Akustik:

Entscheidende Faktoren für die Hörsamkeit eines Raumes...

...sind der direkte Schall, die frühe Reflexion, der Nachhall - sowie in besonderem Maße die Flatterechos.

Die Lösung für das Problem...

ist so naheliegend wie einfach: das Entstehen der Laufzeitdifferenz-Echos in den Ecken muss verhindert werden. Das genau macht der Akustik-Optimierer EWA. Er absorbiert den in den Ecken eintreffenden Schall und verhindert äußerst effizient, dass die Schallwellen verzerrt zum Sprecher und zu den Hörer reflektiert werden. Der Lautstärke-Abstand zwischen Nutzsignal (Sprache) und Störsignal (diffuser Lärm) wird vergrößert. Die Sprache wird sauber und klar im ganzen Raum verstanden, ganz egal, von welchem Punkt im Raum aus vorgetragen wird.

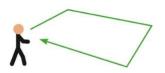




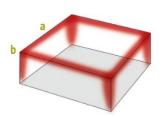
Der **Direktschall** transportiert den Grundton der Stimme und die tieffrequenten Vokale gut in den Raum hinein, nicht aber die höher frequenten, tonlosen Konsonanten (f, h, s, th), die für die Sprache wichtig sind.



Die sogenannte **kurze Reflexion** an der Decke liefert die notwendige Verstärkung der hohen und mittleren Frequenzen (Konsonanten). Sie trifft innerhalb von 2 – 4 Millisekunden nach der direkten Schallwelle am Hörplatz ein. Da unser Gehör diese minimale Verzögerung nicht wahrnehmen kann, summieren sich Direktschall und Reflexion, was die Sprachverständlichkeit deutlich erhöht und im Klassenraum notwendig ist.

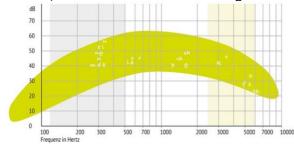


Der **Nachhall** ist die Summe mehrfach reflektierter Schallwellen und wird – wegen der größeren zeitlichen Verzögerung – als eigenständiges Schallereignis wahrgenommen. Ein reiner Nachhall beeinträchtigt nicht unbedingt die Sprachverständlichkeit. Große Konzerträume und Kirchen haben einen deutlichen Nachhall und können das Hörerlebnis verstärken.

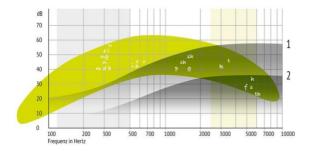


Das **Flatterecho** ist eine periodische Folge eines Echos: Der Schall wird über zwei oder mehr stark reflektierende Flächen zum Ursprungsort zurückgeführt. Das können parallele Flächen (gegenüberliegende Wände) sein oder insbesondere die Raumkanten und -ecken. Dort entsteht eine Störkulisse, die die Sprachverständlichkeit in besonderem Maße beeinträchtigt – und häufig auch als unangenehm bis schmerzhaft empfunden wird. Der Lärmpegel schaukelt sich auf, die Hörer schalten ab, die Vortragenden werden gestresst. Im rechteckigen Raum bauen sich zweidimensionale Flatterechos in den oberen Kanten (a), dreidimensionale in den oberen Ecken (b) auf. In den unteren Kanten und Ecken verhindern Möbel und Personen in der Regel diesen Effekt.

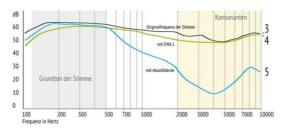




Die sogenannte "Sprachbanane" zeigt den Frequenzbereich, in dem Sprache stattfindet. Man erkennt, dass die tonlosen Konsonanten f, s, h und th sich nur zwischen 20 und 35 dB bewegen. Diese Laute brauchen die Unterstützung u. a. durch eine direkte Reflexion an der Decke, da sie durch einen mit mehreren Personen gefüllten Raum nicht weit tragen.



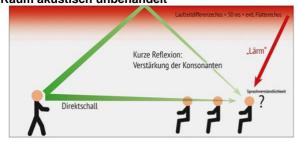
Eine vollflächige Akustikdecke kann praktisch einen Teil der "Banane" wegschneiden (die grauen Verläufe zeigen, was eine schwach (1) bzw. stark (2) dämpfende Akustikdecke wegnehmen kann).



3) Originalfrequenz der Stimme

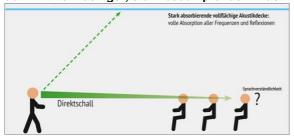
- 4) Der Akustik-Optimierer EWA.1 beeinträchtigt die Schallintensität (Lautstärke) der einzelnen Frequenzen kaum. Vor allem die für die Sprache so wichtigen hohen Frequenzen bleiben in vollem Umfang erhalten. Seine Wirkung entfaltet sich in den Raumecken, wo er dann die tiefen Frequenzen der Flatterechos wirksam absorbiert.
- 5) Bei vollflächigen, stark bedämpfenden Akustikdecken werden vor allem die hohen Frequenzen stark absorbiert. Einige Konsonanten können schon ab einer Entfernung von 3-5 Metern nicht mehr verstanden werden. Je nach Bauart der Decken können die Flatterechos der Raumecken nicht in hinreichendem Maße verhindert werden.

Die Wirkungsweise des EWA.1 Akustik-Optimierers im Vergleich. Raum akustisch unbehandelt



In akustisch unbehandelten Räumen entstehen in den Kanten und besonders den Ecken störende Echos, die das ursprüngliche Sprachsignal laut und zeitversetzt überlagern. Raumkanten und -ecken wirken wie Resonatoren, senken die einfallende Frequenz und verstärken die Geräusche um 6 – 9 Dezibel. Die Sprachverständigung wird erheblich erschwert, jeder spricht dann unwillkürlich lauter. Die Konzentrationsfähigkeit kann sinken. Stressreaktionen bei Sprechenden wie auch Zuhörern können sich aufschaukeln.

Raum mit vollflächiger, stark bedämpfender Akustikdecke



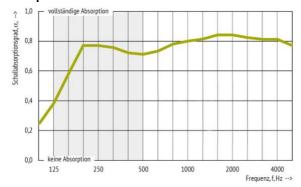
Vollflächige, stark bedämpfende Akustikdecken absorbieren zwar den Nachhall, behindern jedoch gleichzeitig die hilfreichen kurzen Reflexionen. So müssen Vortragende deutlich lauter sprechen, um im ganzen Raum gehört und verstanden zu werden. Lehrkräfte bestätigen diesen Effekt. Nach dem Einbau von vollflächigen Akustikdecken muss mit deutlich lauterer Stimme gesprochen werden, um überall in der Klasse noch verstanden zu werden.

Raum mit Akustik-Optimierer EWA.1

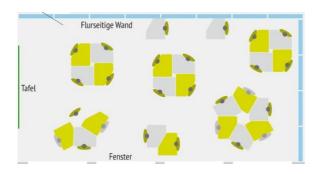


Der EWA.1 Akustik-Optimierer verhindert die Entstehung der Flatterechos in den Ecken und erhält gleichzeitig die kurzen Reflexionen an der Decke. Das Ergebnis ist ein Raum mit deutlich verminderten Störgeräuschen, ermüdungsfreies Sprechen und – selbst für Hörgeschädigte – eine kaum gekannte Sprachverständlichkeit bis in die letzte Reihe.

Absorptionsverhalten EWA.1



Die Messung des Absorptionsverhaltens erfolgte bei Anordnung der Elemente in L-Form (in 2 Kanten und 3 Ecken) des Hallraumes. Die Decke wurde schallhart belassen. Die hier gemessene Absorption betrifft also fast ausschließlich die in den Ecken entstehenden Flatterechos und zeigt, dass der Akustik-Optimierer die tiefen Frequenzen der Flatterechos zu fast 80 % absorbiert.



Empfohlene Positionierung (blau) des Akustik-Optimierers EWA.1 im typischen Klassenraum.

(In dieser Anordnung wurde die Messung vom TÜV Nord durchgeführt.)

Hintergrundwissen

Was im Folgenden dargestellt wird, gilt für Räume, in denen Kommunikation ohne elektroakustische Maßnahmen (Mikrofon und Lautsprecher) erforderlich ist – also zum Beispiel in Klassenräumen, Seminarräumen oder betrieblichen Besprechungsräumen.

Um Baukosten zu senken wurde – und wird noch immer – überwiegend rechtwinklig, gleichförmig und mit Parallelen geplant und errichtet. Auf sinnvolle Diffusion wird verzichtet.

Um anschließend die extrem niedrigen Nachhallwerte gemäß DIN 18041:2016-03 erreichen zu können, werden Klassenräume in der Regel großflächig akustisch bedämpft, überwiegend über die Deckenflächen. In diesem Zusammenhang wird vielfach behauptet, der Direktschall reiche für die Verständigung im Klassenraum völlig aus. Mit der Bedämpfung der Deckenfläche jedoch wird eine Freifeldsimulation realisiert: Die allein über eine Deckenreflexion realisierbare Unterstützung des Direktschalls entfällt.

Die Raumakustik in der DIN 18041

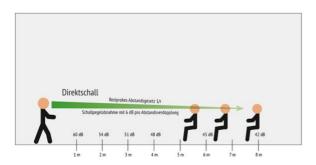
Dort heißt es: "Um eine der Raumnutzung angepasste Nachhallzeit T erzielen zu können, [...] können umfangreichere schallabsorbierende Maßnahmen erforderlich sein. Dadurch wird der Schalldruckpegel am Hörort reduziert. Dies ist in größeren Räumen mit Entfernungen zwischen Sprecher und Hörer von über 8 m von Nachteil [...]" (DIN 18041:2016-03, 5.2 Volumenkennzahl)

Weiter heißt es in der DIN 18041:2016-03: "Um eine geeignete Hörsamkeit zu erreichen, muss der Signal-Pegel [...] wesentlich, d. h. um mindestens 10 dB, höher sein als der Gesamtstörschalldruckpegel [...]." Dieser Störschallpegel wird für Nutzungsarten "Sprache/Vortrag" bis "Unterricht/Kommunikation inklusiv" angegeben mit bauseitig ebenso wie betriebsseitig maximal 35 dB, die als Grundgeräuschpegel nicht nur tolerierbar sind, sondern die auch gar nicht verhindert werden können.

Schließlich zur Sprechlautstärke und Sprechweise benennt die DIN 18041:2016-03 als "normalen" Schalldruckpegel in 1 m Entfernung zum Sprecher 60 dB, als bereits "angehoben" 66 dB. Aber eben auch: "Länger dauerndes Sprechen ist für ungeübte Sprecher über die Sprechweise 'angehoben' mit […] 66 dB nicht zweckmäßig." – Als ungeübter Sprecher kann der Schüler angesehen werden; auch den Lehrenden als geübte Sprecher kann insbesondere bei hoher Wochenstundenzahl die 'angehobene' Sprechweise allein aus physiologischen Gründen nicht pauschal und permanent abverlangt werden.

Die Realität im Klassenraum

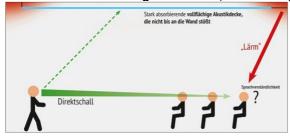
In einem durchschnittlichen Klassenraum von 63 qm, bei Kantenmaßen von 7 x 9 m, ist eine Diagonale von gut 8 m (Lehrerpult vorn rechts, Schüler hinten links) gängige Alltagssituation. Dabei sind angemessene Wandabstände bereits berücksichtig.



Spricht eine Person mit 60 dB, so kommen in 8 Metern Entfernung nur noch 42 dB an. In der Sprachbanane haben wir gesehen, dass die tonlosen Konsonanten f, s, h und th nur maximal 35 dB erreichen (ein "f" kann man nicht schreien). Davon kommen in 8 Metern Entfernung nur noch 27 dB an. Das Grundrauschen einer voll besetzten Klasse, in der niemand spricht, liegt bereits zwischen 35 und 45 dB! Ohne die Reflexion der Konsonanten an der Decke ist eine Verständigung auf diese Entfernungen kaum möglich, weil die Störgeräusche das Nutzsignal zu stark überlagern. Diese Störgeräusche sind nicht etwa das aktive Stören von Schülern, sondern deren Grundgeräusch PLUS die Echos aus dem Grundton der Stimme der sprechenden Person, erzeugt in den Kanten und Ecken des Raumes.

Die Folgen einer reinen Nachhall-Reduzierung

Vollflächige Akustikdecken können unter Umständen das Entstehen der störenden Echos in den Ecken nicht verhindern. Dann behindern sie die Kommunikation im Raum erheblich, ohne das eigentliche Problem zu lösen. Zwar ist dann der Nachhall sehr niedrig, dafür aber wird das Nutzsignal weiterhin von störenden Laufzeitdifferenzechos überlagert, während gleichzeitig die hohen Frequenzen (Konsonanten) vollständig absorbiert werden: somit ist das Problem größer als zuvor. Den Sprechenden wird eine erhöhte Sprachanstrengung abverlangt, den Zuhörern ein äußerst konzentriertes Zuhören. Je mehr Energie auf das rein akustische Verstehen aufgewandt wird, desto weniger Energie bleibt für das Verstehen des Inhaltes.



Werden Akustikdecken so angebracht, dass umlaufend eine glatte, schallharte Fläche bleibt, so entstehen die Echos weiterhin in den Kanten und Ecken. Für schwach dämpfende Akustikdecken gilt das sogar, wenn diese bis an die Wand stoßen.