

# Manches Beschallungssystem bleibt besser ausgeschaltet

Die Zusammenführung der Hamburger Schwerhörigen- und der Gehörlosenschule an einem neuen Standort zum Bildungszentrum Hören und Kommunikation (BZHK, jetzt Elbschule) bot die Gelegenheit, durch umfangreiche Tests das optimale Beschallungssystem zu finden. Insgesamt drei Freifeldbeschallungsanlagen konnten durch ein spezialisiertes Ingenieurbüro untersucht werden. Die Federführung hatte Diplom-Ingenieur Carsten Ruhe, der auch das Referat „Barrierefreies Planen und Bauen“ vom Deutschen Schwerhörigenbund e. V. (DSB) leitet. Die Test-Ergebnisse überraschten sogar den Experten.

Für die Untersuchung wurde in einem Klassenraum probeweise eine Freifeldbeschallungsanlage (auch Soundfieldanlage genannt) von der Firma reSEARch installiert. Daneben standen zum Vergleich zwei Anlagen des Herstellers PhonicEar (FrontRow pro digital, FrontRow to go) kurzfristig zur Verfügung, weshalb diese beiden Anlagen nur provisorisch im selben Klassenraum eingebaut und aufgestellt werden konnten. Ziel des Tests war es, die Vorteile und Unterschiede der verschiedenen Systeme aufzuzeigen.

Abbildung 1 zeigt eine Skizze des getesteten Klassenraumes. Dieser ist fast quadratisch und hat eine recht kleine Grundfläche von 54 m<sup>2</sup> sowie ein Volumen von 147 m<sup>3</sup>.

Die überprüften Anlagen sind nachfolgend in der aus messpraktischen Gründen gewählten Reihenfolge aufgeführt, nicht in der Reihenfolge der Montage.

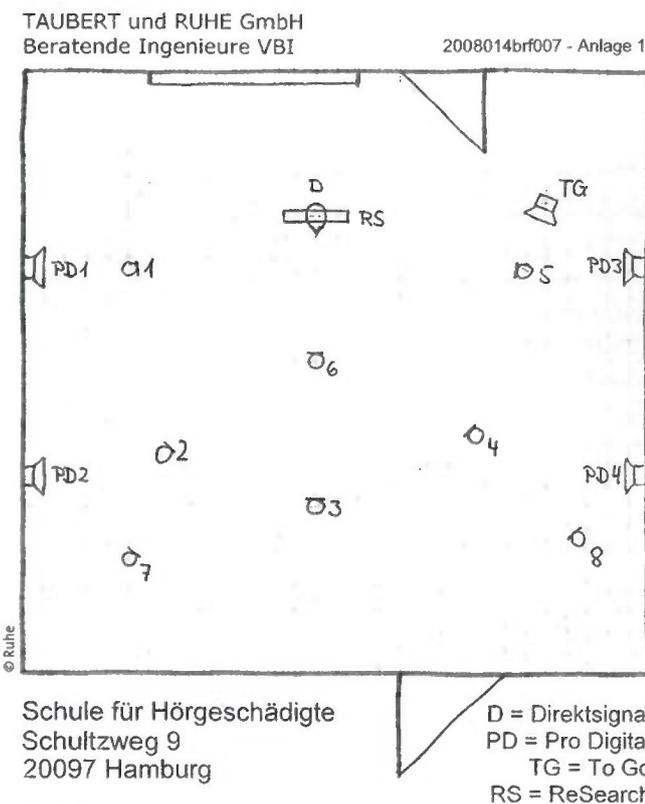


Abbildung 1:  
Der untersuchte Klassenraum mit den acht Messpunkten.



Die PhonicEar-Anlage, Typ FrontRow pro digital, besteht aus einem vom Lehrer zu tragenden Umhängemikrofon mit Infrarotsender und mehreren im Raum verteilten Infrarot-Empfängern. Die von diesen Empfängern aufgenommenen Sprachsignale werden verstärkt und an vier unterhalb der Decke im Raum verteilte (im vorliegenden Fall an den beiden Längswänden paarweise angebrachte) kleine Lautsprecherboxen geleitet. Diese Boxen haben eine sehr geringe Bündelungswirkung, sodass prinzipiell ein sehr gleichmäßiges Schallfeld entstehen soll.

Die PhonicEar-Anlage, Typ FrontRow to go, besteht aus einem Headset-Mikrofon mit Taschensender und einer kleinen Lautsprechersäule mit nach Herstellerangaben lediglich zwei Breitbandsystemen und einer integrierten Empfänger-Verstärker-Einheit. Di-

ese Anlage wurde auf dem Lehrerpult aufgestellt. Zusätzlich zu dem Lehrer-Headset kann ein weiteres Funkmikrofon mit Handsender auf einer zweiten Frequenz betrieben werden, dass für Wortmeldungen der Schüler herumgereicht wird.

Die bereits im Raum installierte reSEARch-Anlage besteht ebenfalls aus einem Headset-Mikrofon mit Taschensender und einem weiteren Mikrofon mit Handsender. Die zugehörigen Empfänger und ein Mischverstärker sind in einem Flightcase (kompakter, stabiler Koffer zum sicheren Transport) zusammengefasst. Von dort aus wird eine einzelne an der Decke montierte Lautsprecher-  
einheit mit vier Breitbandlautsprechern und einem mittleren Hochtonlautsprecher

angesteuert. Üblicherweise soll dieser Lautsprecher als „Säule“ (also senkrecht) montiert werden. Im vorliegenden Fall ist er wegen der geringen Deckenhöhe aber als „Zeile“ (also waagrecht) angebracht.

### Achtung, Messung!

Die Schallmessungen fanden von 13 bis 17 Uhr statt, nachdem die Kinder den Raum kurz vorher verlassen hatten; er war deshalb für die Messungen nicht „geschönt“.

Der Messlautsprecher bildet aufgrund seiner Gehäuseform den Mund und Kopf eines Sprechers und dessen Richtwirkung nach. Er wurde an einer festen Position am Lehrerstehpult auf einem Stativ in Kopfhöhe in etwa 1,50 m Höhe aufgestellt. Dies entspricht in etwa der Mundhöhe eines Sprechers. Vor Beginn der Messungen wurde der Messlautsprecher mit allen drei Funkmikrofonen der getesteten Beschallungsanlagen ausgestattet (Bild rechts).

Der Messlautsprecher strahlte stationäres Breitbandrauschen ab. Die Schallpegel wurden von jeweils einem Messmikrofon in verschiedenen Abständen vom Messlautsprecher zu acht exemplarisch ausgewählten Zuhörerpositionen im Raum (Messpunkten) ermittelt.



Für die Messung der Schallpegelverteilung im Raum wurde der Messlautsprecher so eingestellt, dass in einem Meter Abstand sowie in 1,50 m Höhe vor dem Lautsprecher ein Schalldruckpegel von 63 dB(A) besteht. Die Aufnahme der Schallpegel erfolgte mit einem Mikrofon, das auf einem Stativ in Ohrhöhe sitzender Zuhörer, also in etwa auf 1,20 m Höhe, aufgestellt war. Für die Sprachverständlichkeitsmessungen wurde von demselben Messlautsprecher ein spezielles Rauschsignal abgestrahlt und der Sprachübertragungsindex STI (Speech Transmission Index) von je einem Messmikrofon an den acht Zuhörerpositionen ausgewertet.

Auch die Nachhallzeiten (Maß der Halligkeit eines Raumes; abhängig von verwendeten Materialien, Einrichtung, Raumvolumen) wurden aus den Messergebnissen berechnet.

### Ergebnisse: Mehr Schein als Sein

Die Messungen erfolgten zunächst bei ausgeschalteten Freifeldbeschallungsanlagen und mit Schallabstrahlung durch den Messlautsprecher allein. Alle Messungen erfolgten an acht Empfangsorten: vom Stehpult aus gesehen ganz rechts, halbrechts, mittig, halblinks und ganz links sowie mittig vor dem Lehrerpult in 1,40 m Abstand und in einer rechten sowie linken hinteren Raumposition. Mit den drei letzteren Messpunkten sollte versucht werden, nicht nur die für eine Hörgeschädigtenschule typischen Schüler-

positionen nachzubilden, sondern auch weitere, die in üblichen Klassenräumen vorkommen können.

Als Referenzwert für die Lautstärkeinstellung der Beschallungsanlagen diene der Messpunkt drei, mittig vor dem Lehrerpult in etwa 4,50 m Abstand. Die Beschallungsanlagen wurden so eingeregelt, dass sie an diesem Punkt einen um etwa fünf Dezibel höheren Schallpegel erzeugten als das Signal des Messlautsprechers allein.

Die Werte der aufgenommenen Gesamtpegel in dB(A) sind in Tabelle 1 aufgeführt. Für die vier Messsituationen (natürliche Beschallung sowie die drei Beschallungsanlagen) sind jeweils zwei Spalten vorhanden. Die erste Spalte zeigt immer den Gesamtschallpegel in dB(A) an, die zweite Spalte das Maß der Sprachverständlichkeit (STI). Für die Beurteilung der Ergebnisse sind die besten STI-Werte farblich hinterlegt.

Zusätzlich wurde auch die Anfangsnachhallzeit ermittelt. In Tabelle 2 sind diese Werte in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt.

Die Anforderung an die einzuhaltende Nachhallzeit in dem geprüften Klassenraum lautet nach DIN 18041 für den Unterricht guthörender Kinder  $T_{\text{soll}} = 0,52$  s. Für den Unterricht hörbeeinträchtigter Kinder soll eine um 20 Prozent kürzere Nachhallzeit von lediglich  $T_{\text{soll}} = 0,42$  s eingehalten werden. Weil teilweise auch Wandflächen schallabsorbierend verkleidet sind, wird diese Nachhallzeit im vorliegenden Fall günstigerweise sogar noch deutlich unterschritten.

An allen Plätzen soll ein möglichst hoher Direkt-schallanteil und ein möglichst geringer Anteil diffuser Schalleinwirkungen (nach einer oder mehrfachen Reflexionen an den Raumbegrenzungsflächen) erreicht werden. Dies ist einer von mehreren Gründen,

Tabelle 1: Die Ergebnisse der Schalldruckpegel-Messungen sowie die STI-Werte als Maß der Sprachverständlichkeit für die vier Prüfsituationen. Die höchsten STI-Werte für jede Beschallungssituation sind orange hinterlegt. Gleichzeitig wurde in diesem Fall jeweils auch immer der höchste Gesamtschallpegel gemessen. Hellorange hinterlegt sind die Messpunkte, bei denen der jeweils zweithöchste STI-Wert ermittelt wurde. Im Vergleich mit der natürlichen Beschallung ergibt sich nicht für jeden Messpunkt eine Verbesserung, sondern zum Teil sogar eine Verschlechterung durch Verwendung von Freifeldbeschallungsanlagen – diese Werte sind rot dargestellt. Gleiche Werte wie bei der natürlichen Beschallung sind blau dargestellt.

Messpunkt (vom Stehpult aus gesehen)	natürliche Beschallung		FrontRow pro digital		FrontRow to go		resEARch	
	dB(A)	STI	dB(A)	STI	dB(A)	STI	dB(A)	STI
1 = ganz rechts	54,7	0,76	63,5	0,78	62,1	0,77	60,9	0,80
2 = halbrechts	55,4	0,79	64,3	0,79	62,4	0,79	60,3	0,79
3 = mittig	56,7	0,82	64,3	0,78	62,9	0,81	62,7	0,87
4 = halblinks	56,1	0,80	63,2	0,78	65,6	0,80	59,1	0,80
5 = ganz links	55,7	0,74	63,4	0,78	70,4*	0,92*	59,3	0,78
6 = mittig in 1,40 m Abstand	59,5	0,84	64,2	0,77	65,3	0,81	64,4	0,87
7 = rechts hinten	54,3	0,76	64,4	0,79	62,1	0,79	58,5	0,80
8 = links hinten	55,2	0,76	62,7	0,77	62,2	0,80	59,4	0,80
<b>Mittelwert</b>	<b>55,95</b>	<b>0,78</b>	<b>63,75</b>	<b>0,78</b>	<b>63,23</b>	<b>0,80</b>	<b>60,58</b>	<b>0,82</b>

\* bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt wegen unrealistisch praxisfremden geringen Abstandes von nur 1,40 m zwischen dem Lautsprecher und dem nächsten Schülerplatz für Regelschulen

© Ruhe

Tabelle 2

Frequenz (Tonhöhe) in Hertz (Hz)*	125	250	500	1000	2000	4000
Nachhallzeit in Sekunden (s)	0,43	0,34	0,34	0,31	0,31	0,29
mittlere Nachhallzeit in s	0,34					

\* Je größer die Hertz-Werte sind, desto höher ist der Ton.

© Ruhe

warum in Schulen für Hörgeschädigte die Kinder mit geringen Abständen im Halbkreis um den Lehrertisch herum sitzen.

Zur Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Schallverteilung erfolgten die Schallpegelmessungen wie beschrieben an insgesamt acht verschiedenen Zuhörerplätzen. Das Messmikrofon kann dabei aber nicht unterscheiden, ob es Direktschall von der Schallquelle oder diffusen Schall aus dem Raum aufnimmt, sondern es misst lediglich den Gesamtschalldruckpegel als Überlagerung beider Schallanteile.

Eine Aussage über das Verhältnis zwischen direktem und diffusem Schall ermöglicht dagegen die Messung des Sprachübertragungsindex STI. Die Sprachverständlichkeit wird nicht nur durch Nachhall und Störgeräusche, sondern allgemein durch alle fremden Signale bzw. Signalveränderungen, die auf dem Weg zwischen Quelle und Hörerplatz auftreten, herabgesetzt. Im Allgemeinen wird folgende qualitative Einstufung der STI-Werte vorgenommen:

- STI = 1,00 bis 0,75: Sprachverständlichkeit ausgezeichnet
- STI = 0,75 bis 0,60: Sprachverständlichkeit gut
- STI = 0,60 bis 0,45: Sprachverständlichkeit befriedigend
- STI = 0,45 bis 0,30: Sprachverständlichkeit schlecht
- STI = 0,30 bis 0,00: Sprachverständlichkeit sehr schlecht

Der STI sollte im Regelfall in Räumen für Sprachdarbietungen größer sein als 0,6. In DIN 18041 wird  $STI \geq 0,56$  gefordert. Änderungen des STI von 0,03 werden vom Ohr gerade wahrgenommen.

Der diffuse Schallanteil ist überall im Raum etwa gleich hoch. Bei Annäherung an eine Schallquelle steigt der Schallpegel an. Deshalb ist nahe am Lautsprecher der Direktschall im Verhältnis zum diffusen Schall sehr hoch, aber bei großen Abständen ist der Direktschall unter Umständen leiser als der diffuse Schall.

Wenn man den Gesamtschallpegel im Raum durch Anheben der Verstärkung vergrößert, nimmt nicht automatisch auch der STI zu. Gelegentlich ist sogar das Gegenteil der Fall. Mit einer größeren Verstärkung regt man nämlich auch in gleichem Maß den diffusen Schall mit an.

Wie zu erwarten, zeigt die erste Messung ohne Beschallungsanlage allein mit dem Messlautsprecher eine gewisse Pegelanhebung nach vorne an den Mess-

punkten drei und sechs sowie einen leichten Abfall zu den Seiten.

Deutlich gleichmäßiger stellt sich die Situation bei zusätzlicher Verwendung der FrontRow pro digital dar. In diesem Fall waren insgesamt fünf Lautsprecher in Betrieb, nämlich der Messlautsprecher als Sprechernachbildung und vier an der Decke angebrachte Lautsprecher. Damit ergab sich eine sehr gleichmäßige Pegelverteilung, wie sie üblicherweise dann vorliegt, wenn der diffuse Schallanteil groß, der Direktschallanteil aber gering ist.

Eine völlig andere Situation ergab sich bei Verwendung der Anlage FrontRow to go. Hier lagen die höchsten Schallpegel in unmittelbarer Nähe der Lautsprecherbox am Messpunkt fünf vor. Sie waren noch lauter als die vom Sprecher ausgesandten Schallpegel. Nach den obigen Überlegungen ist zu erwarten, dass es einige Plätze in unmittelbarer Nachbarschaft der Lautsprecherbox geben wird, bei denen ein hoher bis sehr hoher STI erreicht werden wird, dass es aber auch andere Plätze gibt, an denen sich der direkte Schall vom Sprecher und der diffuse Schall vom Lautsprecher überlagern und an denen der Direktschall im Verhältnis zum diffusen Schall sehr gering ist. An solchen Punkten kann prinzipiell sogar eine Verschlechterung des STI gegenüber der unverstärkten Sprache eintreten.

Die Schallpegelverteilung für den Lautsprecher der resEARch-Anlage ist aufgrund der aus baupraktischen Gründen erfolgten falschen Anordnung des Lautsprechers sehr unausgeglichen, wobei die seitlichen Plätze sehr ausgeglichen beschallt wurden. An den Messpunkten drei und sechs liegen sehr hohe Schallpegel vor. Sie fallen zu den Seiten hin deutlich ab. Würde man den Lautsprecher nicht als „Zeile“, sondern wie eigentlich vorgesehen als „Säule“ anbringen, so wäre eine wesentlich gleichmäßigere Direktschallverteilung zu erwarten.

Extrem ungünstig ist die Anlage FrontRow pro digital, die an den Plätzen eins und fünf (vorne links und vorne rechts) sowie sieben und acht (hinten links und hinten rechts) sehr starke tieffrequente Schallpegel erzeugt, während die hohen Frequenzen abnehmen. Dies ist für eine gute Sprachverständlichkeit deutlich zu basslastig.

Aufgrund der sehr kurzen Nachhallzeit von nur  $T_m = 0,34$  s in dem überprüften Klassenraum war auch ohne elektroakustische Unterstützung allein durch den Sprecher ein günstig hoher Sprachübertragungsindex STI zu erwarten. Tatsächlich ist dies

mit Werten zwischen 0,74 und 0,84 auch der Fall. Alle Mess-Ergebnisse sind als „ausgezeichnet“ einzustufen. Aus diesem Grunde war von vornherein anzunehmen, dass durch die zusätzlichen Freifeldbeschallungsanlagen keine wesentliche Verbesserung mehr erreicht werden kann. Die Wirkung könnte daher in ungünstigeren Klassenräumen, die größer und/oder halliger sind, möglicherweise noch deutlicher ausfallen.

Besonders auffällig ist die negative Wirkung einer ungünstigen Lautsprecheranordnung auf die Sprachverständlichkeit bei der Anlage FrontRow pro digital. Im räumlichen Mittel führt diese Anlage zu keiner Verbesserung des STI. Als Mittelwert bleibt er bei 0,78 – wie in der natürlichen Beschallungssituation.

Etwas günstiger ist die Situation bei Verwendung der FrontRow to go. Bei der Mittelung steigt der STI von 0,78 auf 0,80, also um 0,02, obwohl der mittlere Schallpegel im Raum sogar etwas geringer ist als bei der FrontRow pro digital-Anlage. Auch dies ist ein Hinweis darauf, dass nicht der Gesamtschallpegel am Hörerplatz für die Sprachverständlichkeit wichtig ist, sondern nur der Pegel des Direktschallanteils.

Noch auffälliger ist die Situation bei der reSEARCh-Anlage. Hier liegt der mittlere Schallpegel um nochmals drei Dezibel niedriger. Dennoch steigt der STI um weitere 0,02 auf 0,82. Durch die starke Bündelung des hier verwendeten Lautsprechers wird im Verhältnis zum Direktschall deutlich weniger diffuser Schall angeregt als bei den beiden anderen Anlagen und insgesamt kann der Unterricht leiser ablaufen. In diesem Zusammenhang ist interessant, dass die Anlage im vorgefundenen Zustand sogar noch leiser eingestellt war. Sie wurde für eine bessere Vergleichbarkeit der Mess-Ergebnisse untereinander auf denselben Wert eingeregelt und somit lauter gestellt als standardmäßig im Schulbetrieb üblich.

### Einsatz-Tipps

Die Anlagen konnten im vorliegenden Fall – aufgrund der ohnehin sehr guten Mess-Ergebnisse auch ohne eine elektroakustische Unterstützung – nicht zeigen, was möglicherweise „in ihnen steckt“. Die Messungen müssten daher eigentlich in normal großen Klassenräumen sowohl mit günstiger als auch mit ungünstiger raumakustischer Situation nochmals ausgeführt werden. Die Messungen erfolgten zudem bereits Ende 2008. Inzwischen sind schon einige Jahre vergangen, ohne dass die Firmen Interesse gezeigt hätten, diese Zusammenhänge weiter zu untersuchen.

Wenn man unbedingt Freifeldbeschallungsanlagen in Klassenräume einbauen will, dann müssen folgende Voraussetzungen erfüllt und Randbedingungen bedacht werden:

1. Der Klassenraum muss eine möglichst kurze Nachhallzeit aufweisen ( $T_m < 0,5$  s).
2. Die Freifeldbeschallungsanlage darf nur einen einzigen Lautsprecher haben, weil mit mehreren Lautsprechern lediglich der diffuse Schall erhöht wird, nicht aber der Direktschall.
3. Dieser eine Lautsprecher muss als Säule (also fast senkrecht) angebracht werden und nicht als Zeile (also nicht horizontal).
4. Der Lautsprecher muss eine leichte Neigung haben, um die Zuhörer-Ebene der Schüler mit Direktschall zu versorgen.
5. Damit bei den Schülern viel Direktschall und nur wenig diffuser Schall ankommt, dürfen deren Sitzabstände zum Lautsprecher nicht zu groß sein.
6. Günstig ist deshalb eine Anbringung kurz vor dem Lehrer-Standort vor der Tafel in Richtung zu den Schülern und deren halbkreisförmige Anordnung um diese Lehrer- und Lautsprecher-Position.
7. Die Übertragung von den Lehrer- und Schüler-Mikrofonen zum Verstärker muss über Funk erfolgen und (wegen der Störanfälligkeit und Abschattungen) nicht über Infrarot.
8. Wenn mehrere Anlagen in einer Schule eingesetzt werden sollen, dann muss ein Frequenz-Verteilungsplan erstellt werden. Die dafür zulässigen Frequenzen werden von der Bundesnetzagentur nach der sogenannten Frequenzbereichszuweisungsplanverordnung verteilt.

Es gilt also: Zunächst eine kurze Nachhallzeit für die Klassenräume schaffen ( $T_m < 0,5$  s) und erst anschließend eine Freifeldbeschallungsanlage installieren. (Aber meistens kommt man bei einer kurzen Nachhallzeit schon ohne Beschallungsanlage gut zurecht.)

Carsten Ruhe

*Nicht berücksichtigt werden konnte bei diesen Messungen die digitale Freifeldbeschallungsanlage Dynamic SoundField von Phonak, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht erhältlich war. Zwar liegen zu dieser Anlage keine vergleichbaren Messungen vor, auf den Folgeseiten können Sie darüber jedoch Ergebnisse einer Studie in besetzten Klassenräumen lesen.*