



Hallraummessungen

Was sagen Hallraummessungen über Raumakustik aus?

Veröffentlichung

Klaudius Hengst

Dipl.-Ing. (FH)

Knauf Gips KG

Einführung

Um einen Raum akustisch nach DIN 18041 [1] zu konzeptionieren benötigt der Planer in der Regel im Vorfeld Angaben über das akustische Verhalten der Materialien die zur Anwendung kommen sollen. Es bedarf somit frequenzabhängiger Absorptionsgrade von Akustikdecken, Wandabsorbent, Bodenbelägen, Einrichtungsgegenständen und dergleichen. Diese werden in der Regel vom jeweiligen Hersteller im standardisierten Hallraum normgerecht nach DIN EN ISO 354 [3] gemessen. Für gewöhnlich werden entsprechende Produkte nach DIN EN ISO 11654 [2] bewertet und ihnen damit ein Einzahlwert in Form eines bewerteten Schallabsorptionsgrades und einer entsprechenden Absorberklasse zugeordnet.

Wird von einem Standard-Klassenzimmer ausgegangen, steht der Planer vor der Herausforderung die Nachhallzeiten so einzustellen, dass möglichst nicht nur die normalen Anforderungen nach DIN 18041, sondern darüber hinaus die für Inklusion erfüllt werden. Der Bauherr verlangt dafür üblicherweise einen schriftlichen Nachweis über die Einhaltung der Norm.

Für gewöhnlich wird dieser Nachweis exemplarisch für einen Raum oder auch für alle zu behandelnden Räume gerechnet. Meist wird dieser mit der Formel nach Sabine [5] oder Eyring [6] geführt. Berechnungen nach Fitzroy [7], Araau-Puchades [8], DIN EN 12354-6 [4] oder gar Simulation mit CATT-Acoustic™ oder ODEON Room Acoustics Software, um nur einige Möglichkeiten zu nennen, stellen die absolute Ausnahme für Klassenzimmer dar.

Bei Sanierungsfällen ist es in der Regel noch einfach möglich die reale Nachhallzeit im Raum zu ermitteln. Im Rahmen von Neubaumaßnahmen muss sich der Akustiker bei der Planung auf Annahmen und Berechnungen des zukünftigen Raumes verlassen. In den meisten Fällen wird für die Prognose der Nachhallzeit die Annahme eines ideal diffusen Schallfeldes getroffen und die Berechnung nach Sabine durchgeführt. Für den leeren Raum mit schallharten Oberflächen mag dies noch zutreffend sein. Spätestens nach Einbringen einer hochabsorbierenden Akustikdecke ist diese Annahme unzutreffend.

Wie die nachfolgenden Untersuchungen nahelegen, kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass durch das Einbringen von Mobiliar und/oder Wandabsorbent die äquivalente Absorptionsfläche im Raum näherungsweise gleichverteilt bzw. das Schallfeld im Raum ausreichend diffus ist, um Prognosen, wie sie im ideal diffusen Schallfeld zutreffen, zu rechtfertigen.

In einem umfangreichen Projekt von Knauf in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IBP Stuttgart wurden am Beispiel eines Klassenzimmers die Konsequenzen, die sich aus Prognosen unter der Annahme eines ideal diffusen, im Vergleich zum real existierenden Schallfeld ergeben, untersucht. Hierbei wurden Messungen in einem eigens dafür gebauten Musterraum mit Akustikdecken der Absorberklassen A und C ($\alpha_w = 1,00$ und $0,70$), mit und ohne Wandabsorber sowie mit und ohne Möblierung durchgeführt. Die Messungen wurden mit unterschiedlichen Berechnungsverfahren verglichen.

Motivation – Warum es wichtig ist mit einem Akustiker zu Planen

Die Situation am Markt zeigt, dass immer noch bei vielen Bauvorhaben die akustische Planung, falls überhaupt berücksichtigt, ohne einen zugehörigen Fachmann ausgeführt wird. Sofern Akustikprodukte Anwendung finden, werden diese oft nur nach ihrem Einzahlwert ausgewählt und ausgeschrieben. Unsere Erfahrungen bestätigen jedoch immer wieder, dass das Produkt mit dem höchsten Einzahlwert selten das akustisch am besten passende ist. Viel äquivalente Absorptionsfläche heißt nicht automatisch gute Akustik. Mindestens genauso wichtig sind die im Raum vorhandene Diffusität des Schallfeldes und die Verteilung der Absorptionsfläche.

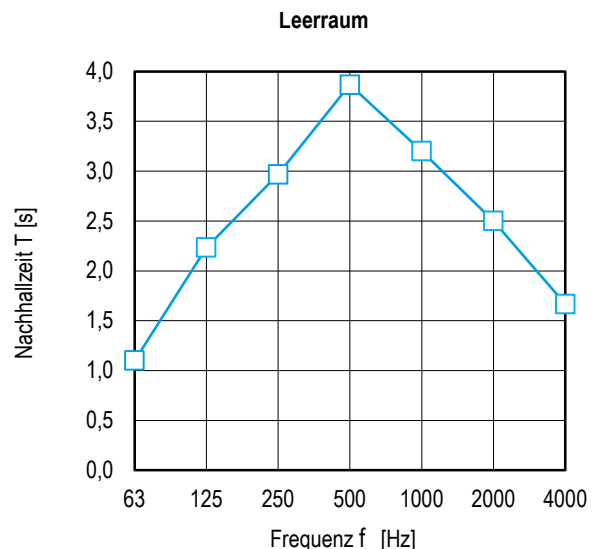
Projekt Klassenzimmerakustik

Zur Untersuchung verschiedener Absorbervarianten wurde ein Musterklassenraum mit den Abmessungen 10,0 m x 6,9 m x 3,1 m (L x B x H) errichtet (vgl. Bild 1). Die Betondecke des Gebäudes wurde zwischen den Trägern mit Gipskartonplatten abgehängt. Drei Wände bestehen aus zweilagig beplankten Gipskarton-Ständerwänden, die Fassade aus einer gedämmten Leichtmetallkonstruktion mit Fenstern. Der Boden besteht aus Beton. Die 625 mm Rasterdecke wurde 25 cm von der Rohdecke abgehängt, so dass sich eine lichte Raumhöhe von 2,85 m und ein Volumen von ca. 200 m³ ergeben.

Bild 1: links: Leerer Klassenraum mit Rasterdecke, Blick auf die Rückwand



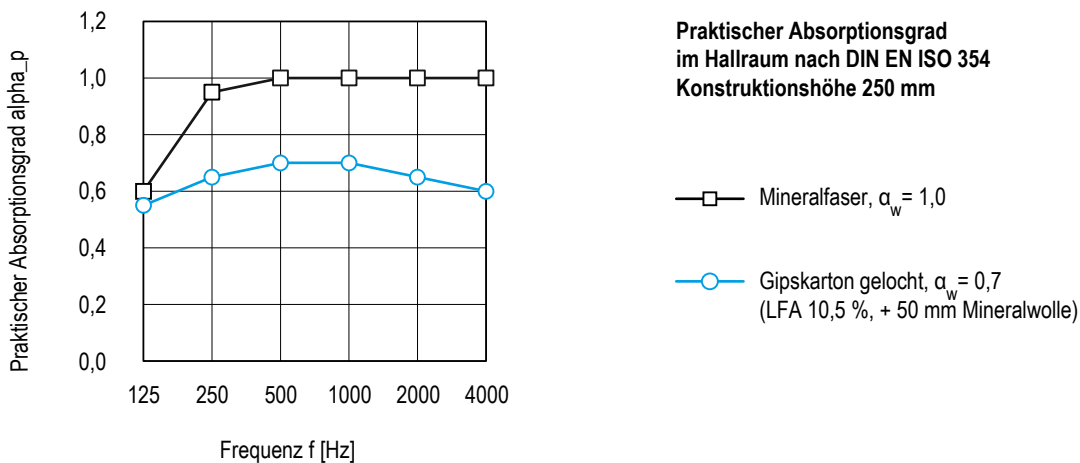
rechts: Gemessene Nachhallzeit im leeren Raum wie links abgebildet



Materialien, Messtechnik, Messpositionen

Als Akustik-Kassettendecken wurden zum einen ein Produkt aus 40 mm Mineralfaser ($\alpha_w = 1,0$), zum anderen eine gelochte Gipskartonkassette (LFA 10,5 %) mit 50 mm Mineralwollehinterlegung (als Kombination $\alpha_w = 0,7$), eingesetzt. Um Einbauten wie z. B. Leuchten zu simulieren, wurden jeweils 12 Deckenfelder mit einer geschlossenen Gipskartonplatte versehen. Die Wandabsorber (Länge 0,45 m x Breite 2,4 m x Höhe 55 mm) bestehen ebenfalls aus gelochtem Gipskarton, hinterlegt mit 30 mm Mineralwolle ($\alpha_w = 1,0$ im Hallraum in den Raumkanten). Die im Hallraum nach DIN EN ISO 354 gemessene frequenzabhängige Absorption der Akustikdecken ist in Bild 2 dargestellt. Die Wandabsorber wurden jeweils an der Rückwand (4 Stück), an der Seitenwand (6 Stück) und an der Tafelwand (4 Stück) angebracht.

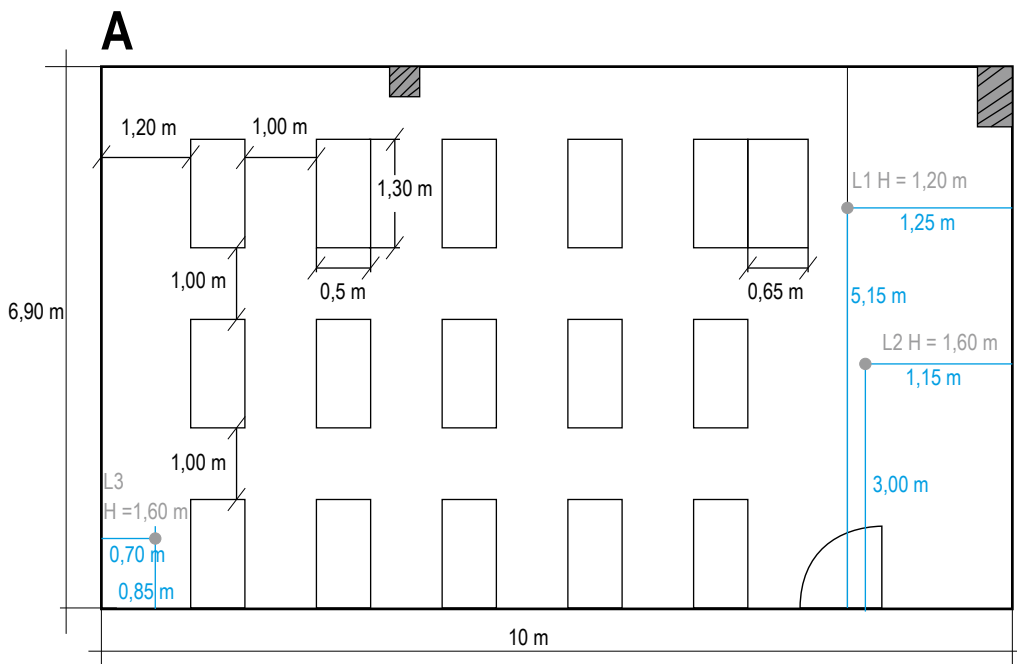
Bild 2: Im Hallraum nach DIN EN ISO 354 gemessener praktischer Absorptionsgrade der eingesetzten Akustikdecken.



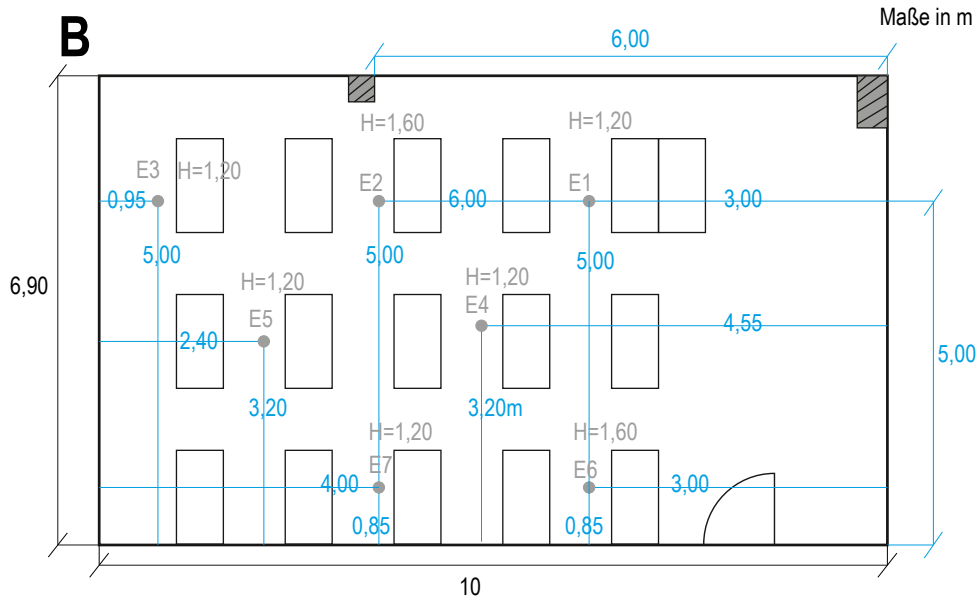
Gemessen wurden Impulsantworten mit der Mess- und Analysesoftware Dirac, sowie der STI mit der Echo SpechSource 4720 von Bruel&Kjaer. Als Lausprecher wurde ein Dodekaeder (Nor276) mit passendem Verstärker (Nor280) von Norsonic eingesetzt.

Wie in Bild 3 genauer dargestellt, wurden zur Bestimmung der Nachhallzeit Messungen aus jeweils 21 Lautsprecher-Mikrofonkombinationen gemittelt. Es wurde die Nachhallzeiten T30 ausgewertet.

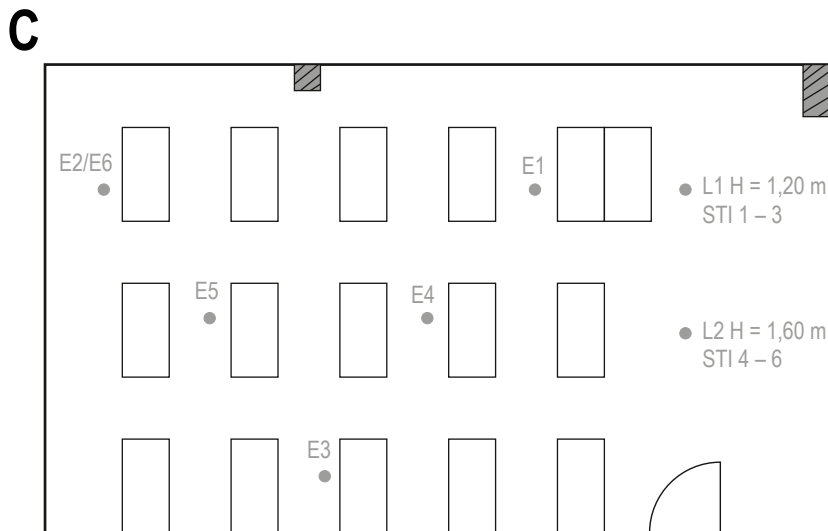
Bild 3: A: Lautsprecherpositionen



B: Mikrofonpositionen

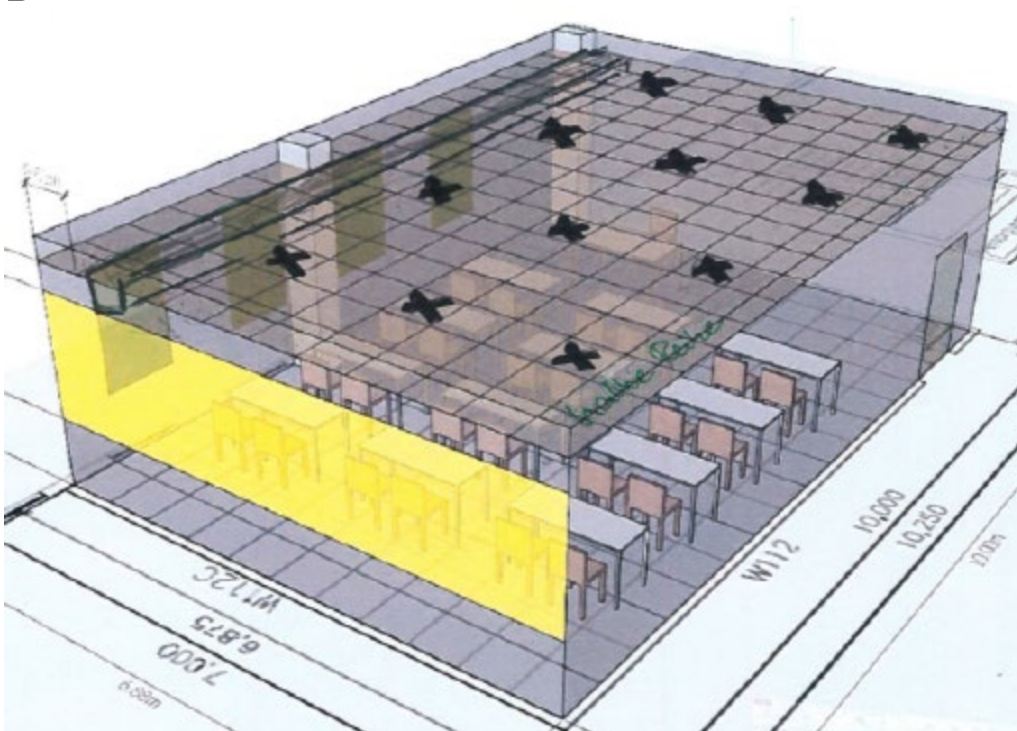


C: Sender-Empfängerpositionen für die Bestimmung des STI



D: ODEON-Modell, die Kreuze markieren geschlossene Einlegeplatten

D



Der Raum wurde mit 16 Tischen und 30 Stühlen ausgestattet. Die unterschiedlichen Kombinationen aus Möblierung und Akustikmaßnahmen sind beispielhaft in Bild 7 dargestellt.

Es wurden unter anderem folgende Varianten getestet, auf die hier näher eingegangen wird (interne Messnummern in Klammern):

- Leerraum ohne Möblierung (02)
- Mineralfaserakustikdecke (MF-Akustikdecke) ohne Möblierung (05)
- Mineralfaserakustikdecke mit Möblierung (06)
- Mineralfaserakustikdecke mit Wandabsorbent, ohne Möblierung (07)
- Mineralfaserakustikdecke mit Wandabsorbent, mit Möblierung (08)
- Mineralfaserakustikdecke mit Wandabsorbent auf „Ohrhöhe“, mit Möblierung (18)
- Gipskarton-Lochplatte + 50 mm Mineralwolle (GK-Akustikdecke) ohne Möblierung (13)
- Gipskarton-Lochplatte + 50 mm Mineralwolle mit Möblierung (14)
- Gipskarton-Lochplatte + 50 mm Mineralwolle mit Wandabsorbent, ohne Möblierung (15)
- Gipskarton-Lochplatte + 50 mm Mineralwolle mit Wandabsorbent, mit Möblierung (16)
- Gipskarton-Lochplatte + 50 mm Mineralwolle mit Wandabsorbent, auf „Ohrhöhe“, mit Möblierung (17)

Bild 4: A bis D Beispielhafte Raumsituationen

A Raum mit Akustikdecke ohne Möblierung, ohne Wandabsorber



B Raum mit Akustikdecke mit Möblierung, ohne Wandabsorber



C Raum mit Akustikdecke ohne Möblierung, mit Wandabsorbern



D Raum mit Akustikdecke mit Möblierung, mit Wandabsorbern auf „Ohrhöhe“ (entspricht Mikrofonhöhen innerhalb der Ober- und Unterkante der Wandabsorber)



Absorption, Schallstreuung und Diffusität

Die Begriffe Schallabsorptionsgrad, Schallstreuung bzw. Streugrad und Diffusität bzw. Diffusitätsgrad werden wie folgt definiert:

Schallabsorptionsgrad

Quotient von nicht reflektierter zu auftreffender Schallwelle [5].

Streugrad

Verhältnis der Schallenergie, die nicht spiegelnd auf einer Oberfläche reflektiert wird, zur total reflektierten Schallenergie. Er dient zur Charakterisierung von Oberflächenstreuung und findet z. B. Anwendung in raumakustischen Simulationsprogrammen.

Er kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 0 100% geometrische und 1 100% nicht geometrische Streuung bedeutet [9].

Diffusitätsgrad

Beschreibt die Gleichförmigkeit der reflektierten Schallenergie. Er dient zum Design von Diffusoren und ermöglicht deren Vergleich in Bezug auf ihre akustische Qualität für den Einsatz in Räumen zur Verbesserung der akustischen Situation [10].

Diffuses Schallfeld

„Ein Schallfeld in einem Raum heißt diffus, wenn sich der Schall in alle Richtungen gleichmäßig ohne Vorzugsrichtung ausbreitet (isotrop). Folge eines ideal isotropen diffusen Schallfeldes ist dessen Homogenität, d. h. Konstanz der Schallenergiedichte im Raum“ [11].

In der Realität ist das Schallfeld der wenigsten Räume so diffus wie das in einem Hallraum. Im Gegenteil, je mehr Absorption in einen Raum an einer Fläche eingebracht wird, desto weniger diffus wird er. Es stellt sich die Frage, wie diffus der akustisch zu konditionierende Raum effektiv ist bzw. nach der Einbringung der Akustikmaßnahme werden wird und in welchem Maße Produkte überhaupt die im Hallraum gemessene akustische Absorption in einem nicht ideal diffusen Schallfeld erbringen.

Die durchgezogenen Linien der folgenden Grafiken (Bild 8 bis Bild 11) bilden die oktavbandgemittelten, gemessenen Nachhallzeiten ab. Die gestrichelten Linien sind Berechnungen auf Grundlage der Messung. Das heißt, es wurde zu dem gemessenen leeren Raum (vgl. Bild 1) die jeweilige Akustikmaßnahme nach Sabine hinzugerechnet. Es wurde ohne zusätzliche Belegung gerechnet. In fast allen Diagrammen sind die Toleranzgrenzen für Räume der Nutzungsarten A3 und A4 (Klassenzimmer Inklusiv) nach DIN 18041:2016-03 eingezeichnet.

Die folgenden vier Abbildungen (Bild 8 bis Bild 11) zeigen systematisch den Einfluss von Möblierung und Wandabsorbern, abhängig von der jeweiligen Akustikdecke, im Raum.

Schulbänke und Stühle erhöhen den Anteil der äquivalenten Absorptionsfläche im Raum nur unwesentlich, wirken jedoch schallstreuend und machen damit das Schallfeld diffuser. Damit werden die gemessenen Nachhallzeiten kürzer und liegen näher an den berechneten Ergebnissen. Das ist nicht sonderlich verwunderlich. Aber wie diffus wird das Schallfeld im Raum tatsächlich?

Bild 5: Raum mit MF- und GK-Akustikdecken, ohne Wandabsorber, ohne Möblierung (wie Bild 7-A)

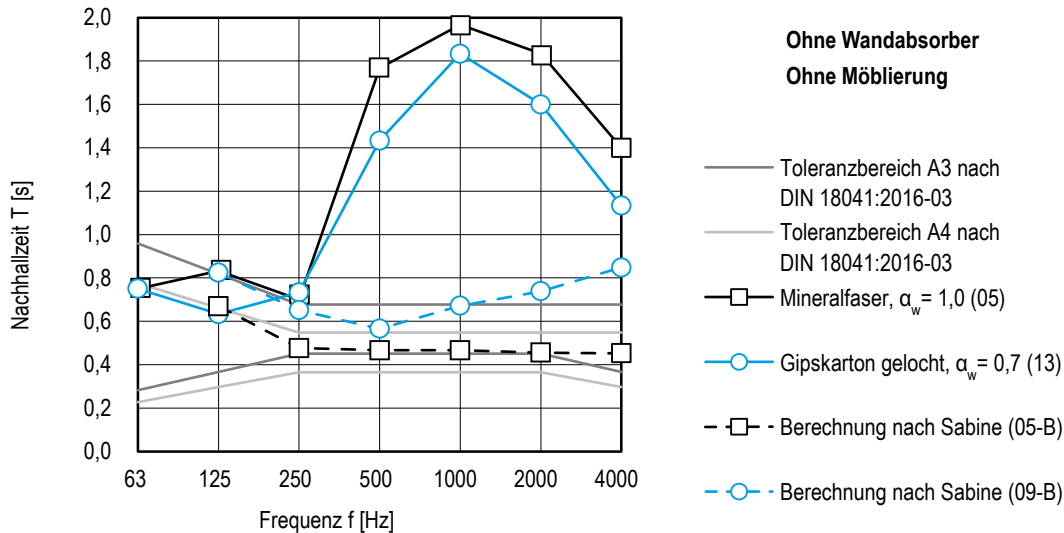


Bild 6: Raum mit MF- und GK-Akustikdecken, ohne Wandabsorber, mit Möblierung (wie Bild 7-B)

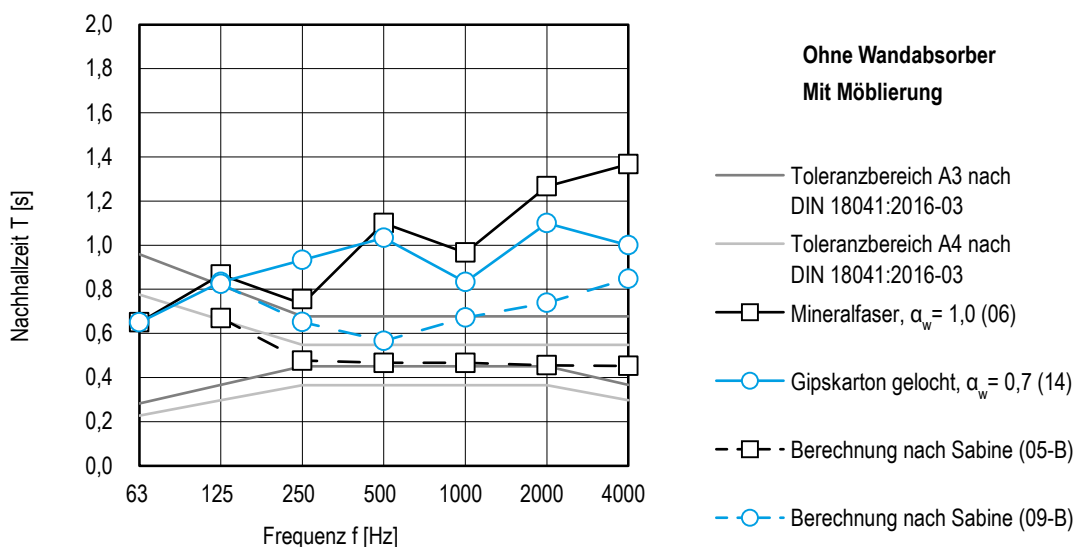


Bild 7: Raum mit MF- und GK-Akustikdecken, mit Wandabsorbem, ohne Möblierung (wie Bild 7-C)

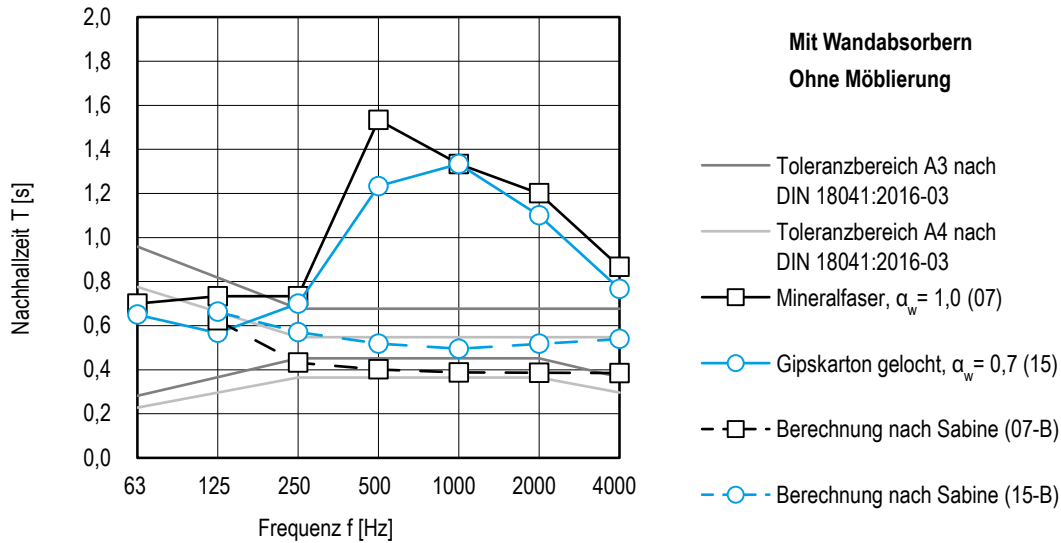
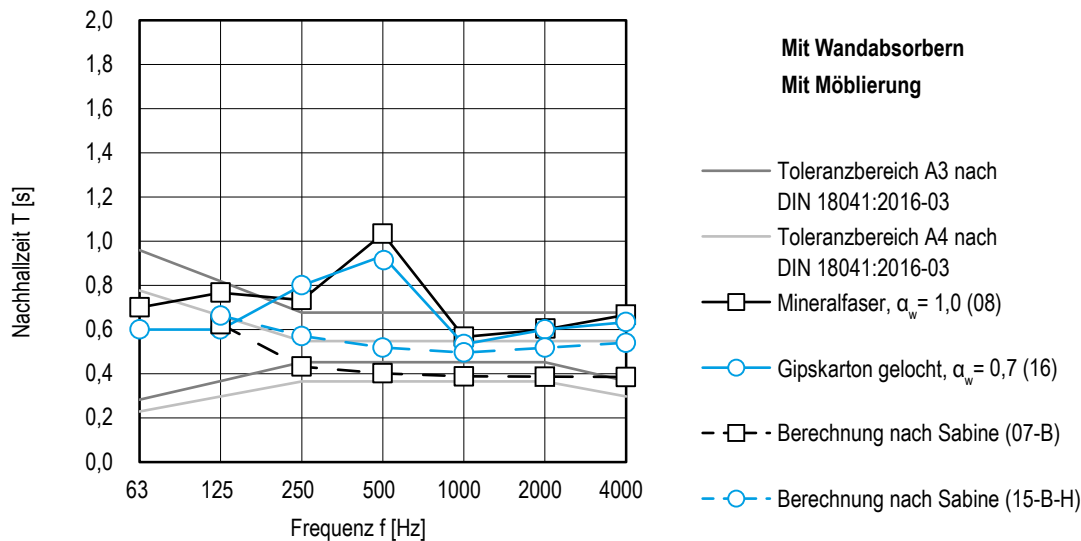


Bild 8: Raum mit MF- und GK-Akustikdecken, mit Wandabsorbem, mit Möblierung (wie Bild 7-D)



Betrachtet man Bild 2, so kann der Eindruck entstehen, dass ein Akustikprodukt mit hohen Absorptionswerten, respektive bewertetem Absorptionsgrad α_w zu einer entsprechend kürzeren Nachhallzeit in jedem Raum führt, verglichen mit einem Produkt mit geringeren Absorptionseigenschaften.

Es fällt jedoch in allen Diagrammen auf, dass sich der im Hallraum als „besser“ gemessene A-Absorber ($\alpha_w = 1,0$) im damit ausgestatteten Musterraum praktisch nicht von den Messungen mit dem im Hallraum als „schlechter“ gemessenen C-Absorber ($\alpha_w = 0,70$) unterscheidet. Was sichtbar wird ist der deutliche Unterschied von Berechnung und Messung. So suggeriert die Berechnung nach Sabine mit dem A-Absorber an der Decke und ohne Wandabsorbem (vgl. Bild 9) in den Toleranzgrenzen für Inklusion (Nutzungsart A4) zu liegen. Praktisch liegen Berechnung und Messung deutlich auseinander.

Das Einbringen von Wandabsorbem verbessert die akustische Situation durch die hinzukommenden schallstreuenden Eigenschaften mindestens genauso wie durch die zusätzliche äquivalente Absorptionsfläche (vgl. Bild 11). Der C-Absorber gleicht sich noch mehr seinen Prognosewerten an. Die Nachhallzeit im Raum mit A-Absorber wird besser, ist aber noch deutlich von der Prognose nach Sabine entfernt.

Positionierung von Wandabsorbern

Der Einfluss der Absorberpositionierung wird in den Grafiken Bild 12 und Bild 13 deutlich. Ohne weitere Absorptionsflächen in den Raum zu bringen, verringert sich die gemessene Nachhallzeit signifikant, wenn der Wandabsorber auf „Ohrhöhe“ (entspricht Mikrofonhöhe) angebracht wird. Bei der Ausstattung mit dem C-Absorber wird nun fast die Nachhallzeitprognose erreicht. Beim A-Absorber bleibt noch immer eine offensichtliche Differenz zwischen Messung und Berechnung.

Die durchgezogenen, sowie die gepunkteten Linien in Bild 12 und Bild 13 bilden gemessene, die gestrichelte nach Sabine berechnete, Nachhallzeiten ab. Der Unterschied zwischen durchgezogener und gepunkteter Linie ist einzig die Höhe in der die Wandabsorber montiert waren (vgl. Bild 7, C und D).

Bild 9: Raum mit GK-Akustikdecke ($\alpha_w=0,7$); mit Wandabsorbern unter der Decke und auf „Ohrhöhe“, mit Möblierung

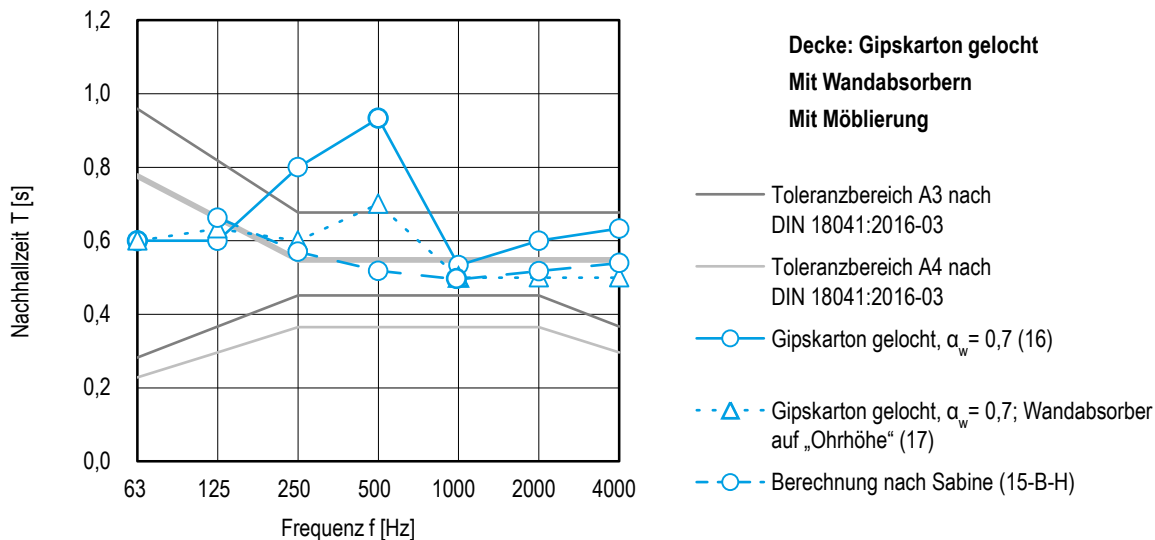
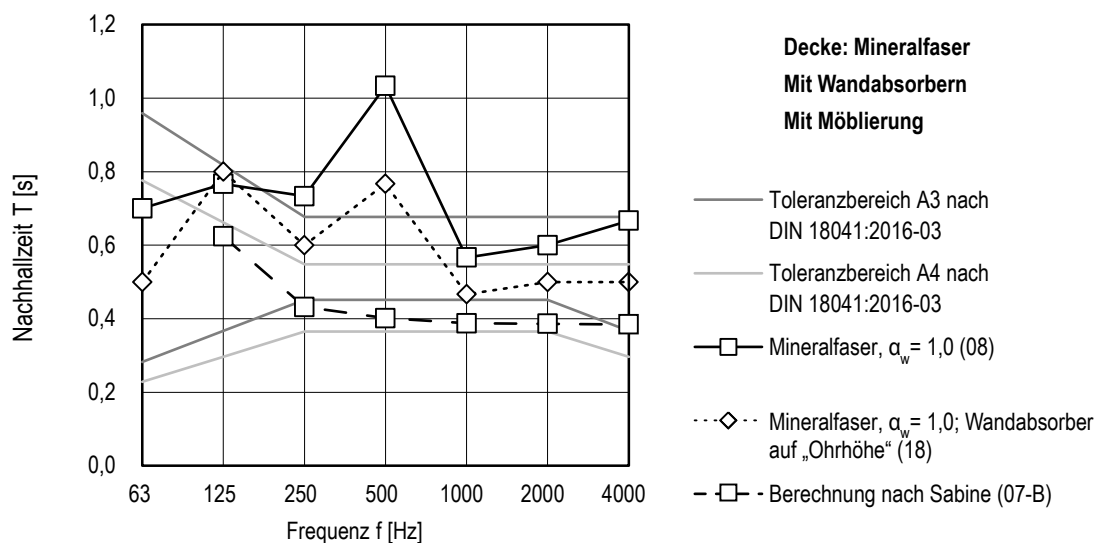


Bild 10: Raum mit MF-Akustikdecke ($\alpha_w=1,0$); mit Wandabsorbern unter der Decke und auf „Ohrhöhe“, mit Möblierung

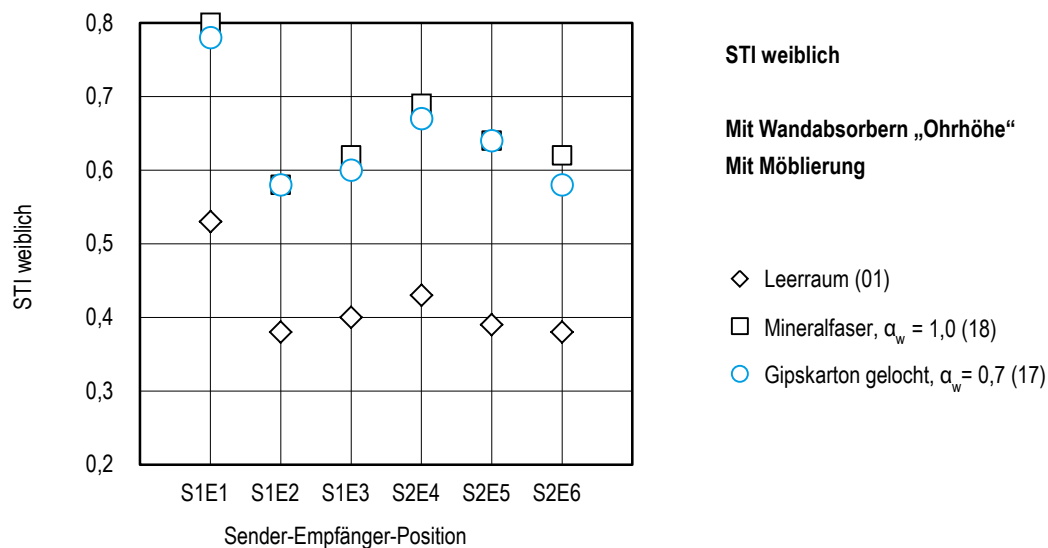


Es gibt Hinweise, dass die Abhängenöhe der Akustikdecke, sowie weitere Einbauten wie z. B. Schränke Einfluss auf die Spitze im Nachhallzeitverlauf bei 500 Hz (400 Hz im Terzband) haben. In anderen Fällen war es möglich das Schallfeld durch speziell auf diese Wellenlänge abgestimmte schallstreuende Elemente so zu gestalten, dass die Nachhallzeitkurve angeglichen werden konnte.

Obwohl der Speech Transmission Index (STI) vom Grundgeräusch und somit von der akustischen Umgebung abhängig ist, wird er häufig für vergleichende Bewertungen herangezogen. In unserem Testraum macht Bild 14 deutlich, dass ein akustisch gut konditionierter Raum zu einer signifikant besseren Sprachverständlichkeit führt als ein Raum ohne Akustikmaßnahmen. Das war zu erwarten. Ob in dem Raum allerdings eine Akustikdecke mit einem $\alpha_w = 1,0$ oder $0,7$ verbaut ist führt zu keinem wesentlichen Unterschied in diesem Einzahlwert. Offenkundig und unabhängig von der Akustikdecke ist jedoch der Unterschied zwischen dem STI an einem der vorderen und einem der hinteren Plätze (z. B. Vergleich Pos. S1E1 – ca. 1,5 m Distanz zwischen Sender und Empfänger zu Pos. S1E2 – ca. 8 m Distanz zwischen Sender und Empfänger).

Was sagen Hallraummessungen über Raumakustik aus?

Bild 11: Speech Transmission Index (STI), alle Messungen mit Möblierung, Leerraum ohne Wandabsorber, Raum mit und ohne Akustikdecken (MF/GK) mit Wandabsorbern auf „Ohrhöhe“



Weiterführende Berechnungen

Nachdem die Prognosegenauigkeit der Berechnungsmethode nach Sabine, mit der Randbedingung eines Diffusfeldes bzw. gleichverteilter äquivalenter Absorptionsfläche, in realen Räumen diskutiert wurde, stellt sich die Frage der Genauigkeit weiterer Berechnungsmodelle. Hierfür wurden die Modelle von Eyring, Fitzroy, Arau-Puchades und die Berechnung in einem ODEON-Modell realisiert.

Bild 12: Nachhallzeit im Leerraum ohne Möblierung, gemessen und nach verschiedenen Methoden prognostiziert

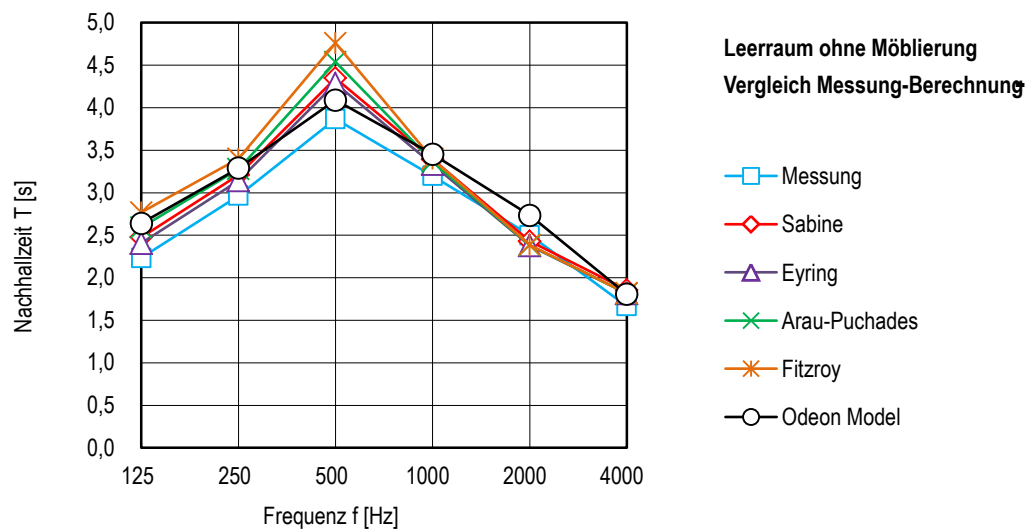


Bild 13: Nachhallzeit im Raum mit Akustikdecke $\alpha_w = 1,0$; mit Möblierung, ohne Wandabsorber, gemessen und nach verschiedenen Methoden prognostiziert

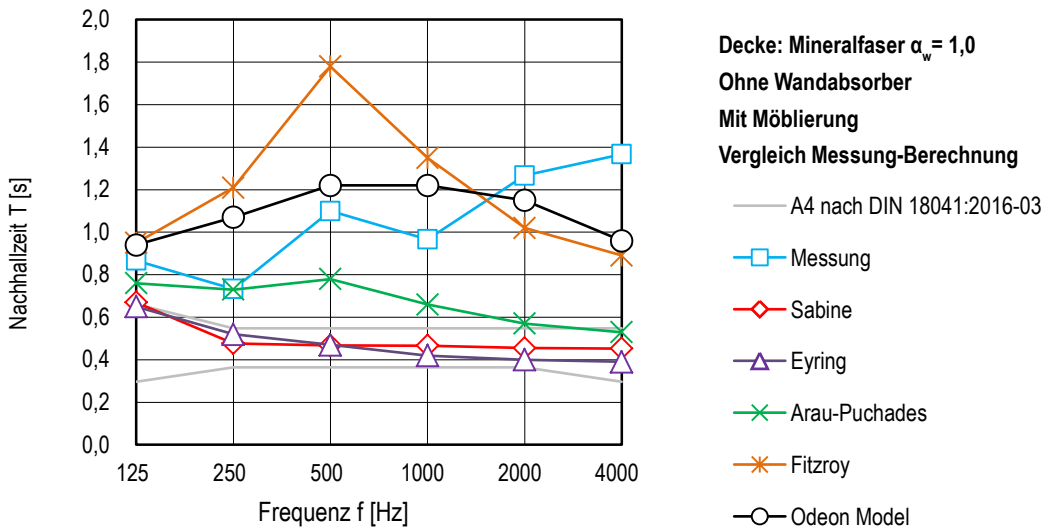


Bild 14: Nachhallzeit im Raum mit Akustikdecke $\alpha_w = 1,0$; mit Möblierung, mit Wandabsorbern, gemessen und nach verschiedenen Methoden prognostiziert

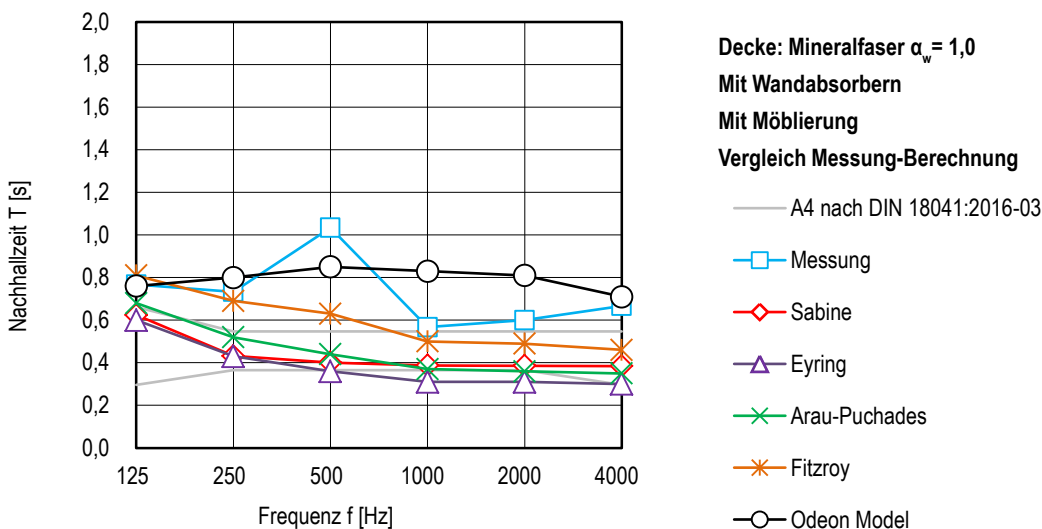


Bild 15 verdeutlicht, dass der leere Musterraum ohne Möblierung offenbar diffus genug ist, um die Randbedingungen aller aufgeführten Modelle näherungsweise zu erfüllen. Anders zeigt sich das Bild, wenn eine hochabsorbierende Akustikdecke eingebracht wird. Trotz Möblierung bildet keiner der genannten Methoden den realen Nachhallzeitverlauf ab (vgl. Bild 16). Eine Ausnahme stellt hier das ODEON-Modell dar.

Genau wie bei dem Vorschlag aus der DIN EN 12354-6 Anhang D „Berechnung für unregelmäßige Raumformen und/oder Absorptionsverteilungen“ ist die Prognose in hohem Maß von Streugraden abhängig, die der Benutzer den Oberflächen zuweisen muss.

Das ist insofern schwierig, da bis jetzt kaum bzw. keine Datenbanken für Streugrade existieren. Anhaltspunkte bieten also nur Abschätzungen und Erfahrungswerte. Dieser Punkt muss hier offen bleiben und wird im Hinblick auf realistische Prognoseverfahren weiterhin diskutiert und untersucht werden müssen. Im vorliegenden Fall konnte das Modell mit den realen Messungen abgeglichen und daraufhin realistische Streugrade festgelegt werden.

Am nächsten kommt der realen Messung noch das Prognosemodell von Fitzroy, wie auch bei zusätzlicher Einbringung von Wandabsorbern ersichtlich wird (vgl. Bild 17). Die bekannten Modelle von Sabine und Eyring unterschätzen die gemessene Nachhallzeit deutlich. Dies führt dazu, dass Toleranzgrenzen, wie beispielsweise die der DIN 18041 für Inklusion (A4), nur in der Planung eingehalten werden, wenn nach Sabine gerechnet wurde.

Faktor 3 nach DIN 18041

Die DIN 18041:2016-03 stellt in Anhang A die Bedingung eines näherungsweise diffusen Schallfeldes für die Berechnung nach Sabine. Das kann für Räume mit gleichmäßig verteilter Absorption gelten. Dazu heißt es: „...die schallabsorbierenden Flächen sollen auf alle drei Raumdimensionen verteilt sein, d.h. der mittlere Schallabsorptionsgrad für die Flächen in den drei Raumdimensionen soll nicht mehr als um den Faktor 3 abweichen, insbesondere wenn keine schallstreuenden Objekte oder Oberflächen vorhanden sind.“ Faktor 3 bedeutet, dass das Verhältnis nicht größer als 3 oder nicht kleiner als 0,33 sein sollte. Im Vorliegenden Musterraum bedeutet das für die untersuchten Fälle, wenn auf die Absorption in z-Richtung Bezug genommen wird:

Tabelle 1: Faktorberechnung nach DIN 18041:2016-03 Anhang A für den vorliegenden Musterklassenraum (4+6+4 Wandabsorber)

Akustikdecke	Wandabsorber	Faktor Az	Faktor Ax	Faktor Ay
$\alpha_w = 1,0$	nein	1	0,19 (< 0,33)	0,13 (< 0,33)
$\alpha_w = 1,0$	ja	1	0,47	0,81
$\alpha_w = 0,7$	nein	1	0,23 (< 0,33)	0,16 (< 0,33)
$\alpha_w = 0,7$	ja	1	0,61	1,01

Tabelle 1 verdeutlicht, dass es bei Einbringung einer Akustikdecke, gleich ob $\alpha_w = 1,0$ oder 0,7, zwingend erforderlich ist, eine ausreichende Anzahl von Wandabsorbern in den Raum einzubringen. Wie die Messungen mit den Absorbern auf „Ohrhöhe“ gezeigt haben, muss diskutiert werden, ob Wandabsorber direkt unter der Decke bei der Faktorrechnung überhaupt der Wand zugerechnet werden können, da sie deutlich weniger Nutzen bringen als auf Kopfhöhe. Ferner zeigt die Faktorrechnung, dass mit einer Akustikdecke mit einem $\alpha_w = 0,7$ eine gleichmäßigere und damit günstigere Verteilung der äquivalenten Absorptionsfläche möglich ist.

Zu wenig Beachtung findet darüber hinaus die Berechnung der Nachhallzeit nach DIN EN 12354-6 2004-04-Anhang D bei nicht diffusem Schallfeld. Die Problematik der hierfür nötigen Streugrade mag die Ursache dafür sein.

Besetzungszustand

Nach DIN 18041:2016-03 soll der Besetzungszustand des Raumes berücksichtigt werden (80%). In dieser Untersuchung wurde bei den Berechnungen davon Abstand genommen, da ein Raum unserer Meinung nach ungeachtet variabler Faktoren wie Jahreszeit (Absorption durch Kleidung), Klassenstärke bzw. Krankenstand (Absorption und Schallstreuung durch Personenanzahl) und Schülergröße (Schallstreuung) akustisch immer funktionieren sollte.

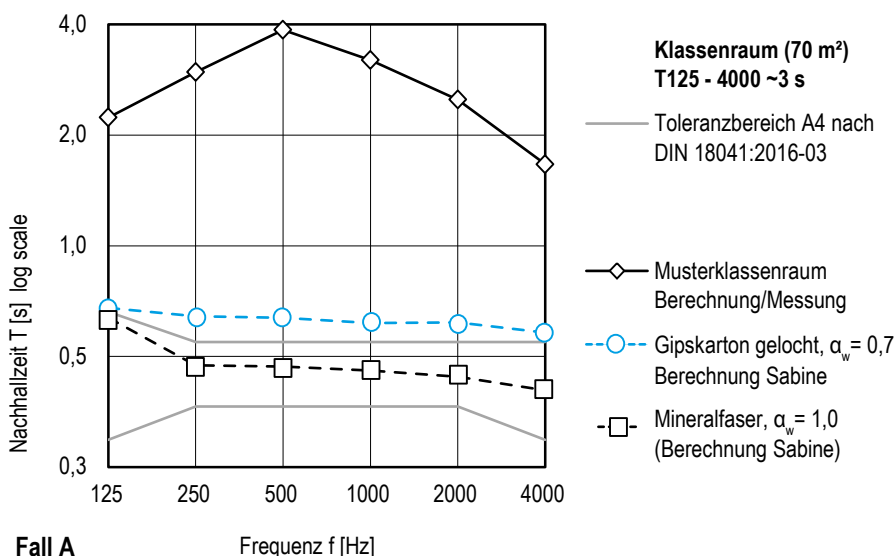
Mineralfaser versus Gipskarton-Lochdecke

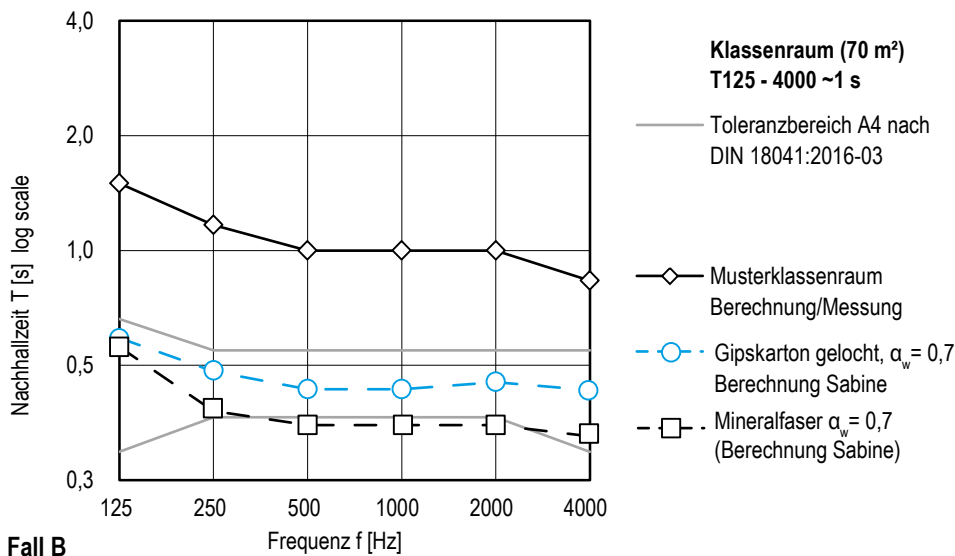
Obwohl gelochte Gipskartonplatten aufgrund ihrer Periodizität im Vergleich zu Mineralfaserdecken zusätzlich schallstreuende Eigenschaften besitzen [12], welche sich positiv auf das Schallfeld und somit den Raumklang auswirken, kann davon ausgegangen werden, dass das vorliegende Ergebnis in dieser bzw. ähnlicher Weise auch mit einer Mineralfaserdecke mit einem $\alpha_w = 0,7$ anstatt der Gipskarton-Lochdecke mit Mineralwolleauflage ausfallen würde [15].

Praxis - Planungshilfe

Bild 18 veranschaulicht zwei Fälle bei denen Räume mit unterschiedlichen Nachhallzeiten nach DIN 18041 für Nutzungsart A4 (Inklusion) akustisch konditioniert werden sollen. In Fall A ist die Ausgangssituation des Raumes mit Nachhallzeiten über 2 s sehr schlecht. Dies ist kann z. B. bei Neubaumaßnahmen, wie auch bei unserem leeren Testraum, der Fall sein. In Fall B liegt die Nachhallzeit des Raumes bei ca. 1 s. Nachhallzeiten dieser Größenordnung werden häufig in bereits eingerichteten, aber akustisch unbehandelten Bestandsräumen gemessen [13][14].

Bild 15: Vergleich prognostizierte Nachhallzeiten bei unterschiedlichen akustischen Ausgangssituationen zweier Räume





In beiden Fällen wurden Akustikdecken nach Sabine in den jeweiligen akustisch unbehandelten Raum gerechnet.

In Fall A liegt die Berechnung mit einer Akustikdecke $\alpha_w = 1,0$ innerhalb der Toleranzgrenzen für Inklusion, die Berechnung mit der $\alpha_w = 0,7$ -Decke hingegen nicht. Dies führt in der Regel zum Ausschluss der $\alpha_w = 0,7$ -Decke für eine Ausschreibung.

In Fall B rutscht die berechnete Nachhallzeitkurve mit der $\alpha_w = 1,0$ -Decke teilweise unter die Toleranzgrenze für Inklusion. Die $\alpha_w = 0,7$ -Decke liegt innerhalb der Grenzen.

In diesem Beispiel scheint es so, dass gute Akustik einzig durch die Auswahl einer Akustikdecke mit bestimmtem α_w möglich ist. Die Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die Einbringung und gleichmäßige Verteilung von Absorptionsflächen an den Wänden wichtiger Bestandteil guter Akustik sind und Teil jedes Raumkonzeptes sein sollten. Neubauräume in welche nur eine Akustikdecke mit hoher Absorption, aber ohne zusätzliche Wandabsorber geplant wird, können sich deswegen in der Realität als akustisch ungünstig erweisen.

In Bestandsräumen wird das Schallfeld oft durch Schränke, Sideboards, Wandzeitungen oder ähnlichem ausreichend diffus. Darauf sollte man sich jedoch nicht verlassen und ebenfalls Wandabsorber einplanen, da Einrichtungsgegenstände beweglich sind und nicht garantiert werden kann, dass diese immer im Raum verbleiben.

Darüber hinaus zeigt die Praxis, dass es in der Regel nicht zu Beanstandungen kommt, sofern ein Raum als akustisch angenehm empfunden wird, demnach Absorptionsflächen günstig verteilt sind und das Schallfeld ausreichend diffus ist. Dies kann für Hörgeschädigte und Fremdsprachler auch der Fall sein, falls die Nachhallzeiten im Raum nicht in den nach DIN 18041 erforderlichen Toleranzgrenzen für Inklusion liegen.

Die Faktor 3-Rechnung nach DIN 18041 sollte Bestandteil jeder raumakustischen Planung in Klassenräumen sein, da die gleichmäßige und sinnvolle Verteilung der äquivalenten Absorptionsfläche auf alle drei Raumdimensionen zu einem diffuseren Schallfeld führt. Dabei wird die akustische Situation umso angenehmer empfunden, je kleiner das Verhältnis der Faktoren zueinander ist.

Fazit

Die Botschaft lautet: Hallraummessungen geben Auskunft darüber, wie sich flächige Absorber einer Gesamtgröße von 10 – 14 m² innerhalb eines umlaufenden Rahmens auf der Mitte des Bodens in einem nahezu diffusen Schallfeld verhalten. Die so ermittelten Absorptionsgrade können jedoch nicht eins zu eins auf die reale Situation mit nicht vollständig diffusum Schallfeld übertragen werden

Zu einer guten Akustik in einem üblichen Klassenraum mit Frontalunterricht gehören: Die Decke teilweise oder vollflächig mit einer schallabsorbierenden Decke auszustatten, sowie die Wände teilweise mit Absorbieren zu belegen, möglichst in beiden Raumrichtungen gleichverteilt und auf „Ohrhöhe“ angebracht. In DIN 18041 finden sich hierzu Beispiele. Dabei spielt es, wie gezeigt wurde, weniger eine Rolle, ob eine Akustikdecke mit einem $\alpha_w = 1,00$ oder $0,7$ eingesetzt wird. Die Faktor 3-Regel aus DIN 18041 sollte bei der Verteilung der äquivalenten Absorptionsflächen auf die drei Raumdimensionen angewendet werden. Es genügt somit nicht einfach einen Absorber einzubauen, es muss auch durch weitere Wandabsorber und/oder diffus streuende Einbauten sichergestellt werden, dass dieser so wirksam ist wie in der Berechnung prognostiziert.

Menschen mit Höreinschränkungen brauchen aus akustischer Sicht besondere Aufmerksamkeit. Dabei ist es wichtig, sie in das Direktschallfeld der Sprechlerin, also in Schulklassen vorne, zu platzieren. Darüber hinaus sollte das Gesicht der sprechenden Person gut zu erkennen sein. Dafür kann es nötig sein für zusätzliche Beleuchtung zu sorgen, damit es leichter fällt die Mimik zu erkennen und von den Lippen abzusehen.

Es steht außer Frage, dass Klassenzimmer unbedingt geeigneter Akustikmaßnahmen bedürfen, welche die Nachhallzeit über den Frequenzbereich von 125 Hz – 4000 Hz auf ein gutes Maß von ca. 0,5 s – 0,6 s einstellen. Es muss jedoch darüber hinaus ein Verständnis dafür geschaffen werden, dass Schallstreuung, Diffusität, Absorbierverteilung und der sinnvolle Einsatz von Akustikmaßnahmen wichtiger sind, als mit einem Bauteil mit hohem Schallabsorptionsgrad die Nachhallzeit rechnerisch für gegebene Toleranzgrenzen nachzuweisen.

Ob noch geringere Nachhallzeiten, wie in der DIN 18041 für Inklusion vorgeschlagen, tatsächlich eine Verbesserung für Menschen mit einer Hörschädigung oder Fremdsprachler darstellen, muss wissenschaftlich untersucht werden. Für Lehrer sind extrem geringe Nachhallzeiten im Raum wegen der mehr aufzuwendenden Sprecherenergie ebenfalls zu hinterfragen.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung.
- [2] DIN EN ISO 11654:1997-07 Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden, Bewertung der Schallabsorption.
- [3] DIN EN ISO 354:2003-12 Messung der Schallabsorption in Hallräumen.
- [4] DIN EN 12354-6:2004-04 Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 6 Schallabsorption in Räumen.
- [5] Sabine W. C.: Collected Papers on Acoustics, Harvard University Press, 1922.
- [6] Eyring Carl F.: Reverberation Time in „dead“ Rooms, The Journal of the Acoustical Society of America, January 1930.
- [7] Fitzroy, Dariel: Reverberation Formula Which Seems to Be More Accurate with Nonuniform Distribution of Absorption, The Journal of the Acoustical Society of America, July 1959.
- [8] Aarau-Puchades, H.: An Improved Reverberation Formula, Acoustica Vol. 65, 1988.
- [9] Vorländer M, Mommertz E.: Definition and measurement of random-incidence scattering coefficient, Applied Acoustics 60, 2000.
- [10] Cox T. J., D'Antonio P.: Acoustic Absorbers and Diffusers, Spon Press London, 2004.
- [11] DEGA-Empfehlungen 101, Akustische Wellen und Felder, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., März 2006.
- [12] Hengst K., Drotleff H., Wack R., Blau M.: Methods to characterize the acoustic properties of periodic surfaces, NAG/DAGA Rotterdam, 2009.
- [13] Eggenschwiler K.: Akustische Gestaltung in Schulen, Akustisches Kolloquium ETH Zürich, Mai 2008.
- [14] Drotleff H.: Akustik in offenen Raumstrukturen, Institut für Bauphysik Stuttgart, November 2011.
- [15] Uygun A.: Weniger ist (fast) genauso gut, TrockenBau Akustik Nr. 5, 2006.

Knauf Direkt

Technischer Auskunft-Service:

▶ **Tel.: 09001 31-1000 ***

▶ **knauf-direkt@knauf.de**

▶ **www.knauf.de**

Knauf Gips KG Am Bahnhof 7, 97346 Iphofen

* Ein Anruf bei Knauf Direkt wird mit 0,39 €/Min. berechnet. Anrufer, die nicht mit Telefonnummer in der Knauf Gips KG Adresdatenbank hinterlegt sind, z. B. private Bauherren oder Nicht-Kunden, zahlen 1,69 €/Min. aus dem deutschen Festnetz. Mobilfunk-Anrufe können abweichen, sie sind abhängig vom Netzbetreiber und Tarif.

Technische Änderungen vorbehalten. Es gilt die jeweils aktuelle Auflage. Die enthaltenen Angaben entsprechen unserem derzeitigen Stand der Technik. Die allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik, einschlägige Normen, Richtlinien und handwerklichen Regeln müssen vom Ausführenden neben den Verarbeitungsvorschriften beachtet werden. Unsere Gewährleistung bezieht sich nur auf die einwandfreie Beschaffenheit unseres Materials. Verbrauchs-, Mengen- und Ausführungsangaben sind Erfahrungswerte, die im Falle abweichender Gegebenheiten nicht ohne weiteres übertragen werden können. Alle Rechte vorbehalten. Änderungen, Nachdruck und fotomechanische sowie elektronische Wiedergabe, auch auszugsweise, bedürfen unserer ausdrücklichen Genehmigung.