
RICHTIG VERSTANDEN

GUTE AKUSTIK IN UNTERRICHTSRÄUMEN

Dr. Moritz Späh

5. Kongress ZUKUNFTSRAUM SCHULE, Stuttgart, 14. und 15. November 2017



Überblick

- Einleitung
- Anforderungen an die Raumakustik
- Projekt Klassenraum mit Knauf
- Messergebnisse
- Fazit

Einleitung

- Raumakustik von Klassenräumen seit Jahrzehnten ein Thema
- Wirkung von Lärm und Nachhall
- Neue Norm von März 2016: DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen
- Planung der Raumakustik von Klassenräumen
- Anordnung der schallabsorbierenden Materialien
- Produkte mit hohem Schallabsorptionsgrad

DIN 18041:2016 Hörsamkeit in Räumen

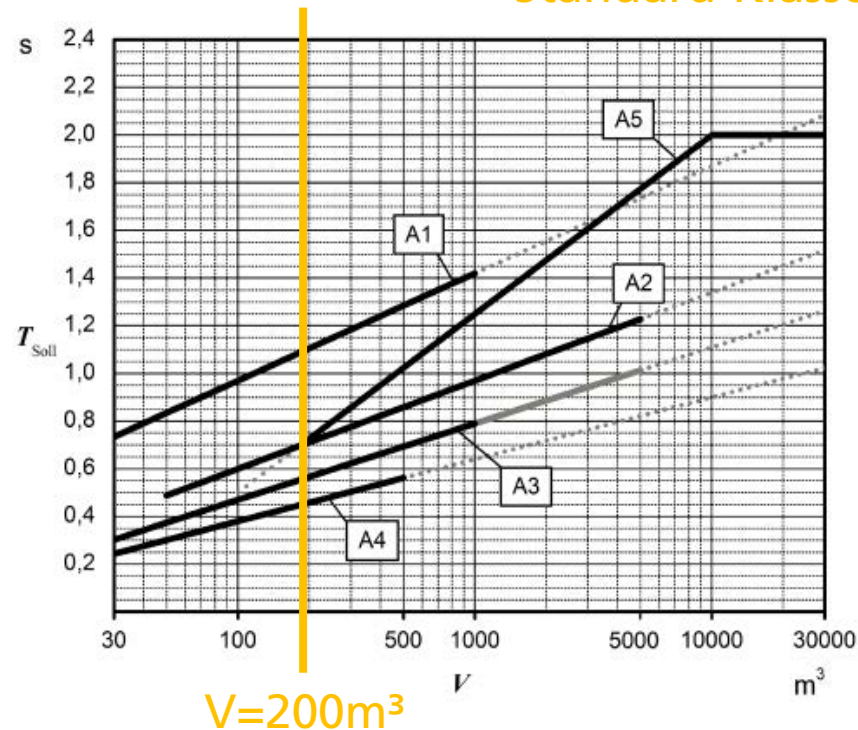
- Gliederung in Räume der Gruppe A für die Hörsamkeit über mittlere und größere Entfernungen (z.B. Unterrichtsräume in Schulen, Gruppenräume, Konferenzräume, Seminarräume, Hörsäle, Sport- und Schwimmhallen)
- und in Räume der Gruppe B für Hörsamkeit über geringe Entfernungen (Verkehrsflächen mit Aufenthalt, Speiseräume, Kantinen, Umkleiden, Ausstellungsräume, Eingangshallen, Büros)
- Behandelt nicht die Hörsamkeit in Räumen mit speziellen Anforderungen wie Theater, Kinos, Konzertsäle, Studios, Regieräume, Wohnungen und Wohnräume

DIN 18041:2016 Hörsamkeit in Räumen

- Gruppe A:
Sprecher / Übertragung / Hören
beeinflusst durch Nachhallzeit, Schallreflexionen und Störgeräusche
- Optimale Sprachverständlichkeit:
geringe bis mäßige Sprechanstrengung
viel Direktschall und frühe erste Reflexionen bis 50 ms
- Reduktion von langem Nachhall, späte energiereiche Reflexionen,
Störgeräusche, keine Flatterechos
- Inklusion und Schwerhörige: Unterstützung durch technische Hilfsmittel
(Hörgeräte, induktive Höranlagen, Infrarot- oder Funkübertragung),
visuelle Unterstützung z.B. Absehen von den Lippen

Anforderung nach DIN 18041

Standard-Klassenzimmer



Legende

T_{Soll} Soll-Nachhallzeit in Sekunden

V Volumen in Kubikmeter

Soll-Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen für im Sinne dieser Norm typische Raumvolumina in Sekunden

Soll-Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen in Sekunden

Soll-Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen für im Sinne dieser Norm untypische Raumvolumina in Sekunden

A1 Nutzungsart: „Musik“

A2 Nutzungsart: „Sprache/Vortrag“

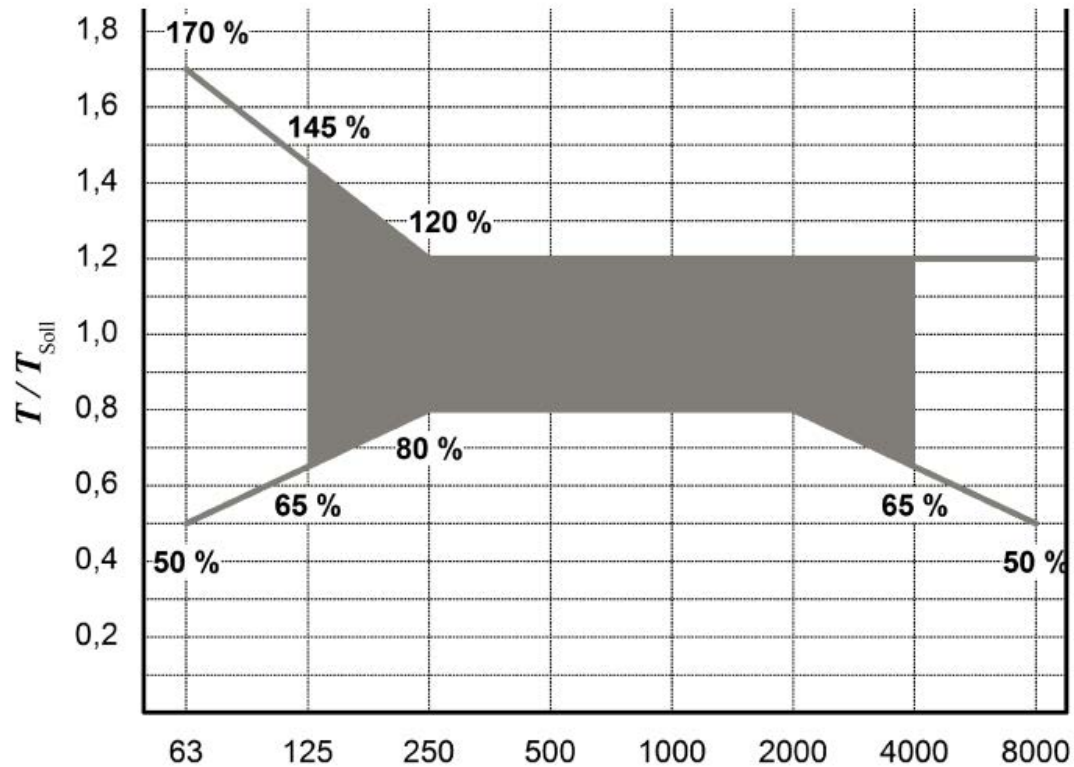
A3 Nutzungsart: „Unterricht/Kommunikation“ (bis 1 000 m³) sowie „Sprache/Vortrag inklusiv“ (bis 5 000 m³)

A4 Nutzungsart: „Unterricht/Kommunikation inklusiv“

A5 Nutzungsart: „Sport“

Quelle: DIN 18041:2016

Toleranzbereich nach DIN 18041



Legende

T/T_{Soll} frequenzabhängige Nachhallzeit T bezogen auf die Soll-Nachhallzeit T_{Soll}

f Frequenz in Hertz

Quelle: DIN 18041:2016

Anforderung nach DIN 18041

- Standard-Klassenzimmer:
Abmessung 10,0 m x 6,90 m x 2,9 m,
Raumvolumen 200 m³
- Nachhallzeit gefordert:
A3: 0,57 s (Unterricht / Kommunikation)
A4: 0,46 s (Unterricht / Kommunikation inklusiv)
- Die Anforderungen beziehen sich auf den besetzten Zustand, mit
Besetzungsgrad von 80% der Regelbesetzung
- Empfehlung Störschalldruckpegel $L_{NA,Bau} \leq 35$ dB

Zur Planung nach DIN 18041

- Messungen der Nachhallzeiten werden in der Regel im unbesetzten Zustand durchgeführt
- Bei der Nutzung des Raumes kann ein geringer Belegungsgrad als 80 % durchaus vorkommen
- Planung sollte daher darauf hinzielen, T_{soll} zu erreichen, so dass der Toleranzbereich für Mess- und Ausführungstoleranzen erhalten bleibt
- Akustiker sollte schon bei der Vor- und Entwurfsplanung eingebunden sein, um die Maßnahmen mit den Planungsbeteiligten abzustimmen

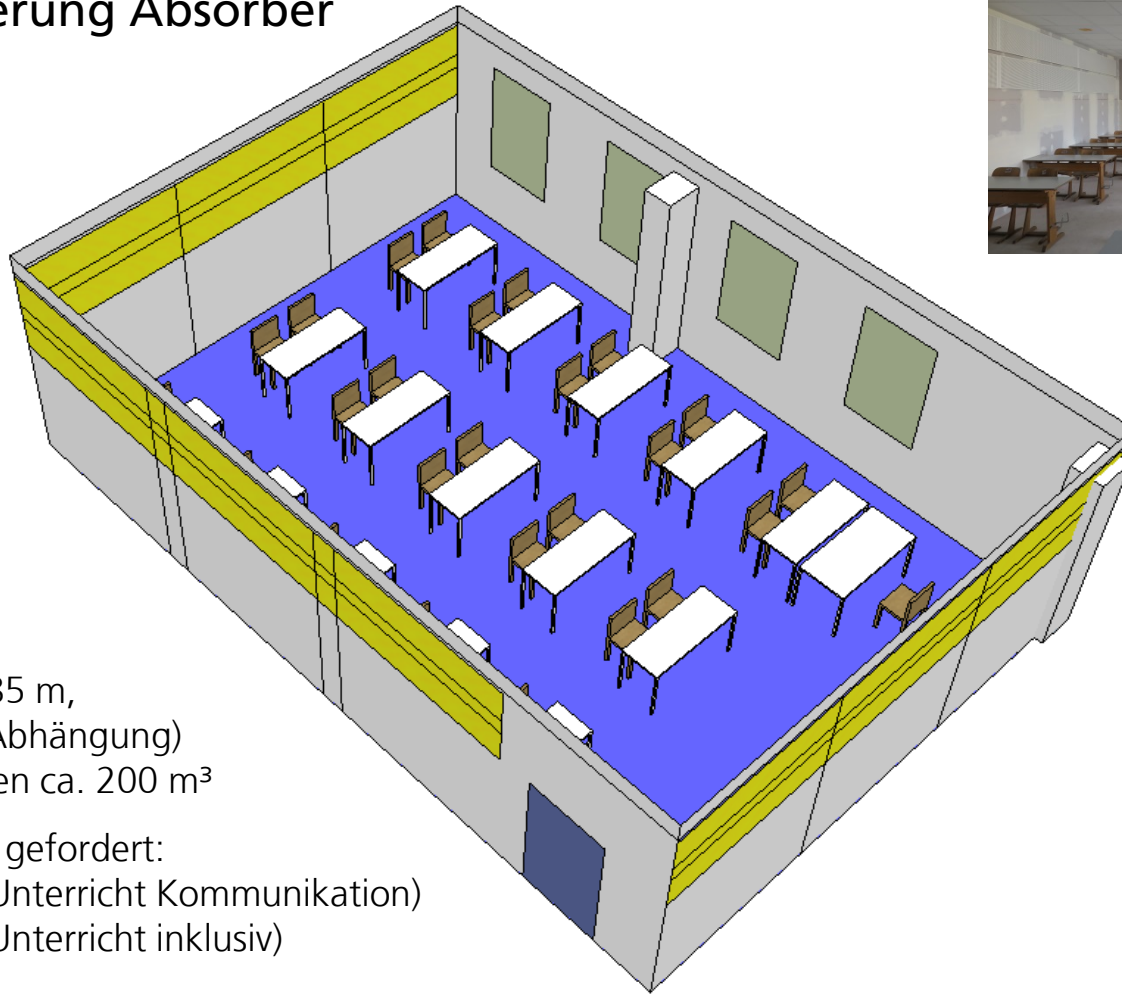
Zur Planung nach DIN 18041

Positionierung akustisch wirksamer Flächen

- Grundsätzlich sollten die absorbierenden Flächen gleichmäßig auf die drei Dimensionen des Raumes verteilt werden
- Bei vollständig schallabsorbierender Decke besteht die Gefahr von Flatterechos und verlängerter Nachhallzeit
- Anhang A2: Keine Raumdimension sollte mehr als das 5-fache jeder anderen Raumdimension betragen
- Anhang A2: 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.
- Weitere Hinweise bei Einsatz von Beschallungsanlagen, die in der Regel in Klassenräumen nicht eingesetzt werden

Projekt Klassenraumakustik

Positionierung Absorber



Quelle: Knauf

- Raum:
L = 10,0 m
B = 6,90 m
H = 3,1 / 2,85 m,
(UD 25 cm Abhängung)
Raumvolumen ca. 200 m³
- Nachhallzeit gefordert:
A3: 0,57 s (Unterricht Kommunikation)
A4: 0,46 s (Unterricht inklusiv)

KNAUF

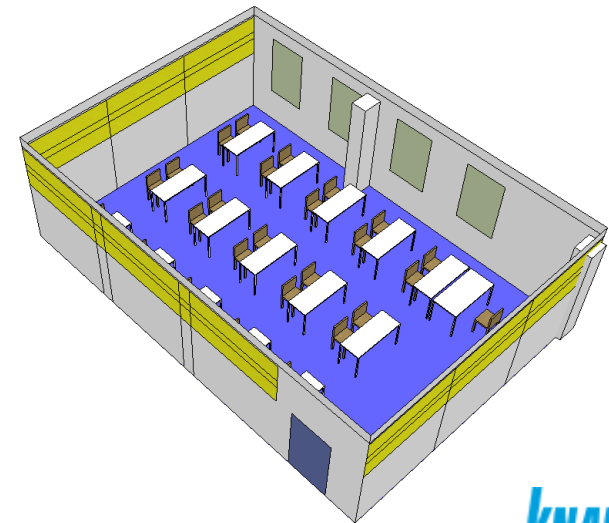
Projekt Klassenraumakustik

Positionierung Absorber

- Variation Decke
 - Variation der Ausstattung mit Stühlen / Tischen
 - Variation von Wandabsorbern
 - Variation der Positionierung der Wandabsorber
-
- Messung der Nachhallzeit
 - Berechnung der Nachhallzeit mit verschiedenen Berechnungsmethoden
 - Sabine, Eyring
 - Fitzroy, Arau-Puchades
 - Raumakustik-Simulation Odeon

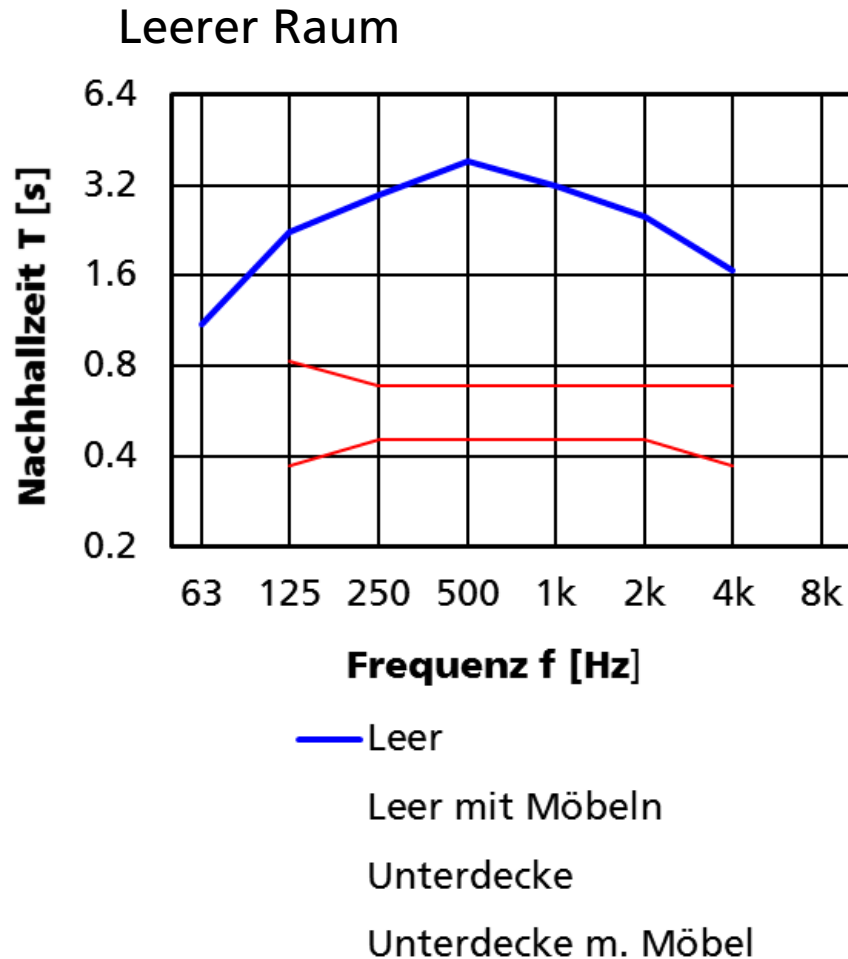


Quelle: Knauf



KNAUF

Projekt Klassenraumakustik



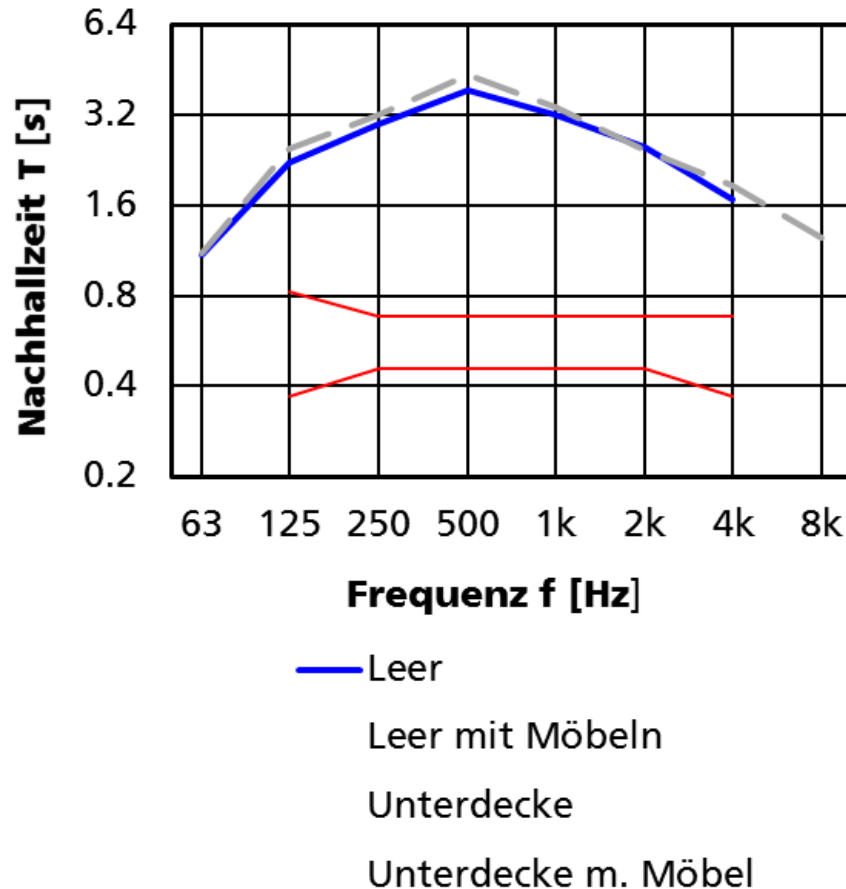
Quelle: Knauf

- Anforderung nach DIN 18041 A3
- (Unterricht / Kommunikation)

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Leerer Raum – Faktor $A_z/A_x/A_y$: 1 / 1.64 / 1.11



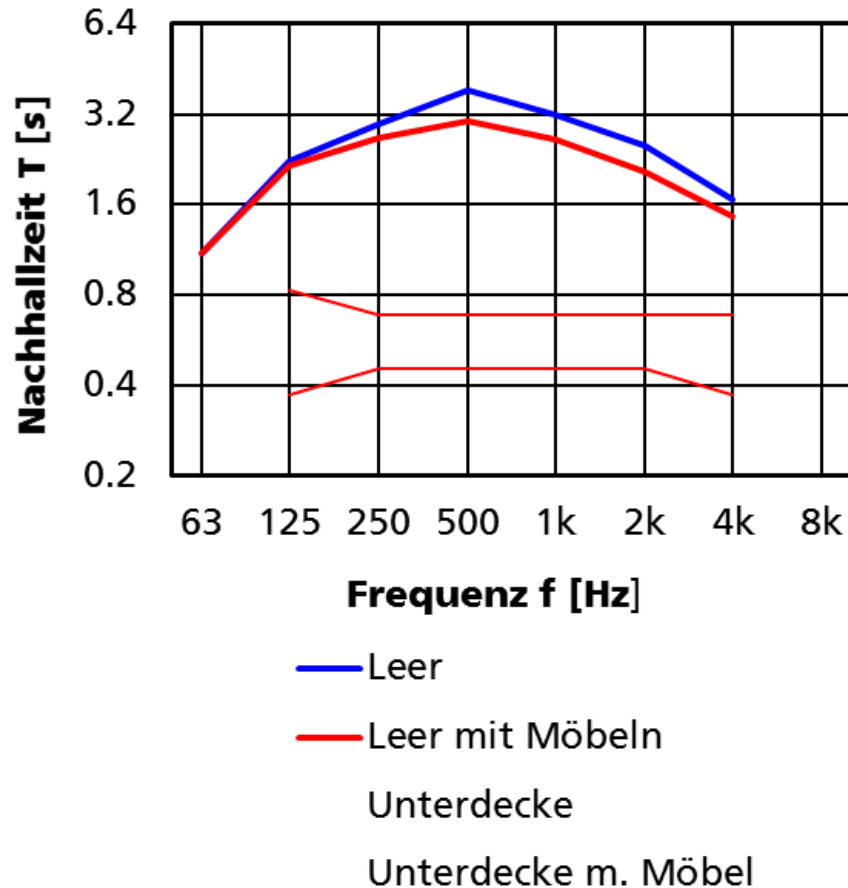
Quelle: Knauf

- Anforderung nach DIN 18041 A3
- (Unterricht / Kommunikation)
- — Berechnung nach Sabine

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Leerer Raum mit Möbeln

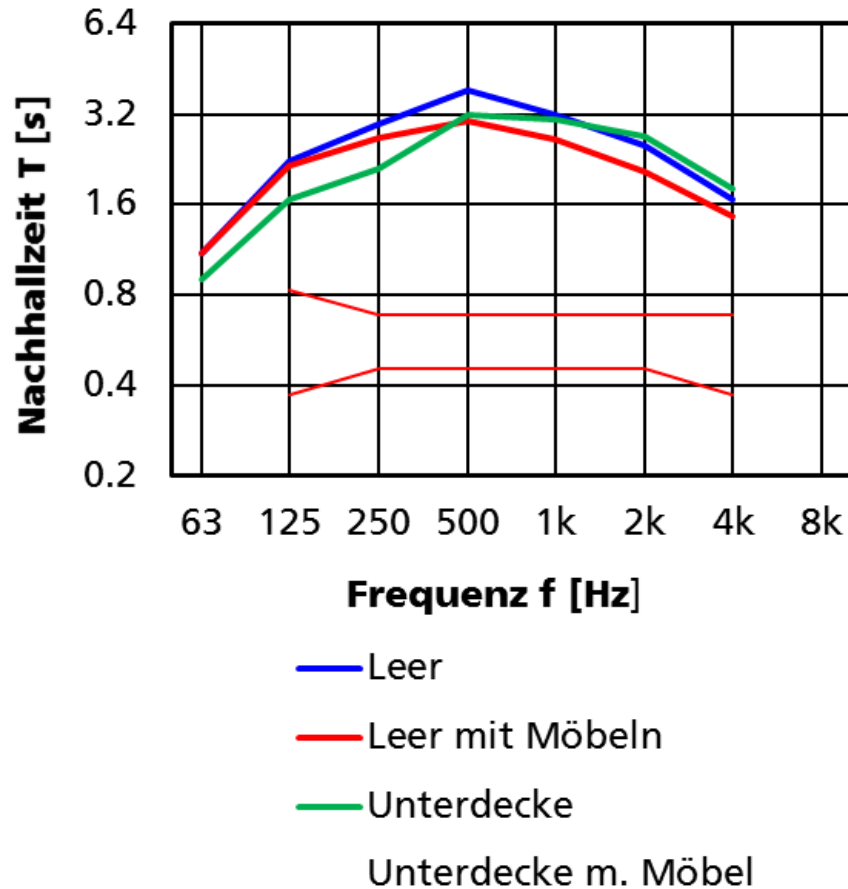


Quelle: Knauf

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Unterdecke

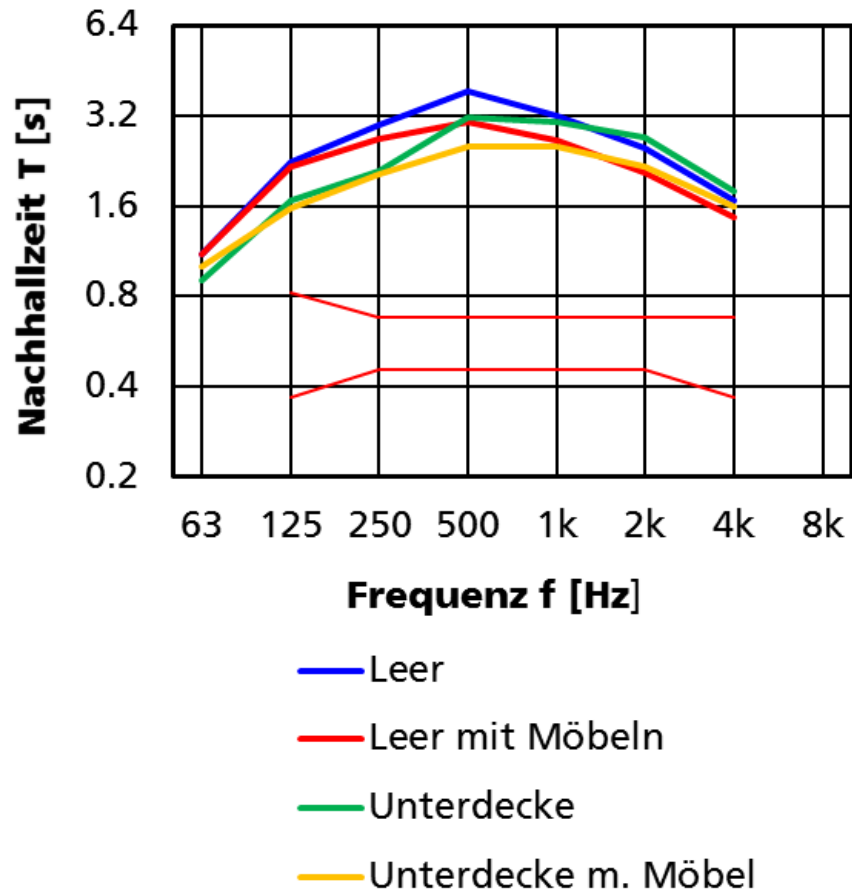


Quelle: Knauf

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Unterdecke und Möbeln



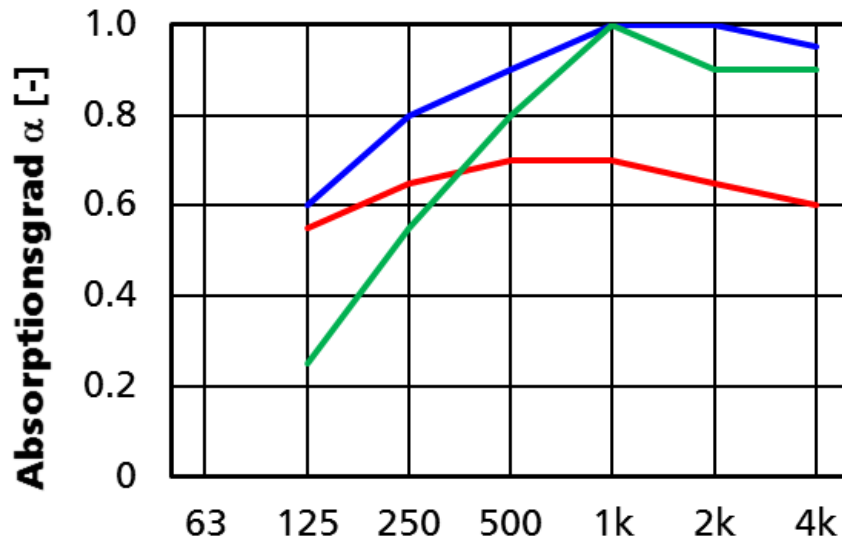
Quelle: Knauf

- Deutlich zu lange Nachhallzeit
- Gleichmäßige Verteilung der (wenigen) Absorption
- Wenig Einfluss durch Möblierung

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Absorptionsgrad Akustikelemente



- Frequenz f [Hz]**
- Akustikdecke 1 $aw=1,0$
 - Akustikdecke 2 $aw=0,7$
 - Wandabsorber $aw=0,8$

Gelochte GK-Akustikdecke mit Mineralwolleauflage



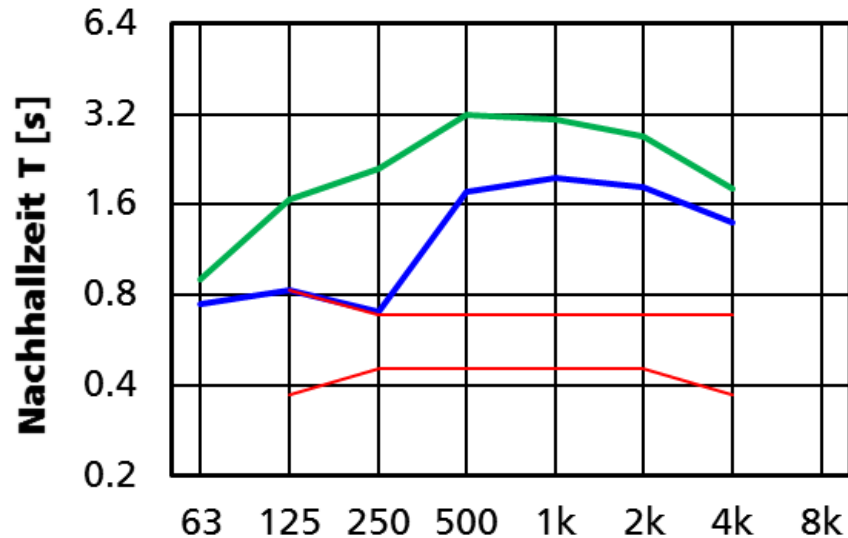
Quelle: Knauf



KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$



Frequenz f [Hz]

— Unterdecke

— Akustikdecke 1

Akustikd. 1 m. Möbeln

Akustikd. 1 m Möbel u Wandabs

Akustikd. 1 m Möbel u Wandabs Ohrhöhe

Mineralwolle-Akustikdecke



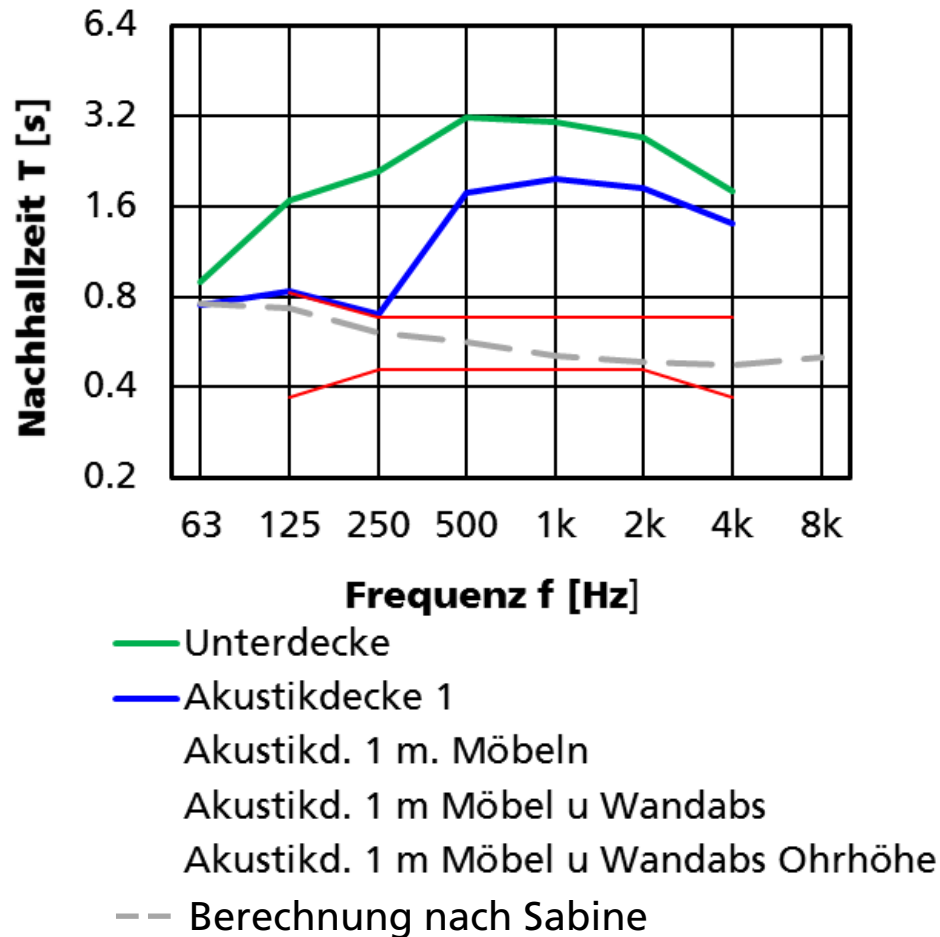
Quelle: Knauf

- Tieffrequent (250 Hz) deutliche Reduktion
- Oberhalb 250 Hz deutliche Abweichung

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$ - Faktor $A_z/A_x/A_y$: 1 / 0.19 / 0.13



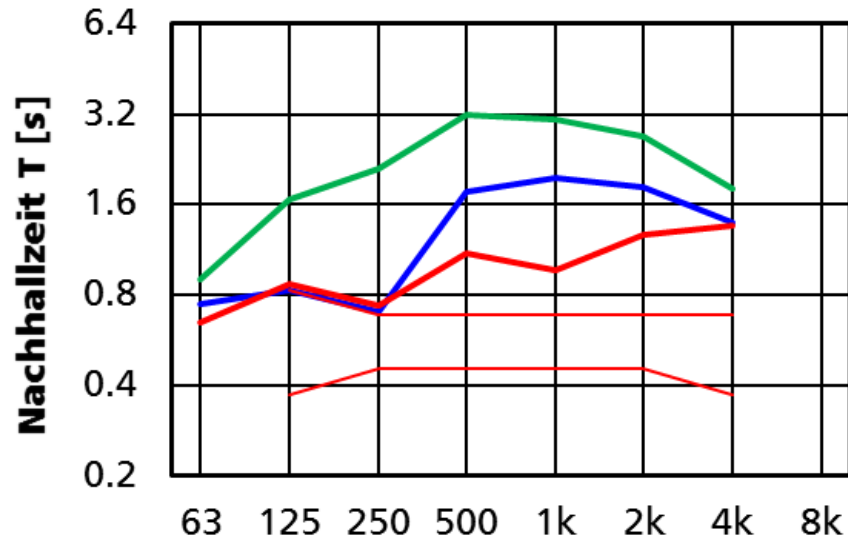
Quelle: Knauf

- Tieffrequent (250 Hz) deutliche Reduktion
- Oberhalb 250 Hz deutliche Abweichung

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$



Frequenz f [Hz]

- Unterdecke
- Akustikdecke 1
- Akustikd. 1 m. Möbeln
- Akustikd. 1 m Möbel u Wandabs
- Akustikd. 1 m Möbel u Wandabs Ohrhöhe



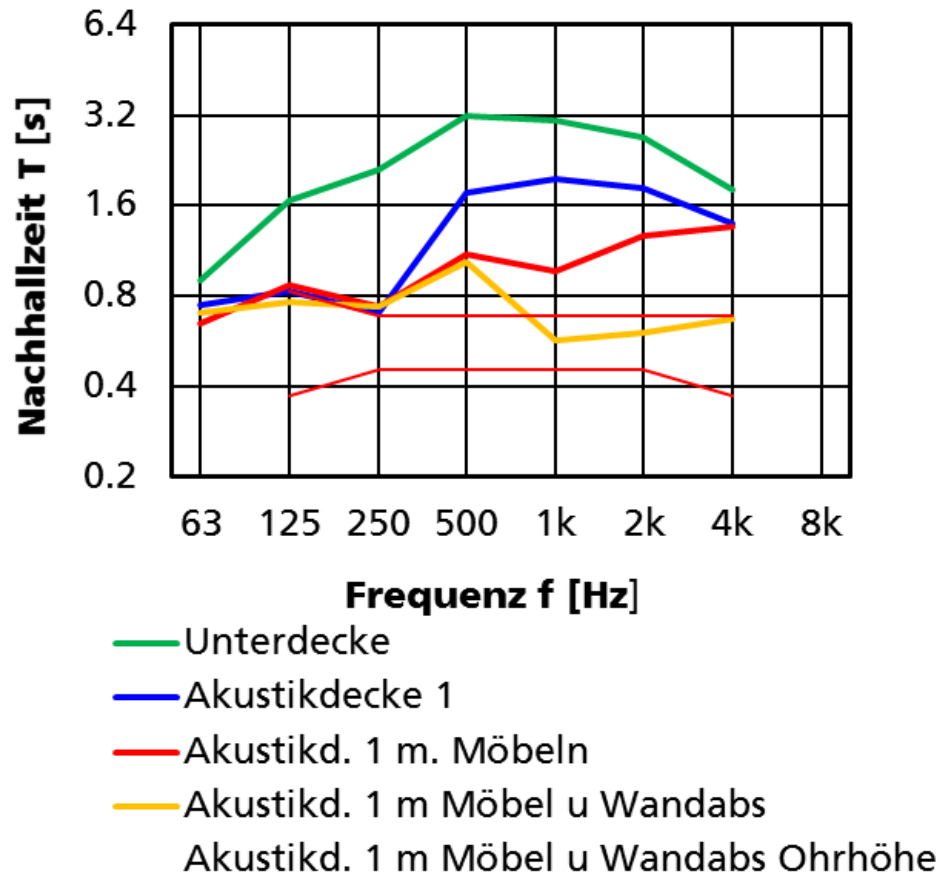
Quelle: Knauf

- Mittelfrequenz deutliche Reduktion der N_{hz}

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$ Faktor $A_z/A_x/A_y$: 1 / 0.47 / 0.81



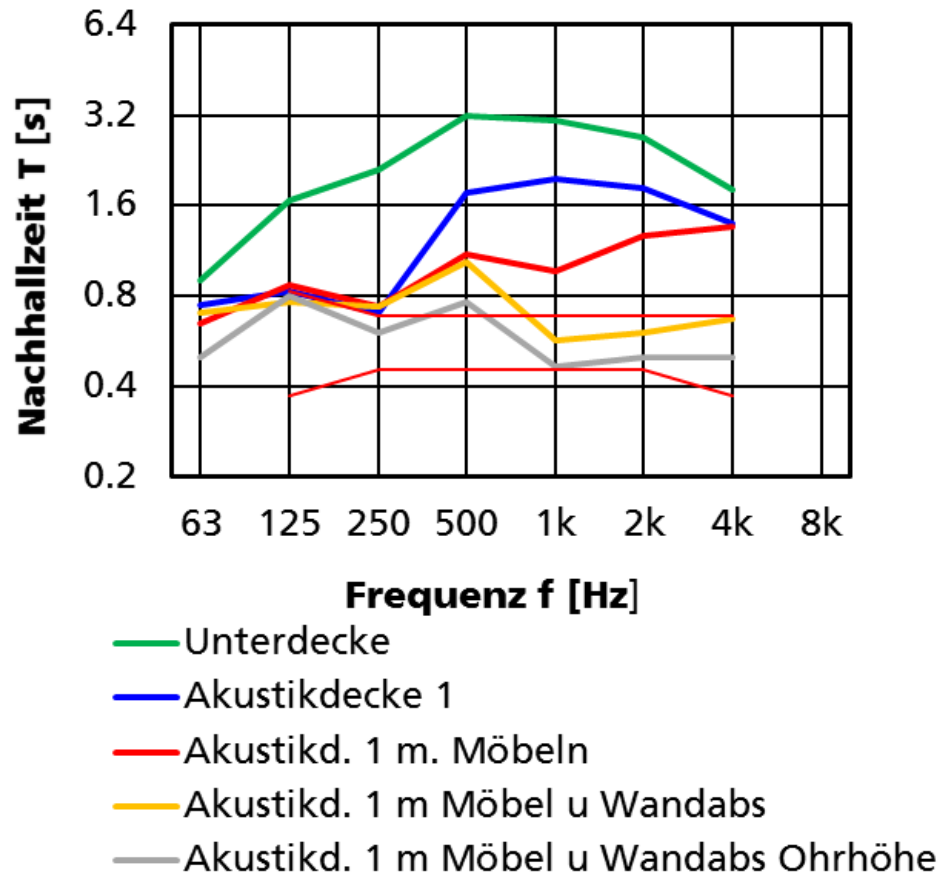
Quelle: Knauf

- Mit Wandabsorber hochfrequent Reduktion der Nhz

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$ Faktor $A_z/A_x/A_y$: 1 / 0.47 / 0.81



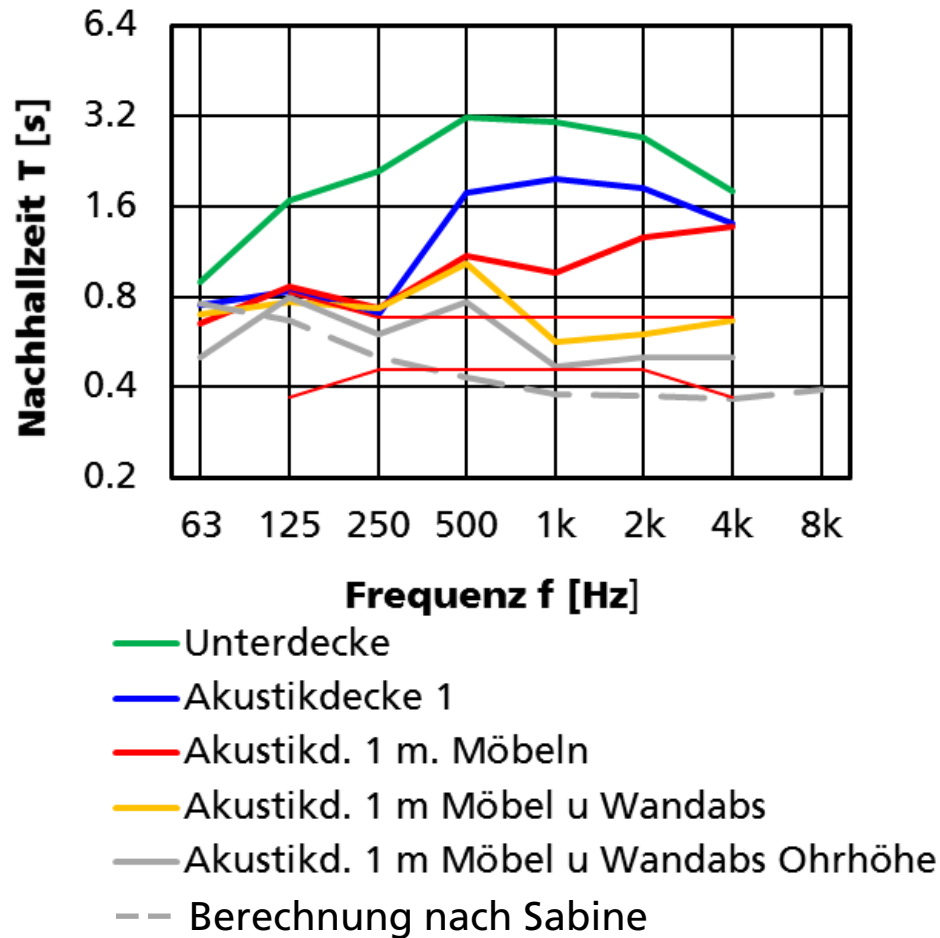
Quelle: Knauf

- Wandabsorber in Ohrhöhe erzielt niedrigere N_{hz}
- Wichtig: Absorberposition / Einrichtung spielt wichtige Rolle

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$



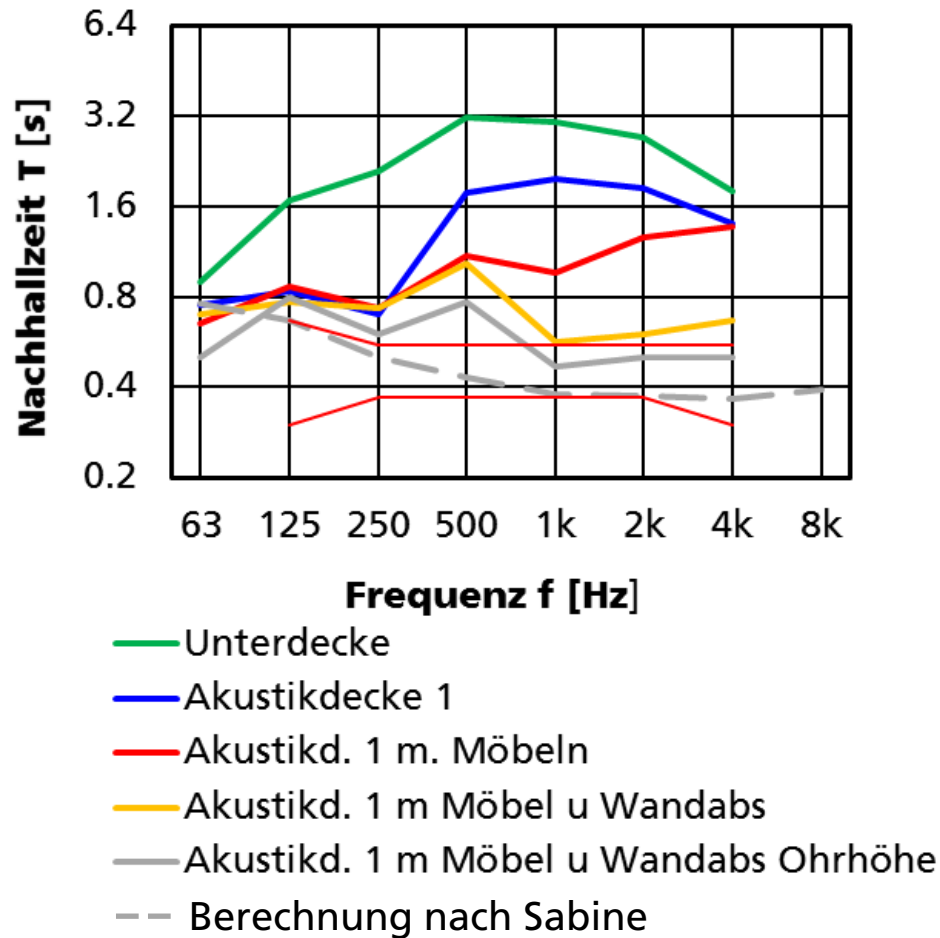
Quelle: Knauf

- Wandabsorber in Ohrhöhe erzielt niedrigere N_{hz}
- Wichtig: Absorberposition / Einrichtung spielt wichtige Rolle

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$



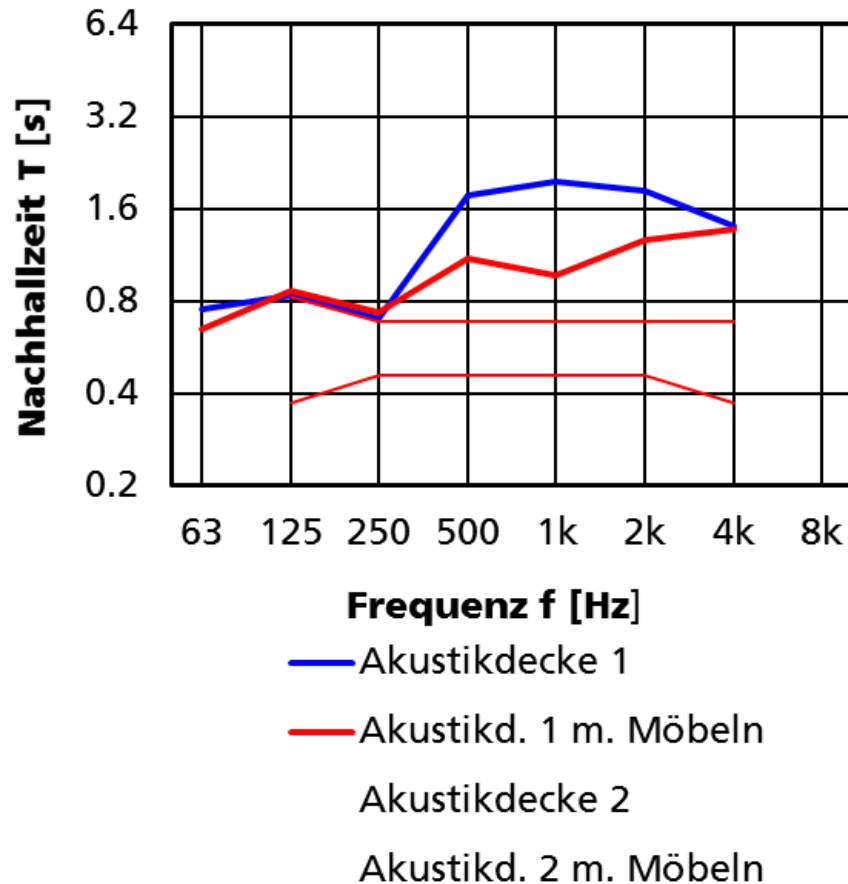
Quelle: Knauf

— Anforderung nach DIN 18041 A4
 (Unterricht inklusiv)

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$



; Faktor $A_z/A_x/A_y$: 1 / 0.18 / 0.12



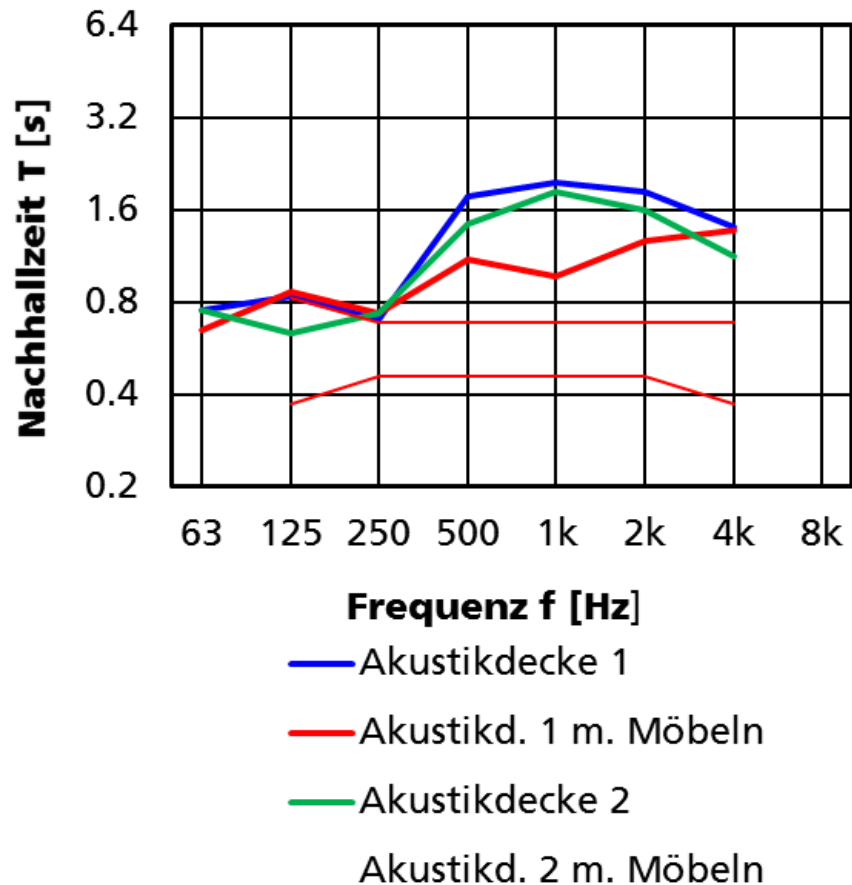
Quelle: Knauf

- Wandabsorber in Ohrhöhe erzielt niedrigere Nhz
- Wichtig: Absorberposition / Einrichtung spielt wichtige Rolle

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$ / $\alpha_w=0,7$; Faktor $A_z/A_x/A_y$: 1 / 0.20 / 0.14



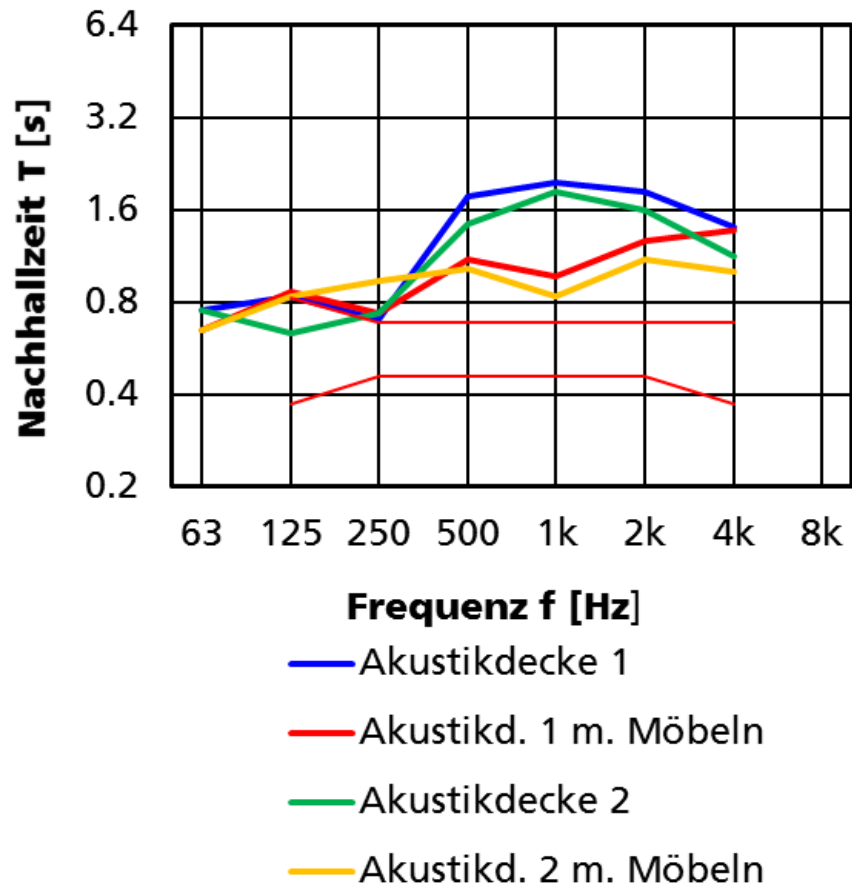
Quelle: Knauf

- Akustikdecke 2 tieffrequent wenig wirksam (C-Absorber)
- hochfrequent etwas geringere N_{hz}

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$ / $\alpha_w=0,7$; Faktor $A_z/A_x/A_y$: 1 / 0.20 / 0.14



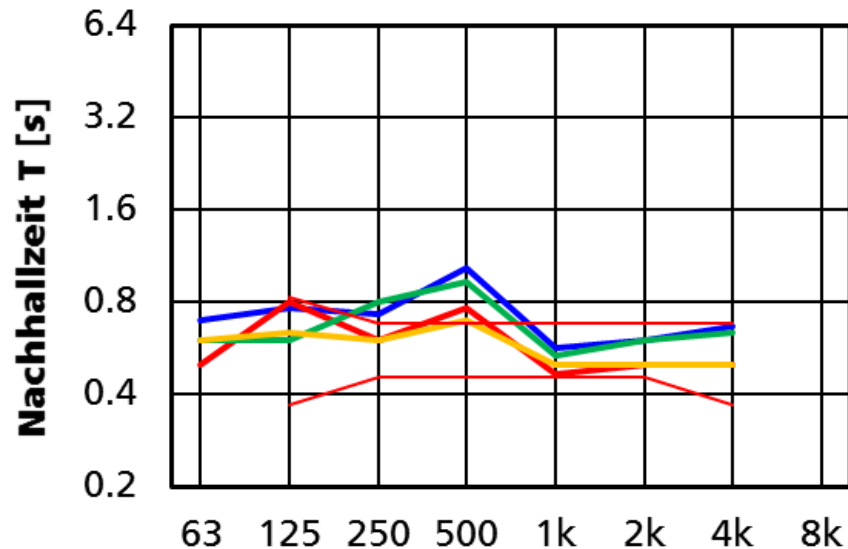
Quelle: Knauf

- Akustikdecke 2 tieffrequent wenig wirksam (C-Absorber)
- hochfrequent etwas geringere N_{hz}

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$ / $\alpha_w=0,7$; Faktor $A_z/A_x/A_y$: 1 / 0.61 / 1.01



Frequenz f [Hz]

- Akustikd. 1 m Möbel u Wandabs
- Akustikd. 1 m Möbel u Wandabs Ohrhöhe
- Akustikd. 2 m Möbel u Wandabs
- Akustikd. 2 m Möbel u Wandabs Ohrhöhe



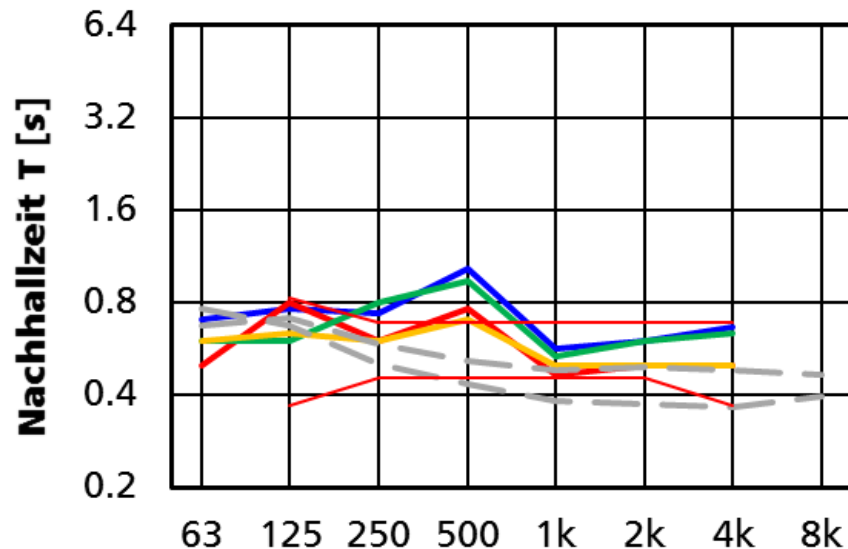
Quelle: Knauf

- Akustikdecke 2 tieffrequent wenig wirksam (C-Absorber)
- hochfrequent etwas geringere Nh_z

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Raum mit Akustikdecke $\alpha_w=1,0$ / $\alpha_w=0,7$



Frequenz f [Hz]

- Akustikd. 1 m Möbel u Wandabs
- Akustikd. 1 m Möbel u Wandabs Ohrhöhe
- Akustikd. 2 m Möbel u Wandabs
- Akustikd. 2 m Möbel u Wandabs Ohrhöhe
- — Berechnung nach Sabine



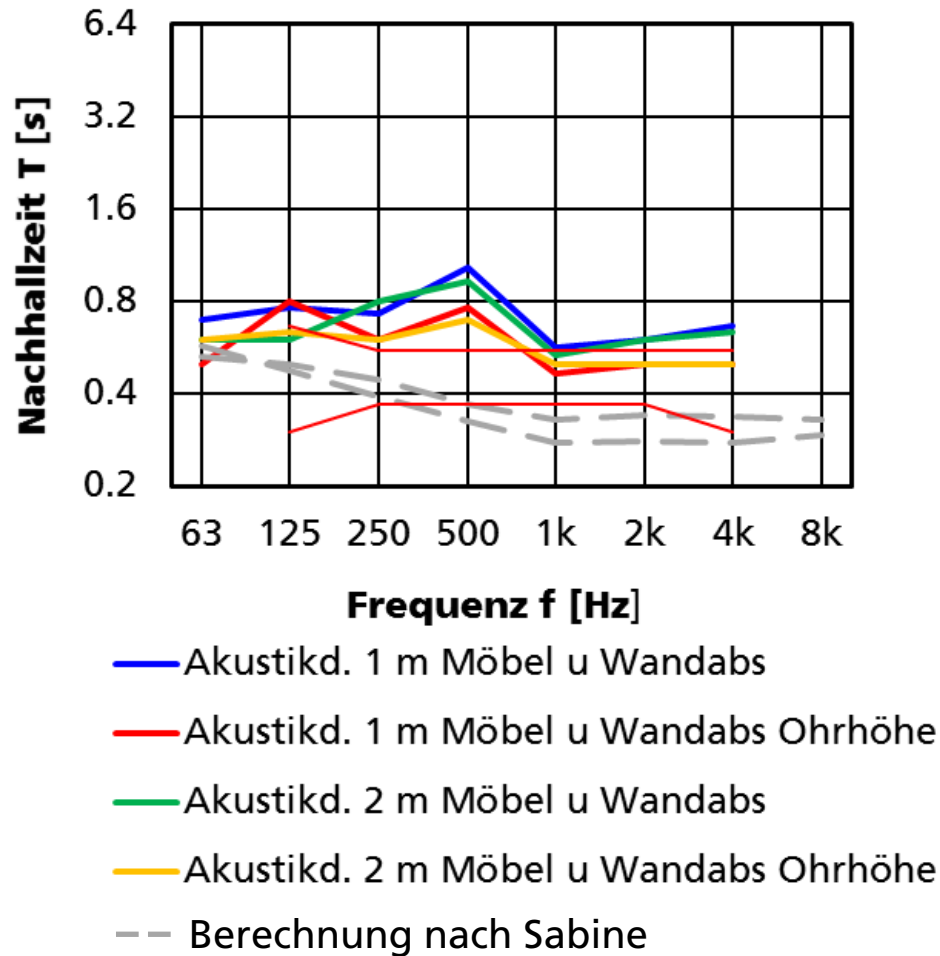
Quelle: Knauf

- Akustikdecke 2 tieffrequent wenig wirksam (C-Absorber)
- Hochfrequent etwas geringere N_{hz}

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Berechnung mit Personen 80 % = 24 Schüler



Quelle: Knauf

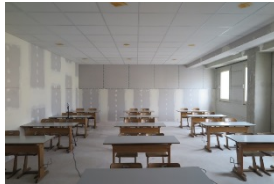
— Anforderung nach DIN 18041 A4
(Unterricht inklusiv)

KNAUF

Projekt Klassenraumakustik

Fazit

- Schallabsorbierende Decke ist in Klassenzimmern notwendig
- Alleine führt sie zu einer ungleichmäßigen Verteilung, so dass längere Nachhallzeiten als nach Sabine berechnet entstehen
- Möglichst gleichmäßig verteilte Wandabsorber sind zusätzlich notwendig (zusätzliche Absorption und Streuwirkung)
- Faktor 3 aus DIN 18041 ist sinnvoll und sollte beachtet werden
- Der Unterschied verschiedener Akustik-Decken mit α_w 1,0 / 0.7 ist im Raum gering
- Empfehlung: Akustikdecke + in alle Richtungen verteilte Wandabsorber, weitere diffus streuende Einbauten



Quelle: Knauf

KNAUF