

Schallabsorbierende Wandpaneele? Ein MUSS für die Klassenraum-Akustik!

Carsten Ruhe

hörgerecht planen und bauen, 25497 Prisdorf, E-Mail: Carsten.Ruhe@hoeren-und-bauen.de

Einleitung

DIN 18041:2016 fordert für Klassenräume (Raumgruppe A4) mit einem typischen Volumen von 180 m³ bis 200 m³ eine Nachhallzeit von $T_{\text{soll}} = 0,45 \text{ s} \pm 20 \%$. Auch wenn es rechnerisch „gerade eben“ ausreicht, lediglich die Decke vollflächig hochgradig schallabsorbierend zu belegen, ist nicht von vornherein sichergestellt, dass der Raum den Anforderungen an ein barrierefreies Zuhören und Verstehen entspricht.

Werden Schallabsorber auch in der zweiten (und ggf. dritten) Raumdimension angebracht, so verbessert sich die Situation schlagartig erheblich und die Räume werden von den Nutzern als viel besser beurteilt.

Im Gegensatz zu den Aussagen vieler Hörer liegen aber nur wenige messtechnische „Beweise“ über diese erheblich bessere Qualität vor. Deshalb sträuben sich die Schulbau-Träger oft, etwa 1.000 € je Klassenraum zu investieren. Auch die Argumente einiger Akustiker, die horizontalen Reflexionen würden ohnehin eher eintreffen als die in der Norm benannten 50 ms nach dem Direktschall, sind in diesem Sinne kontraproduktiv.

Messergebnisse aus Klassenraum-Nachbesserungen und aus verschiedenen neuen Förderzentren für Hörgeschädigte belegen eindeutig den Gewinn durch die Wandpaneele. Offenbar schränken horizontale Schallreflexionen die Sprachverständlichkeit viel früher ein, als erst nach 50 ms. Hierzu werden verschiedene Plausibilitäts-Überlegungen vorgestellt. Man sollte sie wissenschaftlich untersuchen, sobald die Messtechnik dafür angepasst ist.

Zahlreiche Schulen, vorrangig Klassenräume, wurden in den letzten Jahren raumakustisch untersucht. Allein in den letzten 3 Jahren waren es 27 Schulen mit knapp 100 Räumen. In etlichen Fällen haben sich Lehrer, Schulleiter und sogar Eltern gemeldet und sich für die erzielten Verbesserungen bedankt. Zwei besonders beeindruckende Rückmeldungen hatten folgende Wortlaute:

Bisher habe ich immer gedacht, ich sei als Lehrerin für die Lärm-Minderung in der Klasse ganz allein zuständig. Jetzt habe ich die Raumakustik als Sozial-Pädagogin an meiner Seite.

Seit kurzem kann ich den Klassenraum wieder nutzen, der nach Ihren Messungen und Planungen saniert und umgestaltet wurde. Ich bin ganz begeistert. Die Kinder sind viel ruhiger und auch viel konzentrierter bei der Arbeit. Innerlich habe ich bei denen schon Abbitte darüber getan, dass ich früher so viel geschimpft habe. DIE waren das gar nicht!

Ganz besonders positiv waren die Rückmeldungen seitens der Schulleitungen von Förderschulen für Hörgeschädigte. Auch hierzu ein Beispiel aus dem letzten Jahr:

Von der guten Raumakustik im Neubau sind inzwischen schon alle sehr begeistert! Ich freue mich, Sie bald persönlich in den Räumen begrüßen zu können.

Diese Begeisterung war immer dann herauszuhören, wenn nicht nur die Decken gegen hochgradig absorbierendes Material ausgetauscht wurden, sondern wenn zusätzlich auch schallabsorbierende Rückwand-Paneele eingebaut wurden. Im vorliegenden Beitrag wird versucht, hierfür eine Begründung herzuleiten.

Übersicht über einige Messungen

Abbildung 1 zeigt Messergebnisse aus einem Gymnasium, in welchem zahlreiche Schüler integrativ beschult werden. Das Gebäude stammt von etwa 1910 und wurde letztmalig etwa 1960 mit den damals üblichen Akustik-Materialien ausgestattet. Den Mittelwert der Messergebnisse aus 13 Klassen- und Fachklassen-Räumen zeigt die dick durchgezogene Kurve. Im Verhältnis zum Baualter sind die Werte erstaunlich gut. Das Messergebnis aus dem für einen Lehrer mit Hörschädigung mit Wandpaneelen nachgerüsteten Klassenraum zeigt die blaue Kurve. Bei 125 Hz und 250 Hz sind die Werte genauso schlecht wie in den anderen Räumen, ab 500 Hz aber deutlich günstiger. Der Lehrer zeigte sich von dieser Maßnahme begeistert.

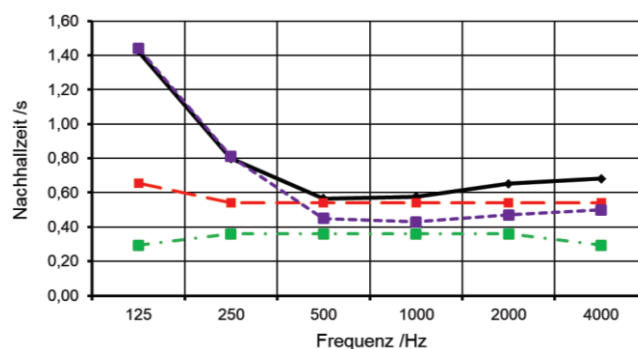


Abbildung 1: Mittelwert von 13 Klassenräumen und zum Vergleich mit Wandpaneelen nachgerüsteter Raum

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse zweier baugleicher Räume aus dem Neubau-Trakt. Trotz identischer Baugrößen und identischer Ausstattungsmaterialien gibt es hier deutliche Unterschiede, die bisher – auch unter Hinzuziehung des Decken-Herstellers – noch nicht geklärt werden konnten. Beide Räume sind mit Rückwand-Paneelen ausgestattet und werden von den Nutzern als „sehr gut“ bezeichnet.

In Abbildung 3 sind die Messergebnisse aus zwei Räumen in einer Grundschule gegenübergestellt. Über dem EG befindet sich eine Stahlbetondecke, über dem DG ein leichtes Dach.

Deutliche Unterschiede zeigen sich im tieffrequenten Bereich, wo im DG viel Schallenergie entweichen kann,

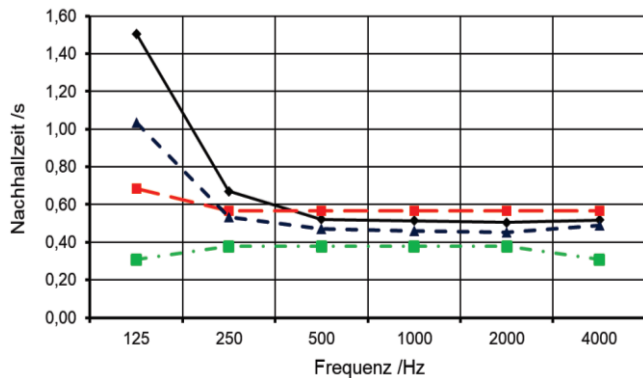


Abbildung 2: Baugleiche und gleich ausgestattete Klassenräume mit unterschiedlichen Nachhallzeiten

(untere Kurve) während sie im EG erhalten bleibt (obere Kurve). Trotz der insgesamt kurzen Nachhallzeiten sind die Lehrerinnen mit der akustischen Situation unzufrieden. Diese Klassenräume haben keine Rückwand-Paneele.

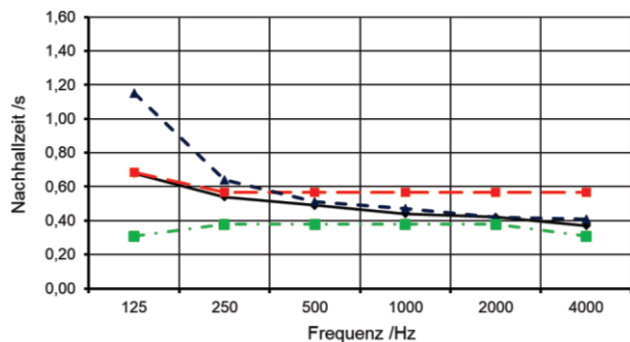


Abbildung 3: Baugleiche und gleich ausgestattete Klassenräume unter Betondecke und leichtem Dach

In einer etwa 20 Jahre alten Grundschule mit einem kreisringförmigen Grundriss und entsprechend schiefwinklig zueinander stehenden Klassenraum-Trennwänden hat man – wegen extrem geringer Rohbau-Höhe – Holzwolle-Leichtbauplatten auf Lattung geschraubt. Die Bekleidung ist nur 65 mm dünn. Die dadurch bedingte geringe Schallabsorption bei den tiefen Frequenzen ist der Abbildung 4 gut zu entnehmen. Wegen Beanstandungen der Lehrerschaft wurden die meisten Räume inzwischen nachgerüstet (40 mm Schaum, direkt angeklebt). Nach wie vor ist die Lehrerschaft unzufrieden.

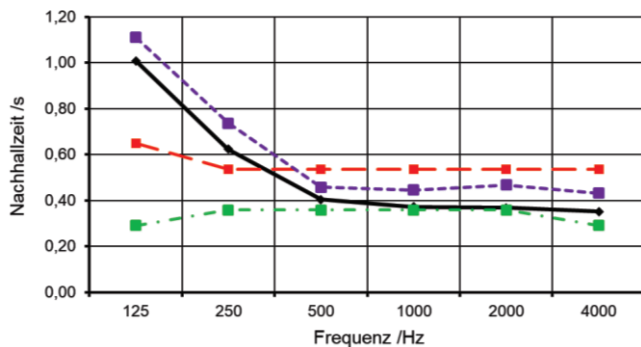


Abbildung 4: Klassenräume mit HWL-Platten auf Lattung und mit Ergänzung aus 40 mm Melamin-Schaum

Vergleichsweise wurde deshalb der letzte noch nicht nachgerüstete Raum auch gemessen (blaue Kurve). Ab 500 Hz liegen die Messwerte für diesen Raum mitten im Toleranzfeld. Im Vergleich dazu zeigt die schwarze Kurve der Mittelwerte aller nachgerüsteten Räume, dass ab 500 Hz aufwärts die Nachhallzeiten noch kürzer geworden sind, während sich bei 250 Hz und insbesondere bei 125 Hz nur wenig getan hat. Die Lehrerschaft ist trotz der Nachbesserung unzufrieden. Schallabsorbierende Wandpaneele gibt es in keinem einzigen Raum dieser Schule.

Können Wandpaneele denn wirklich so viel?

Abbildung 5 zeigt eine rechnerische Simulation nach der Sabineschen Nachhall-Gleichung für einen Klassenraum, der für die integrative Beschulung eines Kindes mit Hörschädigung nachgerüstet werden sollte. Die betreuende Lehrerin vom mobilen Dienst einer Förderschule hatte die Verlegung eines Teppichbodens vorgeschlagen. Im Hinblick auf die Störgeräuschminderung ist das unbedingt sinnvoll, hat aber nur wenig Auswirkung auf die Nachhallzeit. Den vorgefundenen Zustand zeigt die obere schwarze Kurve, die rote darunter die rechnerisch zu erwartende Nachhallzeit nach Verlegung eines Teppichbodens.

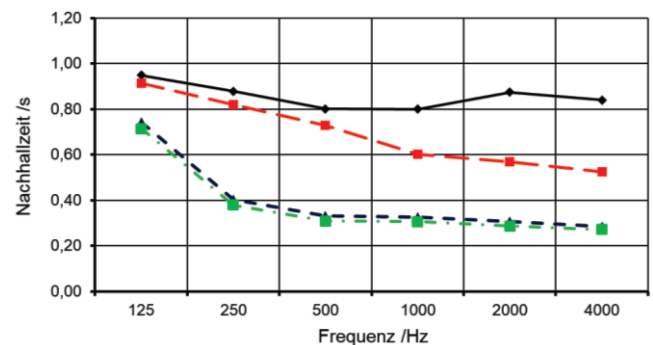


Abbildung 5: Klassenraum vorgefundener Zustand, mit Teppich, mit absorbierender Decke und mit Wandpaneel

Was soll denn dann das Rückwand-Paneel?

Würde man zusätzlich die Decke austauschen, so ergäbe sich ein Nachhallzeit-Verlauf entsprechend der zweituntersten Kurve in Abbildung 5 und nach zusätzlichem Einbau eines Wandpaneels nur noch eine ganz geringfügige Verbesserung bis zur untersten Kurve. Das ist bei dem rechnerischen Verfahren nach Sabine auch deshalb nicht verwunderlich, weil das Rückwand-Paneel mit etwa 6,5 m² nur 10 % der Deckenfläche von etwa 65 m² umfasst. Aufgrund der Ergebnisse dieses einfachen Rechenverfahrens wird häufig behauptet, ein Rückwand-Paneel „bringe doch nichts“. Die etwa 1.000 € je Klassenraum für ein Rückwand-Paneel werden deshalb oft als „zu aufwendig“ abgelehnt. Die seit über 50 Jahren festgelegte zulässige Zeitverzögerung von 50 ms (DIN 18041:1968) werde nicht überschritten. Dem muss deutlich widersprochen werden, denn unsere Ohren können mehr, als wir messen können/wollen.

Den frühen Reflexionen auf der Spur

Von Kollegen, deren Messapparaturen jeweils T₂₀ und EDT parallel auswerten, wurden einige Messergebnisse aus Räumen ohne Wandpaneel und aus anderen Räumen mit Wandpaneel zur Verfügung gestellt. (Leider ist der Stichprobenumfang noch sehr gering.) Dabei zeigte sich

entsprechend Abbildung 6, dass in Räumen ohne schallabsorbierendes Wandpaneel die EDT (geringfügig) länger ist als T_{20} , dass aber nach Abbildung 7 in anderen Schulen/Klassen mit Wandpaneel die EDT kürzer ist als T_{20} und damit den üblichen Verhältnissen bei „durchhängenden Nachhallkurven“ entspricht. Dies ist nicht mehr als ein Hinweis, weil die genaue Hallfeld-Feinstruktur mit diesen Apparaturen nicht gemessen werden kann. Aber es lohnt sich zumindest, darüber einmal nachzudenken.

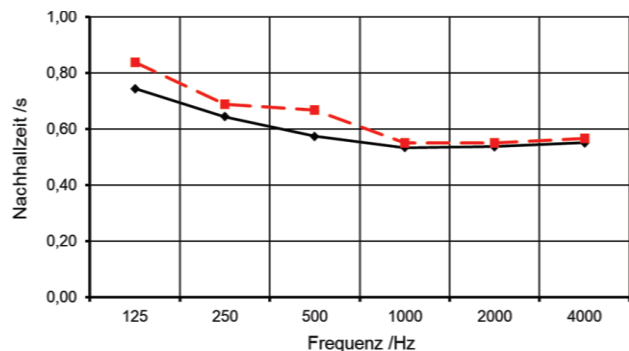


Abbildung 6: Mittelwerte von Klassenräumen ohne Wandpaneel → EDT (gestrichelt) ist länger als T_{20} (durchgezogen)

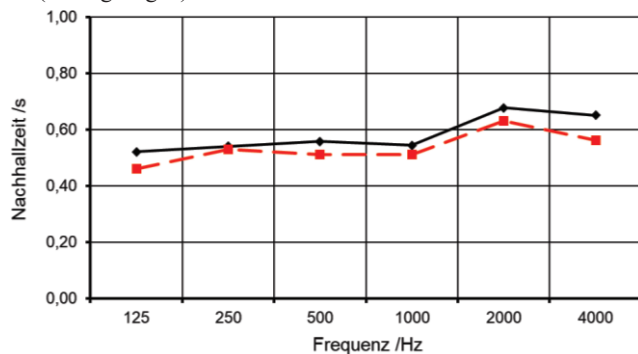


Abbildung 7: Mittelwerte von Klassenräumen mit Wandpaneelen → EDT (gestrichelt) ist kürzer als T_{20} (durchgezogen)

Hinweise aus DIN 18041

Schon in DIN 18041:2004 hieß es im Kapitel 5.2.1.2. 2: *Hat der betrachtete Raum einen rechtwinkligen Grundriss und sind die Wände eben und nicht durch Möbel, Regale... gegliedert, besteht bei einer vollständig schallabsorbierend bekleideten Decke die Gefahr, dass Flatterechos auftreten. Da bei Räumen mit einem Volumen bis ca. 250 m³ keine Gefahr der akustischen Überdämpfung besteht, kann hier eine vollflächig schallabsorbierende Decke in Kombination mit einer ebenfalls schallabsorbierenden Rückwand eingesetzt werden.*

DIN 18041:2016 enthält im Kapitel 5.4 folgende Ergänzung: *In Räumen mit einer Länge von mehr als etwa 9 m können von der Rückwand direkt oder über Winkelspiegel-Reflexionen langverzögerte Schallanteile in den vorderen Raumbereich gelenkt werden, die zu einer Minderung der Sprachverständlichkeit führen. In diesem Fall müssen die Reflexionsflächen entweder schallabsorbierend bekleidet oder so geneigt werden, dass der auftreffende Schall als nützliche Verstärkung zu den von der Schallquelle entfernten Hörern hin reflektiert wird. Auch stark gegliederte schallstreuende Oberflächen (zum Beispiel Bücherregale) sind zweckmäßig.*

Woher kommen die „mehr als 9 m“?

Bei einer Klassenraum-Länge von 10 m läuft der Schall vom Mund des Lehrers bis zur Rückwand etwa 9 m und von dort zum vorne sitzenden Schüler noch einmal etwa 8 m. Daraus ergibt sich ein Schall-Umweg von knapp 17 m gegenüber der Direktschall-Einwirkung beim Schüler und die Zeitverzögerung des reflektierten Signals beträgt etwa 50 ms. Längere Zeitverzögerungen sind aber bereits seit der ersten Normfassung von 1968 „verboten“. Deshalb schlägt die Norm spätestens bei so langen Räumen den Einbau von schallabsorbierenden Wandpaneelen vor. Andere Länder lassen als Zeitverzögerung gegenüber dem Direktsignal nur 35 ms zu. Mit diesem Wert müssten in Deutschland sämtliche Standard-Klassenräume, die üblicherweise Grundflächen von 8 m mal 8 m haben, mit schallabsorbierenden Wandpaneelen ausgestattet werden.

Sind unsere Ohren schneller?

1. Der sächsische Orgelbauer Gottfried Silbermann (1683-1753) soll bei der Akquise für einen Orgel-Neubau jeweils in der entsprechenden Kirche an etlichen Stellen mit seinem Spazierstock auf den Boden „getackert“ haben. Mit der Metallspitze gab das jedes Mal einen lauten und scharfen Impuls. Danach habe er entschieden, wo die Orgel aufgestellt wird. Immer wieder wird behauptet, er habe mit diesem Impuls den Nachhall angeregt. Das hat er damit zwar auch getan. Aber der Nachhall ist eher eine maßgebliche Größe für die Orgel-Disposition, nicht für den Standort. Silbermann hatte, wie viele gute Orgel-Intonateure, ein extrem gutes – und vor allem schnelles – Gehör. Für die Intonation ist der Einschwingvorgang jeder einzelnen Pfeife wichtig. Der dauert nur wenige hundertstel Sekunden. Und in einem ähnlich kurzen Zeitraum kamen (noch vor dem Einsetzen des Nachhalls) die ersten Schallreflexionen aus der Kirche an sein Ohr. Solche Reflexionen sind ganz wichtig für das „Ausprechen“ der Pfeifen und ihre Schallabstrahlung in den Raum. Und die sind – für entsprechend geübte Ohren – eben nur dann wahrnehmbar, wenn die Schallimpulse nicht nur laut sondern auch extrem kurz sind.

Wer nicht so gute Ohren hat, nimmt solche Reflexionen zwar nicht bewusst wahr, in Klassenräumen (und an vielen anderen Stellen) stören sie aber trotzdem.

2. Judit Angster, Tochter des ungarischen Orgelbauers Jozsef Angster hat auf der DAGA 1990 in Wien vorgetragen, wie

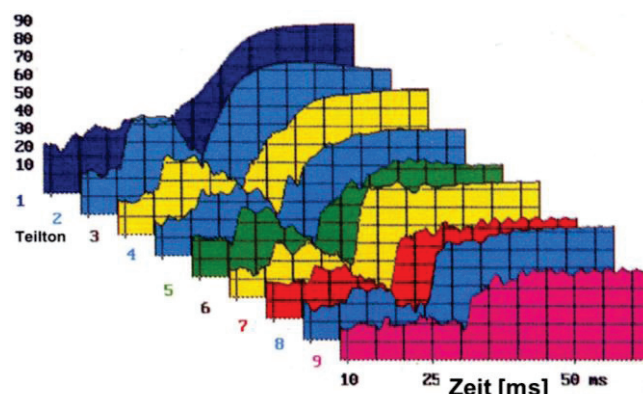


Abbildung 8: Der Einschwingvorgang einer Salizional- Orgelpfeife ist nach 40 ms abgeschlossen.

ihre Schallmessungen während des Einschwing-Vorgangs bei der Intonation einer Salizional-Orgelpfeife jeweils von ihrem Vater gehörmäßig wahrgenommen und kommentiert wurden. Abbildung 8 zeigt die ersten 10 Harmonischen der Obertonreihe dieser Orgelpfeife. Man kann erkennen, dass nach etwa 30 ms der Einschwingvorgang beendet ist, selbst beim Grundton dauert er nicht länger als 40 ms. Jozsef Angster konnte genau beschreiben, was in dieser Zeit passiert.

3. Schallquellen-Lokalisation: Auch für ungeübte Ohren gibt es ein Beispiel, welches jeder nachvollziehen kann. Bei der Lokalisation von Schallquellen kann man in der Horizontal-Ebene Abweichungen von 5° gegen vorne feststellen. Für diesen Winkel betragen die Laufstrecken-Unterschiede zu den beiden Ohren nicht 17 m, sondern nur 17 mm. Entsprechend betragen die Laufzeit-Unterschiede zwischen den beiden Ohren nicht 50 ms, sondern nur 50 µs! Unsere Ohren (auch musikalisch nicht so geübt wie bei Orgelbauern) arbeiten also viel schneller, als wir Raumakustiker glauben. Dasselbe wird (wahrscheinlich) auch für ein Direkt-Signal von vorne und ein Echo von hinten gelten. Das bedeutet aber, dass die Feinstruktur des Schallfeldes, welche für das Spracherkennen unbedingt wichtig ist, durch solche Artefakte beeinträchtigt wird. Und das gilt – wie die vielfältigen Äußerungen der Lehrerschaft zeigen – nicht nur für hörgeschädigte, sondern auch für guthörende Menschen.

Welche Beeinträchtigungen sich beim Erkennen feiner Strukturen durch Artefakte ergeben können, sollen die Abbildungen 9 und 10 optisch verdeutlichen:



Abbildung 9: Gut erkennbare Struktur

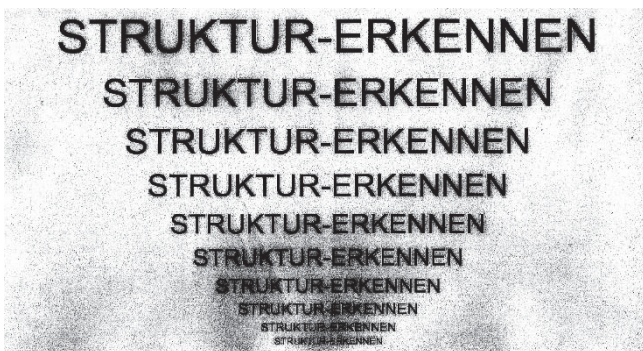


Abbildung 10: Schon geringe Störungen machen die Struktur unscharf und schlecht erkennbar. Diese Beeinträchtigung wird insbesondere dann auffällig, wenn es um Feinheiten geht. Grobe Strukturen sind dagegen noch ausreichend klar.

Kochrezept

Das „Kochrezept“ für eine gute Klassenraum-Akustik ist so einfach, wie es alt (alt-bewährt) ist. Man muss lediglich den raumakustischen Dreiklang beachten:

1. Möglichst zuerst die ganze Decke hochgradig schallabsorbierend bekleiden. Sie ist die größte Fläche im Raum und liegt außerhalb der Handreichweite. Man kann also kostengünstig ein weiches, gut absorbierendes Material verwenden.
2. Unbedingt die zweite Raumdimension auch behandeln: dazu schallabsorbierende Wandpaneele an der Klassenraum-Rückwand anbringen.
3. Ein Teppichboden absorbiert viel weniger, lässt aber viele Störgeräusche gar nicht erst entstehen.

In einigen nach diesen Vorgaben ausgestatteten Klassenräumen wurde der Sprachübertragungsindex gemessen. Selbst bei dem größten diagonalen Abstand im Klassenraum von 8 m sinkt er nicht unter STI = 0,76 ab!

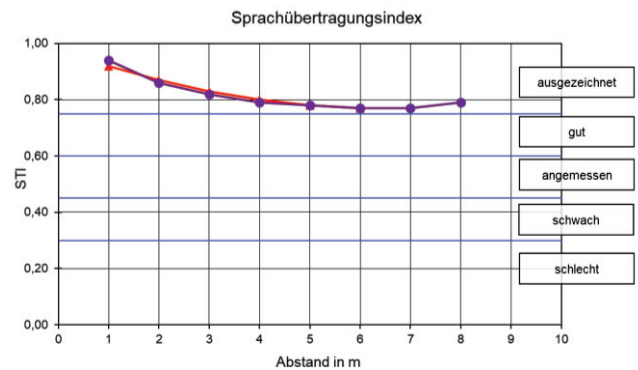


Abbildung 11: Der Sprachübertragungsindex sinkt auch in der Raumdiagonalen über 8 m nicht unter STI = 0,76..

Die Berechnung nach Sabine stimmt nicht

Anders, als die einfachen raumakustischen Berechnungen nach der Sabineschen Nachhall-Gleichung es hergeben, kann die schallabsorbierende Wirkung von Wandpaneelen deutlich größer sein. In einem besonders eklatanten Fall wurde die Nachhallzeit durch eine passende Anbringung von 0,78 s auf 0,35 s reduziert. Berechnet man „rückwärts“ den Schallabsorptionsgrad dieses Paneels, so müsste er nicht bei 0,9 liegen, sondern bei 2,0. Das Paneel müsste also die doppelte Menge der auftreffenden Schallenergie schlucken.

Fazit:

**Wandpaneele sind viel wirksamer als man glaubt!
Ihr Einbau lohnt sich immer!**

Als am 14. Januar 2015 beim DIN in Berlin der Normentwurf DIN 18041 vor der Öffentlichkeit vorgestellt wurde, hat der Ausschussvorsitzende, Christian Nocke, es so formuliert:

**In der Klassenraum-Akustik
gibt es kein Erkenntnisproblem,
sondern nur ein Umsetzungsproblem.**