzten Zustand den vorgegebenen Toleranzbereich nicht ganz ein. Dagegen liegen die Nachhallzeiten des nachgerüsteten Klassenraumes 23 zwischen 500 und 4000 Hz an der unteren Toleranzbereichsgrenze, also sehr günstig,

Norm-Fassung	Anforderung	Toleranzbereich
DIN 18041:1968-10	$T_{\text{soll}} = 0,70$ s	0,56 s bis 0,84 s
DIN 18041:2004-05	$T_{\text{soll}} = 0,56$ s	0,45 s bis 0,68 s
DIN 18041:2016-03	$T_{\text{soll}} = 0,46$ s	0,36 s bis 0,55 s

Tabelle 1

Tabeller: Ruhe

Raumbezeichnung	Klassenraum 22 (Vergleichsraum)	Klassenraum 23 (nachgerüstet)
Raumvolumen	207 m ³	217 m ³
Frequenz	Nachhallzeit	Nachhallzeit
125 Hz	0,74 s	0,73 s
250 Hz	0,80 s	0,65 s
500 Hz	0,77 s	0,50 s
1 000 Hz	0,73 s	0,47 s
2 000 Hz	0,67 s	0,47 s
4 000 Hz	0,54 s	0,46 s
mittlere Nachhallzeit unbesetzt	$T_{20, \text{mittel}} = 0,71$ s	$T_{20, \text{mittel}} = 0,55$ s

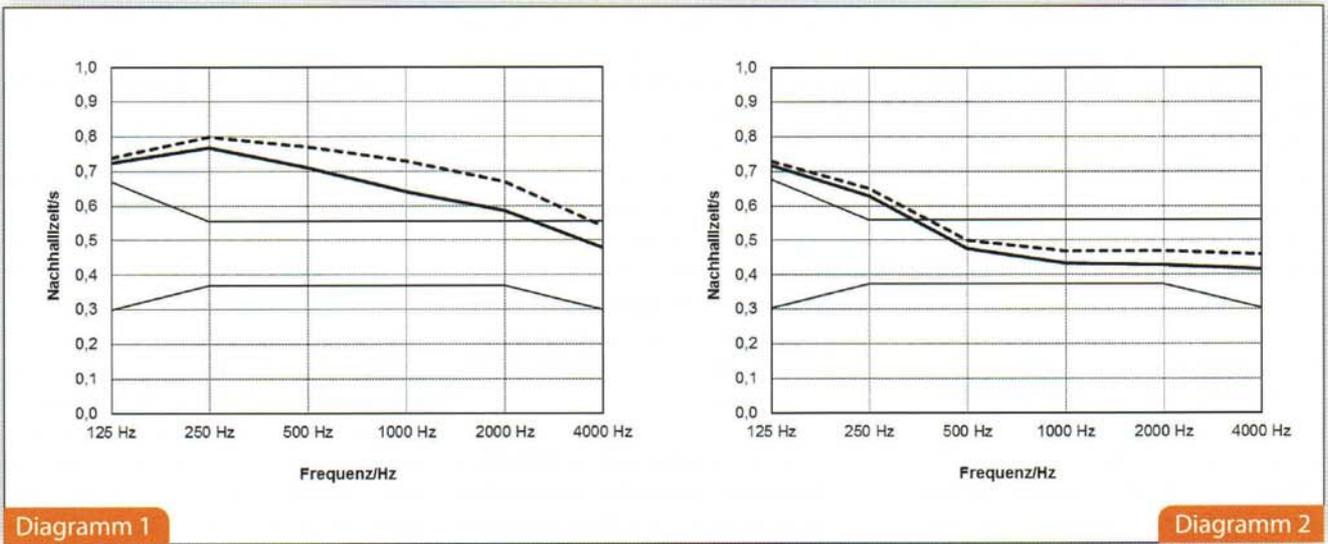
Tabelle 2

Tabeller: Ruhe

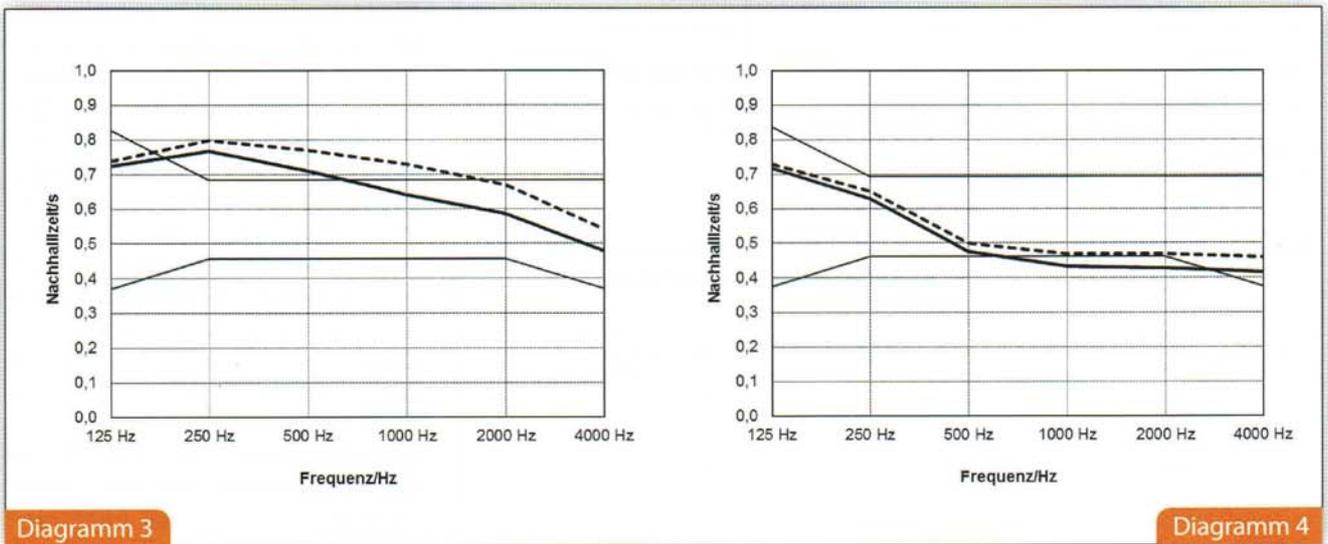
Raumbezeichnung	Klassenraum 22 (Vergleichsraum)	Klassenraum 23 (nachgerüstet)
Raumvolumen	207 m ³	217 m ³
Frequenz	Nachhallzeit	Nachhallzeit
125 Hz	0,73 s	0,72 s
250 Hz	0,77 s	0,63 s
500 Hz	0,71 s	0,48 s
1 000 Hz	0,64 s	0,43 s
2 000 Hz	0,59 s	0,43 s
4 000 Hz	0,48 s	0,42 s
Nachhallzeit bei 80 Prozent besetzt	$T_{\text{besetzt}} = 0,65$ s	$T_{\text{besetzt}} = 0,51$ s

Tabelle 3

Tabeller: Ruhe



Links die Werte für Vergleichsklassenraum 22, rechts für Klassenraum 23 (nachgerüstet) sowie der Toleranzbereich nach früherer Norm für die inklusive Nutzung



Links Vergleichsklassenraum 22 und rechts Klassenraum 23 (nachgerüstet) sowie Toleranzbereich für Nachrüstung gemäß aktueller Norm

und die beiden unteren Werte von 125 und 250 Hz liegen gut im Toleranzfeld.

Sprachverständlichkeit

Zusätzlich zur Nachhallzeit benennt die neue Norm als weiteres objektives raumakustisches Kriterium zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit den Speech-Transmission-Index STI. Die Sprachverständlichkeit wird nicht nur durch Nachhall und Störgeräusche, sondern allgemein durch alle fremden Signale beziehungsweise Signal-

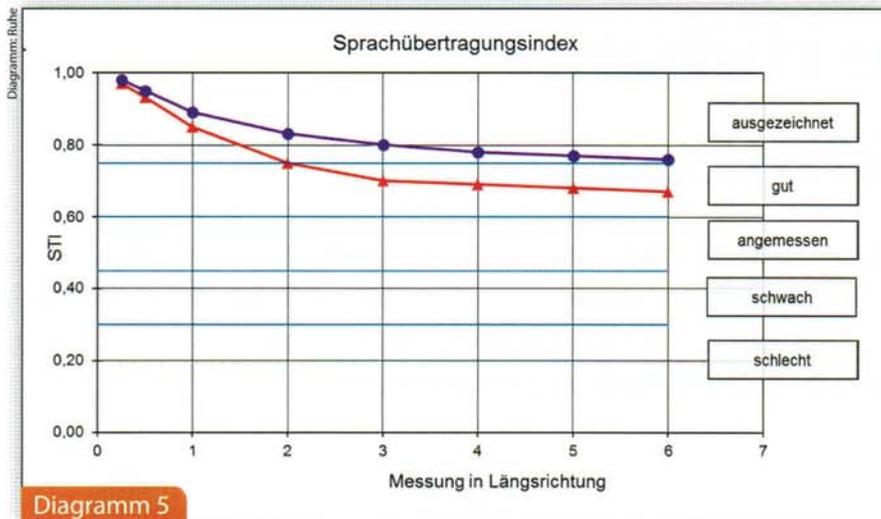
veränderungen herabgesetzt, die auf dem Weg zwischen Quelle und Hörerplatz auftreten. DIN EN 60268-16:2004 enthielt folgende Einstufung der STI-Werte:

STI	Sprachverständlichkeit
1,00 bis 0,75	ausgezeichnet
0,75 bis 0,60	gut
0,60 bis 0,45	befriedigend
0,45 bis 0,30	schlecht
0,30 bis 0,00	ungenügend

Tabelle 4

Tabell: Ruhe

Bei der STI-Messung wird erfasst, wie stark sich die Signalmodulation zwischen dem Ort der Schallquelle und dem Hörer verringert. Ein Messlautsprecher, der etwa die Richtwirkung des menschlichen Mundes hat, wurde vor der Tafel in etwa in Mundhöhe eines Sprechers aufgestellt. Die Apparatur ist so kalibriert, dass sie in 1,0 m Abstand im Freifeld einen Schalldruckpegel von 60 Dezibel (dB) erzeugt. Das entspricht „normaler“ Sprechlautstärke. An den jeweiligen Messpunkten war das Messmikrofon auf Ohrhöhe der Schüler aufgestellt.



Sprachübertragungsindex abhängig von der Entfernung von der Tafel für Vergleichsklassenraum 22 (rote Linie) und nachgerüsteten Klassenraum 23 (lila Linie)

In beiden Klassenräumen wurde der STI bei Schallausbreitung von der Tafel in Richtung zu den Schülersitzplätzen in verschiedenen Entfernungen gemessen. Die im unbesetzten Zustand ermittelten Werte zeigt das obige Diagramm 5.

Nach aktueller Raumakustiknorm soll der Sprachübertragungsindex in Räumen, in denen eine gute Sprachverständlichkeit benötigt wird, nicht kleiner als $STI = 0,6$ sein (Beurteilung „gut“). Das wird vom Vergleichsklassenraum 22 (rote Kurve) bei allen untersuchten Abständen erfüllt. Im nachgerüsteten Klassenraum 23 (lila Kurve) liegt bei allen untersuchten Abständen sogar $STI > 0,75$ vor. Damit ist eine „ausgezeichnete“ Sprachverständlichkeit vorhanden. Das ist dadurch begründet, dass bei der kürzeren Nachhallzeit weniger diffuse Schallreflexionen an den Zuhörerplätzen ankommen und das direkte Schallsignal verfälschen als beim Vergleichsklassenraum.

Schallausbreitung

Parallel zu den Sprachverständlichkeitsmessungen wurde auch die Schallausbreitung erfasst. Es zeigte sich, dass die Schallpegelabnahme vom Lehrerstandort an der Tafel zu den hinteren Schülersitzplätzen

im Vergleichsklassenraum 22 um zwei Dezibel geringer war als im nachgerüsteten Klassenraum 23. Häufig wird vermutet, dass deshalb in dem Vergleichsklassenraum mit längerer Nachhallzeit die Sprachverständlichkeit besser sein müsse, weil dort ein höherer Schallpegel zu den Zuhörerplätzen gelangt, als in dem stärker gedämpften nachgerüsteten Klassenraum. Das Gegenteil ist aber richtig: Der Gesamtschallpegel bei einem bestimmten Abstand ist nämlich die Summe aus dem direkten Schallanteil, welcher ausschließlich abstandsabhängig ist, und dem diffusen, durch den Nachhall des Raumes bewirkten, Schallanteil, welcher in einem halligen Raum höher ist als in einem gedämpften. Somit liegen in dem lauterem Vergleichsklassenraum mehr diffuse (störende) Schallreflexionen vor als in den nachgerüsteten Klassenraum. In letzterem ist die Sprachverständlichkeit (trotz des um zwei Dezibel niedrigeren Schallpegels) günstiger.

Wunderbarer Effekt

In diesem Zusammenhang ist noch auf eine in den vergangenen Jahren häufige Beobachtung hinzuweisen: In stärker gedämpften Räumen verhalten sich die Nutzer – wegen des dort geringeren diffusen Stör-

geräuschpegels – selbst leiser. Das macht den Störgeräuschpegel wiederum leiser. Diese unbewusste mehrfache Rückkoppelung, der sogenannte „Lombard-Effekt“, führt dazu, dass in gedämpften Räumen der Störgeräuschpegel erheblich niedriger ist (häufig zwischen acht und zwölf Dezibel), während der Nutzsignalpegel nur wenig abnimmt (im vorliegenden Fall um zwei Dezibel). Insgesamt verbessert sich auf diese Weise in stärker gedämpften Räumen das Nutzsignal-Störgeräusch-Verhältnis gegenüber halligen Räumen um sechs bis zehn Dezibel. Der Raum wird insgesamt leiser und die Sprachverständlichkeit nimmt zu. Beides verringert die Gehörbelastung der Pädagogen und wirkt sich positiv auf Unterricht und Lernerfolg der Schüler aus. Längerfristig ist damit auch weniger Stress, Lärmschwerhörigkeit und Tinnitus verbunden.

Die gegenteilige Situation ist als „Kneipen-Effekt“ allgemein bekannt: In einer lauten Umgebung erhebt man selbst auch seine Stimme und ist dennoch kaum verständlich. Der Raum wird dadurch noch lauter und die Sprachverständlichkeit nimmt weiter ab. Diesem Effekt wird mit Schallabsorption zur Verringerung der Nachhallzeit und damit des Diffusfeldschallpegels hervorragend entgegengewirkt.

Mit einer raumakustischen Zusatzausstattung wird aus einem „passablen“ Klassenraum ein barrierefreier im Sinne von § 4 Behindertengleichstellungsgesetz, denn: Eine gute Raumakustik hilft „allen Menschen in der allgemein üblichen Weise ohne jede Erschwernis und vollständig ohne fremde Hilfe“ (und ohne technische Geräte). (K) Ein Wunder!

Carsten Ruhe
Beratungsbüro für Akustik
hörgerecht planen und bauen

Danksagung: Der Autor dankt der Firma Lahnu Akustik GmbH für die Finanzierung des Messaufwandes.