

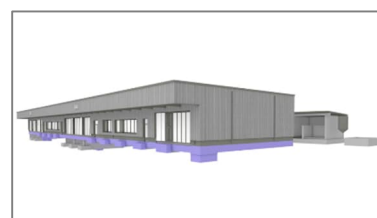
NEUBAU BERUFLICHE SCHULEN LANDSBERG BAUTEIL I

Spitalfeldstraße 11 | 86899 Landsberg am Lech

RAUMAKUSTIK

DIN 18041 - Hörsamkeit in Räumen

Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.7



NR. 175425 / 149331-1

AUFTRAGGEBER/ BAUHERR

Landratsamt Landsberg am Lech
Von-Kühlmann-Straße 15
86899 Landsberg am Lech

ARCHITEKT

Kern Architekten PartGmbB
Bürgermeister-Krach-Straße 6
87719 Mindelheim

BEARBEITER

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Cejnek
Anna Gries-Maslak M. Sc.

Stuttgart, 30.01.2026

Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung / Vorbemerkungen.....	3
2.	Grundlagen.....	4
2.1.	Normen, Richtlinien, Unterlagen.....	4
2.2.	Grundlagen der Raumakustik.....	5
3.	Anforderungen und Beurteilungsgrundlagen.....	8
3.1.	Anforderungen und Empfehlungen nach DIN 18041.....	8
3.2.	Anforderungen der Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.7.....	9
4.	Berechnungsgrundlagen.....	11
4.1.	Raumsituationen.....	11
4.2.	Schallabsorbierende Maßnahmen.....	12
4.2.1.	RA 01 Deckenstrahlplatten.....	12
4.2.2.	RA 02 Akustikdecke direkt befestigt.....	13
4.2.3.	RA 03 abgehängte Akustikdecke.....	13
4.2.4.	RA 04 Wandabsorber.....	14
4.2.5.	Sonstige raumumschließende Oberflächen.....	15
5.	Berechnung und Beurteilung.....	16
5.1.	Klassenzimmer / Unterrichtsräume.....	16
5.2.	Lehrerzimmer / Büroräume.....	18
5.3.	Werkstätten / Schalungshallen.....	20
6.	Zusammenfassung / Schlussbemerkungen.....	22
	Anlagen.....	22

1. Aufgabenstellung / Vorbemerkungen

Für den *Neubau des Bauteils I der Beruflichen Schulen in Landsberg am Lech* wird im Folgenden die raumakustische Qualität exemplarisch an einzelnen Räumen überprüft und ausgelegt. Dabei werden die Anforderungen bzw. die Empfehlungen nach DIN 18041 - Hörsamkeit in Räumen in ihrer aktuellsten Fassung von März 2016 genannt und raumakustische Maßnahmen aufgezeigt, mit welchen diese Anforderungen bzw. Empfehlungen erfüllt werden können. Durch geeignete Maßnahmen können Faktoren wie Nachhallzeit und Schallreflexion im Raum beeinflusst werden, um so für eine gute Sprachverständlichkeit und akustische Behaglichkeit im Innenraum zu sorgen.

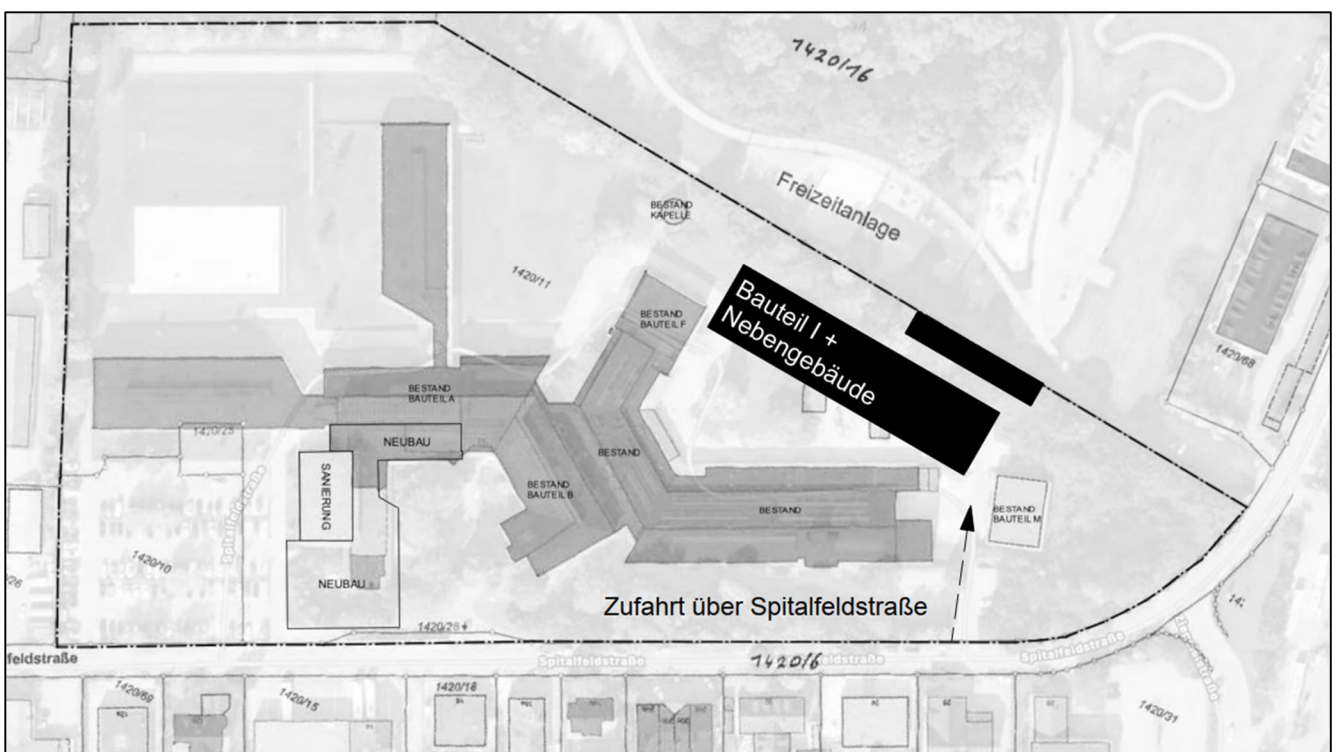


Abbildung 1: Lageplan mit Lage des Neubaus Bauteil I

2. Grundlagen

2.1. Normen, Richtlinien, Unterlagen

Normen / Richtlinien

- DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung
- DIN EN 12354-6:2004-04 Teil 6: Schallabsorption in Räumen
- ASR A3.7 Technische Regeln für Arbeitsstätten, Ausgabe: Mai 2018
- Fuchs, H.V.; Lamprecht, J.; Zha, X.; Zur Steigerung der Wirkung passiver Absorber: Schall in Raumkanten schlucken! Gesundheits-Ingenieur 132 (2011) Heft 5
- Abstimmung der Maßnahmen mit den Architekten

Planunterlagen Architektur

- Schnitte / Ansichten - Maßstab 1:50, Stand 09.12.2025
- Grundrisse - Maßstab 1:50, Stand 09.12.2025

2.2. Grundlagen der Raumakustik

Frequenzbereiche

Der hörbare Bereich des menschlichen Gehörs liegt ca. bei 20 Hz bis 20.000 Hz. In der Abbildung 2 ist die Hörschwelle und die Kurven gleicher Lautstärke nach DIN ISO 226 abgebildet. In der Raumakustik wird der Frequenzbereich der Oktavmittelfrequenzen von 125 Hz bis 4000 Hz betrachtet und entspricht weitestgehend dem Frequenzspektrum der menschlichen Stimme.

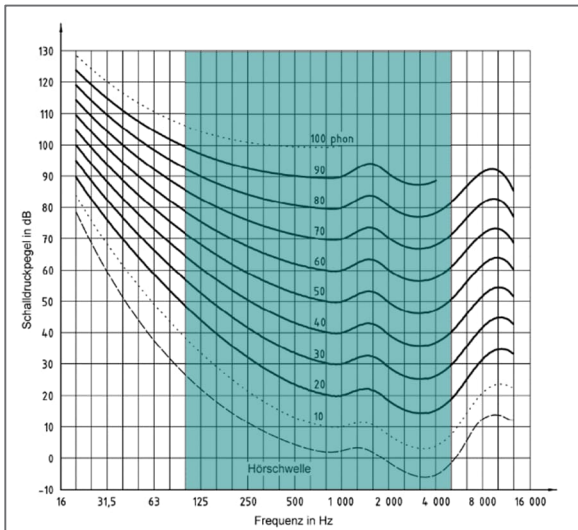


Abbildung 2: Hörschwelle nach DIN ISO 226 mit raumakustischem Frequenzbereich

Absorptionsgrad und Äquivalente Schallabsorptionsflächen

Der Schallabsorptionsgrad beschreibt den Anteil der der Schallenergie, welche durch Umwandlung in Wärme (Dissipation) oder durch Austritt aus dem betrachteten Bereich (Transmission) dem Raum entzogen wird.

Die Äquivalente Schallabsorptionsfläche $A_{\text{äq}}$ bezeichnet eine hypothetische Fläche einer vollständig absorbierenden Oberfläche ohne Beugungseffekte, die, falls sie das einzige absorbierende Element im Raum wäre, dieselbe Nachhallzeit wie der betrachtete Raum ergeben würde und wird Folgender Gleichung [1] ermittelt:

$$A_{\text{äq}} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad [1]$$

$A_{\text{äq}}$	äquivalente Schallabsorptionsfläche in m ²
α	Schallabsorptionsgrad
S	Bauteilfläche in m ²

Nachhallzeit

Abhängig von den Flächenanteilen der verschiedenen Oberflächen und deren absorbierenden oder reflektierenden Oberflächen kann die Nachhallzeit eines Raumes näherungsweise berechnet werden. Generell gilt: Glatte Oberflächen sind eher „schallhart“ und reflektieren einen großen Teil des Schalls, weiche oder poröse Oberflächen „schlucken“ Schallwellen und absorbieren somit den Schall.

Die Nachhallzeit ist ein wesentliches Kriterium für die Bewertung der Raumakustik. Die Nachhallzeit ist die Zeitdauer zwischen dem Abschalten der Quelle und dem Zeitpunkt, an dem die räumlich gemittelte Schallenergiedichte in einem geschlossenen Raum auf den millionstel Teil des Wertes (d.h. der Abnahme des Pegels um 60 dB) unmittelbar vor dem Abschalten abgenommen hat (siehe Abbildung 3). Je größer die Schallabsorption ist, desto kürzer ist die Nachhallzeit.

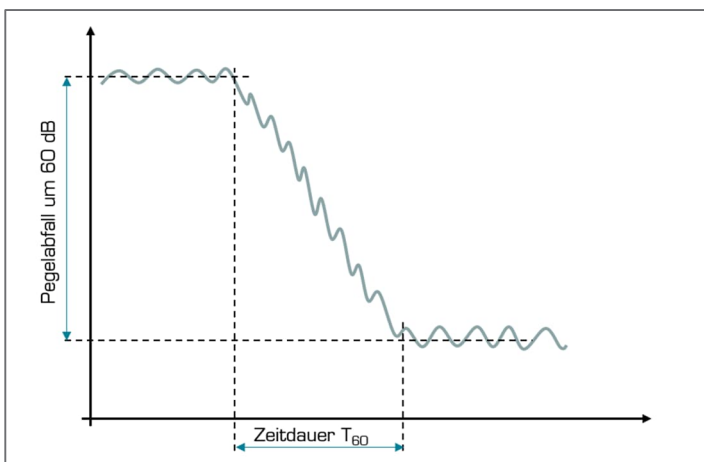


Abbildung 3: Grafische Darstellung der Nachhallzeit

Die Nachhallzeit T berechnet sich mit hinreichender Genauigkeit nach der SABINE'schen Nachhallgleichung [2]:

$$T_{60} = 0,163 \cdot \frac{V}{A_{\text{äq}}} \quad [2]$$

mit: V Raumvolumen in m^3
 $A_{\text{äq}}$ äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2

Es gilt:

$\alpha = 0$ völlig reflektierende Oberfläche („schallhart“)

$\alpha = 1$ völlig absorbierende Oberfläche („schall-angepasst“)

Reflexionsfaktor, diffuse Reflexion

Der komplexe Reflexionsfaktor beschreibt die Bauteileigenschaft einer Oberfläche und gibt den Anteil der reflektierten Schallenergie wieder. Aus dieser frequenzabhängigen Kenngröße lässt sich der Absorptionsgrad α ableiten.

Bei großen Räumen kann es erforderlich sein, die Schallenergie in bestimmte Bereiche zu lenken. Die reflektierende Fläche muss einerseits für die interessierenden Frequenzen ausreichend schallhart sein und andererseits eine Mindestgröße aufweisen, damit sich die Schallwellen nicht um diese beugen.

Bei der raumakustischen Planung sind Schall-Fokussierungen durch gewölbte Oberflächen zu vermeiden. Dies kann durch diffuse Reflektoren vermieden werden. Auf der Basis von Zahlenfolgen mit pseudostochastische Anordnungen von $\lambda/4$ -Resonatoren kann eine gute diffuse Reflexion in einem breiteren Frequenzbereich erreicht werden (Quadratic Residue Diffusor nach Schroeder).

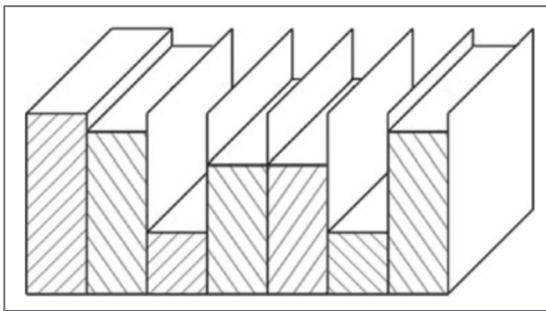


Abbildung 4: Quadratic Residue Diffusor nach Schroeder

Diffuses Schallfeld

Nach DIN 1320 ist ein diffuses Schallfeld, wenn der Schallintensitätsvektor in jedem Augenblick isotrop ist. Das bedeutet, dass der Schalldruckpegel ortsunabhängig ist und die Reflexionen aus allen Richtungen mit gleicher Wahrscheinlichkeit eintreffen. Man spricht auch von einem statistischen Schalleinfall.

3. Anforderungen und Beurteilungsgrundlagen

3.1. Anforderungen und Empfehlungen nach DIN 18041

In der **DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen“** werden Räume in zwei Kategorien unterteilt:

- Hörsamkeit über mittlere und größere Entfernungen (Räume der Gruppe A),
- Hörsamkeit über geringe Entfernungen (Räume der Gruppe B)

Räume der Gruppe A

Bei der Raumgruppe A handelt es sich um Räume, in denen die Hörsamkeit über mittlere und große Entfernungen durch eine für die Nutzung angepasste Nachhallzeit und Schalllenkung sichergestellt wird. Dies sind unter anderem Unterrichtsräume in Schulen, Gruppenräume in Kindertageseinrichtungen, Konferenzräume, Gerichts- und Ratssäle, Versammlungsräume, Seminarräume, Hörsäle, Tagungsräume, Räume in Seniorentagesstätten, Sport- und Schwimmhallen, etc. für **Räume der Gruppe A** werden Anforderungen an den frequenzabhängigen Verlauf der Nachhallzeit (125 bis 4.000 Hz) **im zu 80% besetzten Zustand** definiert, es wird hierbei zwischen folgenden Nutzungsarten unterschieden:

- A1: „Musik“
- A2: „Sprache/Vortrag“
- A3: „Unterricht/Kommunikation“ bzw. „Sprache/Vortrag inklusiv“
- A4: „Unterricht/Kommunikation inklusiv“
- A5: „Sport“

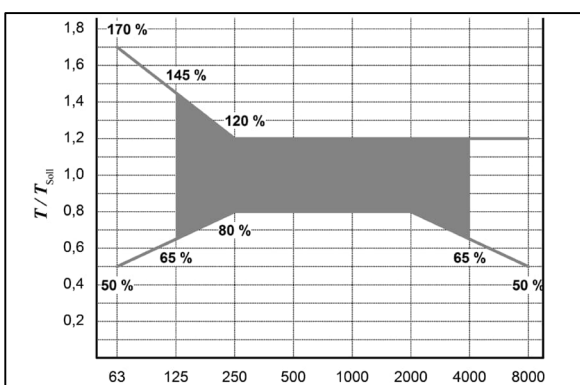


Abbildung 5: Toleranzbereich der Nachhallzeit bei der Raumgruppe A

Die Nachhallzeiten gelten für die relevanten Nutzungsszenarien des Raumes unter Berücksichtigung der Schallabsorption der Möblierung und von Personen. Der Toleranzbereich der frequenzabhängigen Nachhallzeit T zwischen 125 Hz und 4 000 Hz ist in Abbildung 5 für die Nutzungsarten A1 bis A4 gezeigt.

Räume der Gruppe B

Bei der **Raumgruppe B** wird die Hörsamkeit über geringe Entfernungen durch Schallabsorption und Störgeräuschminderung erreicht. Die DIN 18041 gibt hierfür **Empfehlungen** für das Verhältnis der äquivalenten Absorptionsfläche zum Raumvolumen, im Folgenden **A/V-Verhältnis** genannt, in Abhängigkeit der Raumhöhe und der Raumgruppe an. Die Räume werden nach Aufenthaltsdauer und dem Bedarf an Lärminderung in die Nutzungsart B1 - B5 eingeordnet. Hierzu zählen unter anderem Kantinen und Speisesäle, Eingangshallen, Warteräume oder Pausenräume.

- B1: „Räume ohne Aufenthaltsqualität“ → ohne Anforderungen
- B2: „Räume zum kurzfristigen Verweilen“
- B3: „Räume zum längerfristigen Verweilen“
- B4: „Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort“
- B5: „Räume mit besondere Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort“

Die Empfehlungen für die maximale Nachhallzeit beziehen sich auf einen **unbesetzten Zustand**, Personen werden also bei der Berechnung nicht berücksichtigt und nur informativ angegeben.

Aus den Empfehlungen an das A/V-Verhältnis im Frequenzbereich von 250 Hz und 2.000 Hz lässt sich mit der SABINE'schen Nachhallgleichung eine **Empfehlung an die maximale Nachhallzeit ableiten**.

3.2. Anforderungen der Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.7

Die Arbeitsstättenrichtlinie (Technische Regeln für Arbeitsstätten) stellt Anforderungen an die Nachhallzeit in Büroräumen:

- Mehrpersonen- und Großraumbüros:
Maximale Nachhallzeit im Bereich von 250 bis 2.000 Hz $T = 0,6 \text{ s}$
- Ein- und Zweipersonenbüros:
Maximale Nachhallzeit im Bereich von 250 bis 2.000 Hz $T = 0,8 \text{ s}$

Hinweis zum Geltungsbereich der ASR / ArbStättV

Die Arbeitsstättenverordnung dient der Sicherheit und dem Schutz der Gesundheit der Beschäftigten beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten. Adressat ist der Arbeitgeber, der dafür zu sorgen hat, dass von der Arbeitsstätte keine Gefährdung für die Beschäftigten ausgeht und verbleibende Gefährdungen möglichst gering gehalten werden.

Ein wesentliches Hilfsmittel für die praktische Umsetzung der ArbStättV sind die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (Arbeitsstättenrichtlinie ASR).

Die Technischen Regeln für Arbeitsstätten (Arbeitsstättenregeln - ASR) beschreiben Maßnahmen und praktische Durchführungshilfen und legen dar, wie die in der Arbeitsstättenverordnung gestellten Schutzziele und Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten vom Arbeitgeber erreicht werden können.

Die ASR enthalten zum Zeitpunkt der Bekanntgabe den aktuellen Stand der Technik. Sie erleichtern dem Arbeitgeber die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung nach § 3 der ArbStättV und die Festlegung der geeigneten Maßnahmen für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten im Betrieb. Wendet der Arbeitgeber die ASR an, kann er davon ausgehen, dass er in Bezug auf den Anwendungsbereich der ASR die Vorgaben der ArbStättV einhält (Vermutungswirkung).

Eine Verpflichtung zur Anwendung der ASR schreibt die Arbeitsstättenverordnung jedoch nicht vor. Der Arbeitgeber kann eigenständig von den Vorgaben der ASR abweichen und die Schutzzielvorgaben der Arbeitsstättenverordnung einschließlich des Anhangs auch auf andere Weise erfüllen. In diesem Fall muss er die ermittelten Gefährdungen, denen die Beschäftigten ausgesetzt sind oder ausgesetzt sein können, auf andere Weise so beseitigen oder verringern, dass dabei das gleiche Schutzniveau wie in der ASR erreicht wird ("Stand der Technik").

Dort, wo bei der Bekanntgabe der Arbeitsstättenregeln neue Anforderungen aufgrund der Fortentwicklung des Standes der Technik enthalten sind und die Maßgaben nur mit umfangreichen Änderungen oder erheblichen Aufwendungen in den bereits eingerichteten und betriebenen Arbeitsstätten umsetzbar sind, stellt sich die Frage des Bestandsschutzes. Die Prüfung, ob der Arbeitgeber die Arbeitsstätte den neuen Regelungen entsprechend anpassen muss oder ob die bestehende Arbeitsstätte auch weiterhin den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung entspricht, lässt sich nur mit der Wiederholung der Gefährdungsbeurteilung ermitteln.

4. Berechnungsgrundlagen

Im folgenden Abschnitt werden die Berechnungsgrundlagen aufgeführt.

4.1. Raumsituationen

Für das Bauvorhaben werden im Folgenden exemplarisch fünf Bereiche bezüglich der raumakustischen Qualität untersucht.

Raum-Nummer	Bezeichnung	Raumgruppe nach DIN 18041
1	I.0.07. IFU-Klassenzimmer	A3 (ohne Inklusion)
2	I.0.08 Vorbereitung Lehrer	B4
3	I.0.30 Maurer-/Betonwerkstatt	B3

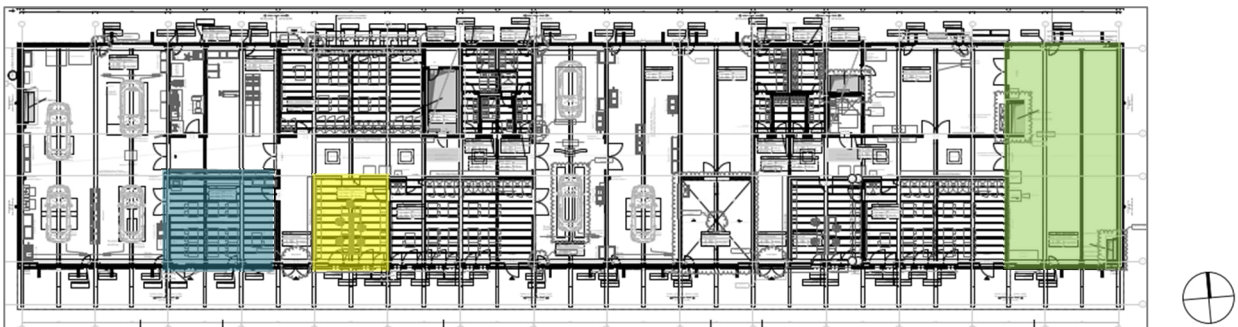


Abbildung 6: Grundrissausschnitt EG mit den betrachteten Räumen

4.2. Schallabsorbierende Maßnahmen

Für die raumakustische Auslegung sind folgende schallabsorbierende Maßnahmen in der Berechnung hinterlegt.

4.2.1. RA 01 Deckenstrahlplatten

In den Werkstätten sowie der Schalungshalle werden die Deckenstrahlplatten bündig mit der Unterkante der Holzbalken abgehängt.

Eine schallabsorbierende Ausführung ist vorgesehen:

- Lochanteil ≈ 13 Prozent, Rundlochung
- 40 mm Mineralwollebedämpfung, beidseitig mit Glasvlies kaschiert, Längenbezogener Strömungswiderstand $r \geq 5 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, z.B. Isover Akustic TF Twin o.glw.
- Totale Konstruktionshöhe TKH = 1.400 mm

→ z.B. Zehnder ZFP o.glw., Schallabsorptionsgrade α , siehe Anlage:

	Frequenz in [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Schallabsorptionsgrad α	0,30	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00

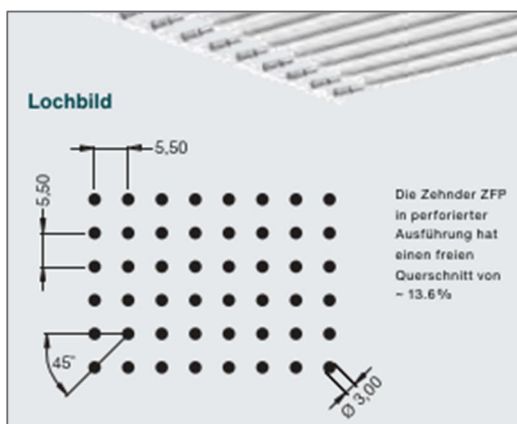


Abbildung 7: Datenblattauszug der Fa. Zehnder

4.2.2. RA 02 Akustikdecke direkt befestigt

In Teilbereichen ist eine direkt befestigte Akustikdecke aus zementgebundenen Holzwolle-Platten mit folgenden Kennwerten vorgesehen:

- 35 mm zementgebundene Holzwolle-Akustikplatte, z.B. Troldekt Ultrafein o.glw.
- 50 mm Mineralwollebedämpfung, Rohdichte der Mineralwolle $\approx 90 \text{ kg/m}^3$,
Längenbezogener Strömungswiderstand $r \geq 25 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$,
z.B. Knauf CNF Board D9 GVB o.glw.
- Totale Konstruktionshöhe TKH = 85 mm

→ z.B. Troldekt Ultrafein direkt befestigt o.glw., Schallabsorptionsgrade α :

Oktav-Mittelfrequenz (Hz):	125	250	500	1000	2000	4000
Schallabsorptionsgrad α	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

4.2.3. RA 03 abgehängte Akustikdecke

Es ist eine abgehängte, Akustikdecke aus zementgebundenen Holzwolle-Platten mit folgenden Kennwerten vorgesehen:

- 35 mm zementgebundene Holzwolle-Akustikplatte, z.B. Troldekt Ultrafein o.glw.
- 40 mm Mineralwollebedämpfung, Rohdichte 30 kg/m^3 ,
Längenbezogener Strömungswiderstand $r \geq 6 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$,
z.B. Rockwool Termarock 30 o.glw.
- Totale Konstruktionshöhe TKH $\geq 1.935 \text{ mm}$

Folgende frequenzabhängige Schallabsorptionsgrade α dieser Deckenkonstruktion werden dabei (gemäß Herstellerangaben) der Beurteilung zugrunde gelegt (s. Anlage 7):

→ z.B. Troldekt Ultrafein abgehängt o.glw., Schallabsorptionsgrade α :

Oktav-Mittelfrequenz (Hz):	125	250	500	1000	2000	4000
Schallabsorptionsgrad α	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

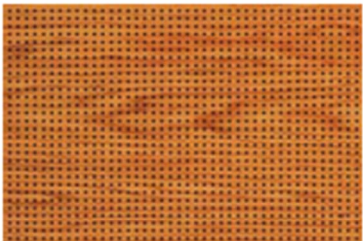
4.2.4. RA 04 Wandabsorber

In den Werkstätten sowie der Schalungshalle werden zusätzliche Wandabsorber vorgesehen:

- 16 - 18 mm Sperrholz-Platte mikroperforiert z.B. Trikustik o.glw.
- Lochanteil ≈ 13 Prozent, Rundlochung
- 180 mm Mineralwollebedämpfung, Rohdichte
Längenbezogener Strömungswiderstand $r \geq 6 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$, z.B. Rockwool Sonorock o.glw.
- 20 mm Luftschicht, Totale Konstruktionshöhe TKH = 216 - 218 mm

→ z.B. Trikustik o.glw., Schallabsorptionsgrade α :

Oktav-Mittelfrequenz (Hz):	125	250	500	1000	2000	4000
Schallabsorptionsgrad α	0,90	0,90	0,95	0,95	0,80	0,60



R = Raster 2,9mm
D = Durchmesser 1,2mm
Lochanteil: 13,45%
Rückseitig mit Stufenbohrung

R = Raster d. Bohrung in mm



D = Durchmesser der Bohrung in mm

Ansicht Vorderseite



Schnittbild



Varianten:

	Brandverhalten			Feucht ballwurf		Stärke	Format der Rohplatte
	B2	B1	A2	raum	sicher		
Edelholzfurniert	S	+	+	+	-	17mm	2800x2070mm
Sperrholz	S	-	-	S	-	18mm	1250x2500 od. 1500x3000
RAL-lackiert	S	+	-	+	-	16mm	2800x2070mm
Melaminbeschichtet	S	-	-	-	-	16mm	2800x2070mm

"S"=Standard, "+"=möglich, "-"=nicht möglich

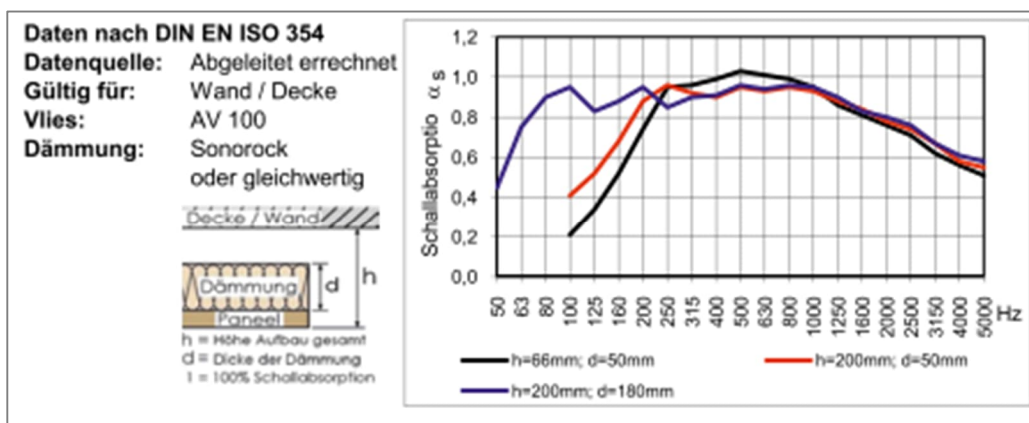


Abbildung 8: Datenblattauszug der Fa. Trikustik

4.2.5. Sonstige raumumschließende Oberflächen

Für die übrigen raumumschließenden Oberflächen (z.B. Bodenbelag, Wandoberflächen, Verglasungen, etc.) werden die Schallabsorptionswerte der Literatur bzw. den Angaben aus der DIN 18041 entnommen.

Tabelle 1: Schallabsorptionsgrade sonstiger raumabschließender Oberflächen

Bauteile	Schallabsorptionsgrade α					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Parkett geklebt auf schwimmendem Estrich	0,12	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06
Boden Kunstharzbeschichtung	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Stahlbetonstützen / Stahlbetonwände (schallhart)	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Türen/Raumöffnungen	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
Vorsatzschale Innenwand mit GK-Beplankung	0,15	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05
Wände Massivholz	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Fenster / Fassade	0,14	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Decke Massivholz	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Oberer Wandabschluss	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Holzbinder Untersicht / Seitenflächen	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Türelement Holz Ratssaal	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Dachfläche Ratssaal	0,15	0,08	0,04	0,04	0,05	0,05

5. Berechnung und Beurteilung

Im folgenden Abschnitt werden die Berechnungsergebnisse der untersuchten Räume aufgelistet und nach den genannten Regelwerken beurteilt. Hierfür sind für die exemplarischen Räume die Oberflächen mit entsprechenden Absorptionskoeffizienten hinterlegt. Die Angaben sind von Herstellerangaben entnommen oder Literaturwerte.

5.1. Klassenzimmer / Unterrichtsräume

Schallabsorbierende Maßnahmen

- ca. 90% der Deckenfläche, RA 03 abgehängte Akustikdecke z.B. Troldekt Ultrafein o. glw., siehe Kapitel 4.2.3

Randbedingungen und Anforderung:

A3 - Unterricht/Kommunikation nicht inklusiv

Volumen:	$V = 201 \text{ m}^3$
Raumgruppe:	A3 nach DIN 18041
Mittlere Raumhöhe:	$h = 3,50 \text{ m}$
Personen:	10 bis 19

Nachhallzeit:

Die Anforderung an die Nachhallzeit wird gemäß DIN 18041 berechnet.

$$T_{\text{Soll},A3} = \left(0,32 \cdot \log \frac{V}{m^3} - 0,17 \right) s \quad [3]$$

Für das Klassenzimmer ergibt sich ein Sollwert an die Nachhallzeit von **$T_{\text{Soll}} = 0,57 \text{ s}$** ($\pm 20\%$)

Ergebnis und Beurteilung:

Die Berechnung der Nachhallzeit ergab mit o.g. Randbedingungen folgendes Ergebnis:

Mittlere Nachhallzeit (Belegung mit 10 bis 19 Personen) **$T_m = 0,51 - 0,54 \text{ s}$**
(siehe Anlage 1)

Der frequenzabhängige Verlauf der Nachhallzeit ist in nachfolgendem Diagramm dargestellt.

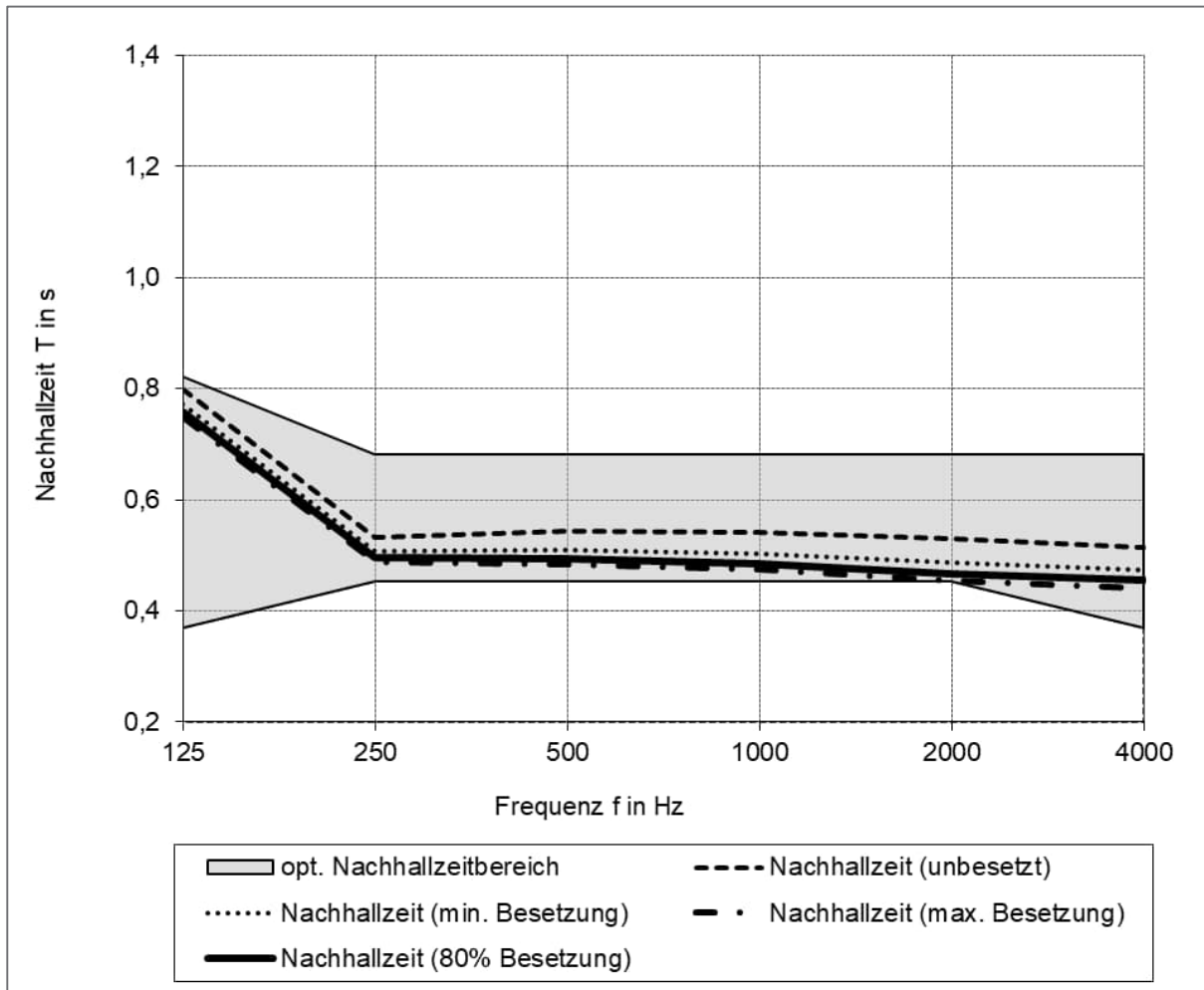


Abbildung 9: Nachhallzeitverlauf Klassenzimmer ohne Inklusion

Beurteilung:

Die Anforderungen der DIN 18041 an die mittlere Nachhallzeit werden erfüllt. Die berechneten frequenzabhängigen Nachhallzeiten liegen innerhalb des zulässigen Toleranzbereiches.

Für die Umsetzung der Anforderung mit Inklusion gemäß Raumgruppe A4 nach DIN 18041 werden höhere Anforderungen an die Nachhallzeit gestellt. Die Berücksichtigung der Anforderungen mit Inklusion bei der raumakustischen Auslegung der Klassenzimmer / Unterrichtsräume ist mit dem Bauherrn / Nutzer abzustimmen. Für das vorliegende Projekt soll nach Abstimmung mit dem Bauherrn/Nutzer keine Anforderungen an die Inklusion bei der raumakustischen Auslegung der Klassenzimmer / Unterrichtsräume herangezogen werden.

5.2. Lehrerzimmer / Büroräume

Schallabsorbierende Maßnahmen

- ca. 90% der Deckenfläche, RA 03 abgehängte Akustikdecke z.B. Troldekt Ultrafein o. glw., siehe Kapitel 4.2.3

Randbedingungen und Empfehlung:

B4 – Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort

Volumen:	$V = 134 \text{ m}^3$
Raumgruppe:	B4 nach DIN 18041
Mittlere Raumhöhe:	$h = 3,50 \text{ m}$
Personen	1 bis 5, informativ angegeben

Möbiliar und Personen bleiben in der raumakustischen Berechnung für Räume der Kategorie B unberücksichtigt. Die Nachhallzeiten unter Berücksichtigung von Personen für Minimal- und Maximalbelegung werden nachfolgend informativ angegeben.

A/V-Verhältnis:

Die Empfehlungen an das A/V-Verhältnis wird nach Gleichung [4] gemäß DIN 18041 berechnet.

$$\frac{A}{V} \geq \left[2,13 + 4,69 \cdot \log \left(\frac{h}{1\text{m}} \right) \right]^{-1} \quad [4]$$

Empfehlungen an das A/V-Verhältnis: **$A/V \geq 0,21 \text{ m}^{-1}$**

Nachhallzeit

Nach der erläuterten SABINE'schen Nachhallgleichung ergibt sich für Büroräume eine Empfehlung an die maximale Nachhallzeit von **$T_{\max} = 0,76 \text{ s}$**

Ergebnis und Beurteilung:

Die Berechnung der Nachhallzeit ergab mit o.g. Randbedingungen ohne Berücksichtigung von Personen folgendes Ergebnis:

Mittlere Nachhallzeit (unbesetzter Zustand)

$T_{\max} = 0,59 \text{ s}$

(siehe Anlage 2)

A/V-Verhältnis:

$A/V \geq 0,29 \text{ m}^{-1}$

Der frequenzabhängige Verlauf der Nachhallzeit ist in nachfolgendem Diagramm dargestellt.

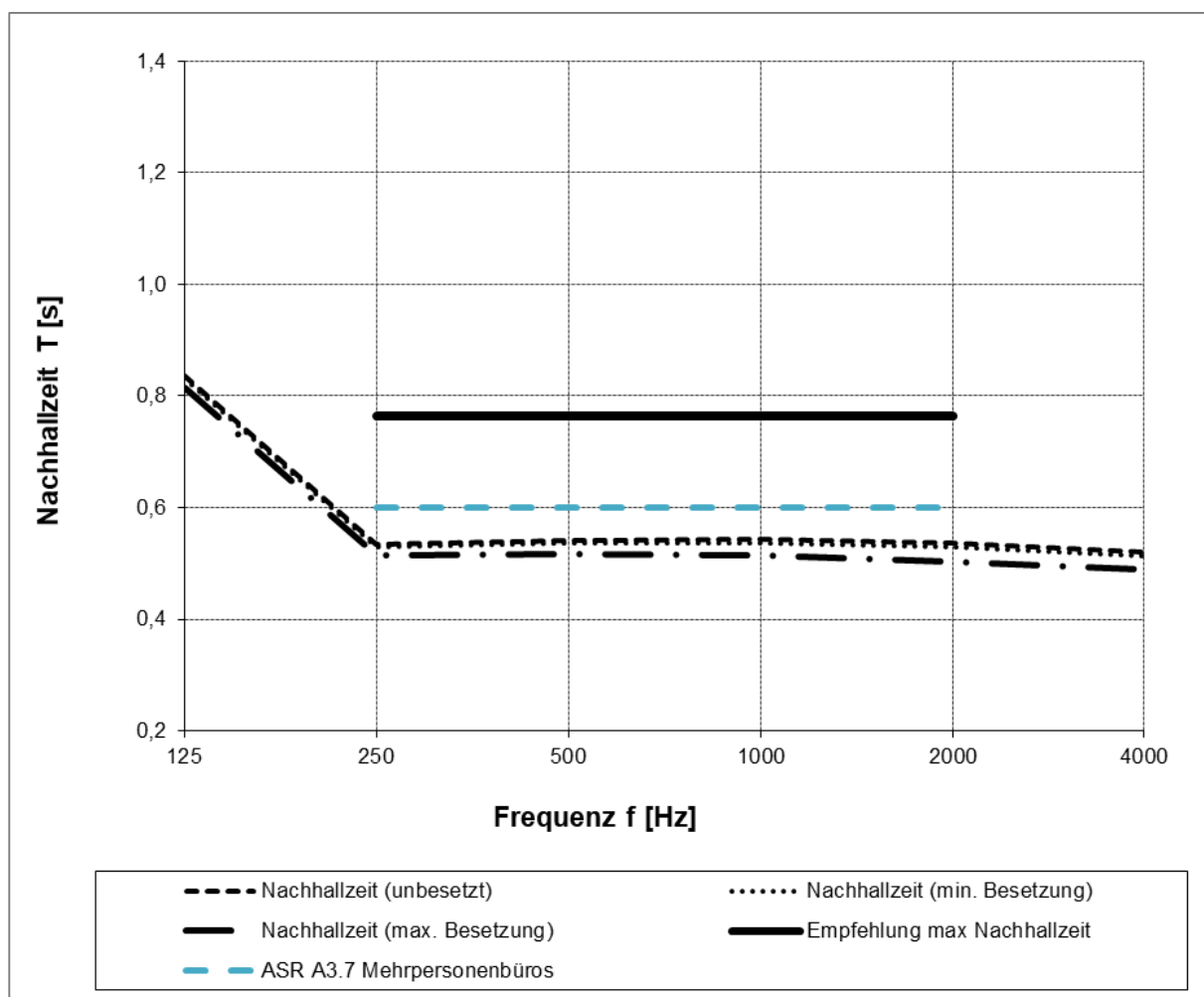


Abbildung 10: Nachhallzeitverlauf Lehrerzimmer

Beurteilung:

Die Empfehlungen der DIN 18041 an die maximale Nachhallzeit werden erfüllt. Die berechneten frequenzabhängige Nachhallzeiten liegen unterhalb der empfohlenen Obergrenze der Nachhallzeit.

Die Anforderungen der Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.7 für Mehrpersonnbüros (maximale Nachhallzeit im Bereich von 250 bis 2.000 Hz von 0,6 s) ist erfüllt.

5.3. Werkstätten / Schalungshallen

Schallabsorbierende Maßnahmen

- ca. 15% der Deckenfläche, RA 01 Deckenstrahlplatten abgehängt, z.B. Zehnder ZFP o.glw., siehe Kapitel 4.2.1
- vollflächig zwischen den Balken, RA 02 Akustikdecke direkt befestigt, z.B. Trolldtect Ultrafein o. glw., siehe Kapitel 4.2.2
- ca. 20 m², RA 04 Wandabsorber, an den Balken befestigt, z.B. Trikustik o.glw., siehe Kapitel 4.2.4

Randbedingungen und Empfehlung:

B5 – Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort

Volumen:	V = 864 m ³
Raumgruppe:	B5 nach DIN 18041
Mittlere Raumhöhe:	h = 5,60 m
Personen	10 bis 19, informativ angegeben

Möbiliar und Personen bleiben in der raumakustischen Berechnung für Räume der Kategorie B unberücksichtigt. Die Nachhallzeiten unter Berücksichtigung von Personen für Minimal- und Maximalbelegung werden nachfolgend informativ angegeben.

A/V-Verhältnis:

Die Empfehlungen an das A/V-Verhältnis wird nach Gleichung [4] gemäß DIN 18041 berechnet.

$$\frac{A}{V} \geq \left[1,47 + 4,69 \cdot \log \left(\frac{h}{1m} \right) \right]^{-1} \quad [5]$$

Empfehlungen an das A/V-Verhältnis: **$A/V \geq 0,20 \text{ m}^{-1}$**

Nachhallzeit

Nach der erläuterten SABINE'schen Nachhallgleichung ergibt sich für Büroräume eine Empfehlung an die maximale Nachhallzeit von **$T_{\max} = 0,81 \text{ s}$**

Ergebnis und Beurteilung:

Die Berechnung der Nachhallzeit ergab mit o.g. Randbedingungen ohne Berücksichtigung von Personen folgendes Ergebnis:

Mittlere Nachhallzeit (unbesetzter Zustand)

$T_{\max} = 0,79 \text{ s}$

(siehe Anlage 3)

A/V-Verhältnis:

$A/V \geq 0,22 \text{ m}^{-1}$

Der frequenzabhängige Verlauf der Nachhallzeit ist in nachfolgendem Diagramm dargestellt.

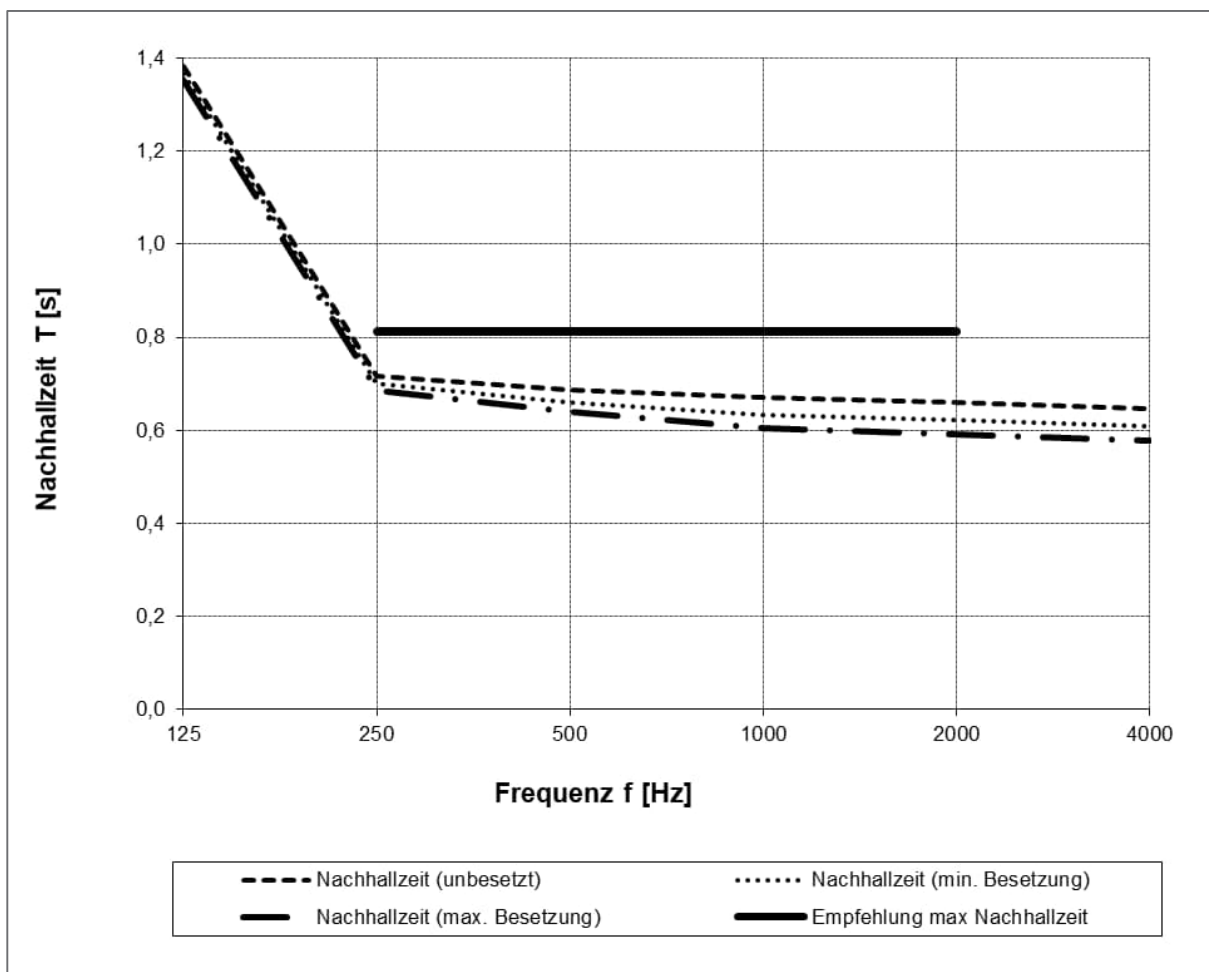


Abbildung 11: Nachhallzeitverlauf Werkstatt

Beurteilung:

Die Empfehlungen der DIN 18041 an die maximale Nachhallzeit werden im Bereich von erfüllt. Die berechneten frequenzabhängige Nachhallzeiten liegen unterhalb der empfohlenen Obergrenze der Nachhallzeit.

6. Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Für den *Neubau des Bauteils I der Beruflichen Schulen in Landsberg am Lech* wurden exemplarisch verschiedene Räume untersucht. Die raumakustischen Anforderungen bzw. Empfehlungen der DIN 18041 werden in den Klassenzimmern / Unterrichtsräumen sowie den Lehrerzimmern / Büroräumen bei Ausführung einer abgehängten Akustikdecke an mindestens 90% der Deckenfläche eingehalten.

In den Lehrerzimmern / Büroräumen ist zudem die Anforderung der Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.7 in Mehrpersonenbüros eingehalten. In den Werkstätten / Schalungshallen können die Empfehlungen der DIN 18041 mit einer Kombination von direkt befestigter Akustikdecke, Deckenstrahlplatten, sowie Wandabsorbern erfüllt werden. Die direkt befestigte Akustikdecke ist dabei vollflächig zwischen den Balken auszuführen.

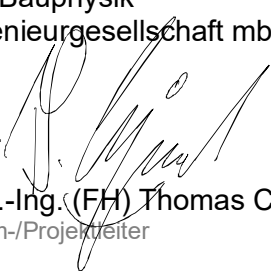
Die Berechnungsergebnisse können sinngemäß auf alle Räume mit gleicher Raumnutzung (mit Ausnahme von Sanitärräumen, Lagerräumen, etc.) übertragen werden.

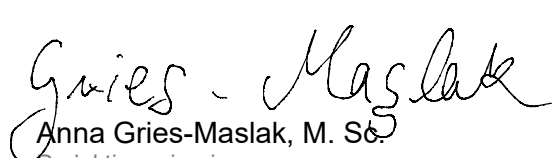
Für die Umsetzung der Anforderung mit Inklusion gemäß Raumgruppe A4 nach DIN 18041 werden höhere Anforderungen an die Nachhallzeit gestellt. Die Berücksichtigung der Anforderungen mit Inklusion bei der raumakustischen Auslegung der Klassenzimmer / Unterrichtsräume ist mit dem Bauherrn / Nutzer abzustimmen. Für das vorliegende Projekt soll nach Abstimmung mit dem Bauherrn/Nutzer keine Anforderungen an die Inklusion bei der raumakustischen Auslegung der Klassenzimmer / Unterrichtsräume herangezogen werden.

Die vorliegende Ausarbeitung umfasst 22 Seiten Text und 6 Seiten Anlagen (insgesamt 29 Seiten). Eine auszugsweise Weitergabe oder Vervielfältigung sowie die digitale Veröffentlichung sind nicht gestattet.

GN Bauphysik
Ingenieurgesellschaft mbH

ppa.


Dipl.-Ing. (FH) Thomas Cejnek
Team-/Projektleiter


Anna Gries-Maslak, M. Sc.
Projektingenieurin

Anlagen

- Anlage 1: Nachhallzeitberechnung Klassenzimmer / Unterrichtsräume
- Anlage 2: Nachhallzeitberechnung Lehrerzimmer / Büroräume
- Anlage 3: Nachhallzeitberechnung Werkstätten / Schalungshallen

Berechnung der Nachhallzeiten nach DIN 18041 - Grundlagen für die Berechnung -						Anlage 1.1	
Raum :	I.0.07 IFU Klassenzimmer	Volumen :	201	m ³			
Raumgruppe :	A3	Raumhöhe:	3,5	m			
Beschreibung:	Unterricht/Kommunikation; Sprache/Vortrag inklusiv						
Variante :	RA03 Abgehängte Akustikdecke						
Anforderung mittlere Nachhallzeit:		0,57 Sekunden					
Bauteile / Mobiliar	Fläche [m ²]	125 Hz	250 Hz	Schallabsorptionsgrade α			
				500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Parkett geklebt auf schwimmendem Estrich	57,5	0,12	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06
Abgehängte Decke ¹	51,8	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Stahlbetonstützen	5,6	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Stahlbetonwände	60,0	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Vorsatzschale Innenwand GK-Beplankung	24,1	0,15	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05
Türen/Raumöffnungen	7,8	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
Fenster / Fassade	16,4	0,14	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Decke Massivholz	5,8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
¹ z.B. Troldekt Ultrafein o.glw. Holzwolle-Platte d=35mm,40mm MiWo-Bedämpfung, Gesamtdicke TKH = 1.935 mm							
Äquivalente Absorptionsfläche je Personen [m ²]:		0,15	0,3	0,4	0,5	0,55	0,55
Schalldämpfungskoeffizient Luft 10 ⁻³ [m ²] : 20°C, 50 - 70 % rel. Feuchte		0,1	0,3	0,6	1,0	1,7	4,1
<u>Berücksichtigung der Personen - bei Raumgruppe B informativ angegeben</u>							
unbesetzter Zustand:	→	keine Personen berücksichtigt!					
Minimalbesetzung:	→	Anzahl der Personen:		10	Personen		
Maximalbesetzung:	→	Anzahl der Personen:		19	Personen		
Hinweise: Bei den Personen ist die mögliche Möblierung und Ausstattung des Raumes noch nicht berücksichtigt, da es sich hier um eine individuelle nutzerspezifische Maßnahme handelt. Sämtliche Schallabsorptionsgrade werden der DIN 18041 (Tabelle G.1 und G.2) entnommen. Dort nichtaufgeführte Materialien stammen entweder aus Herstellerangaben oder der Fachliteratur.							
Neubau Berufliche Schulen Landsberg Bauteil I kern architekten Projektnummer: H-175425							

Berechnung der Nachhallzeiten nach DIN 18041

- Ergebnisse Nachhallzeit / Grafische Darstellung -

Anlage 1.2

Raum : I.0.07 IFU Klassenzimmer

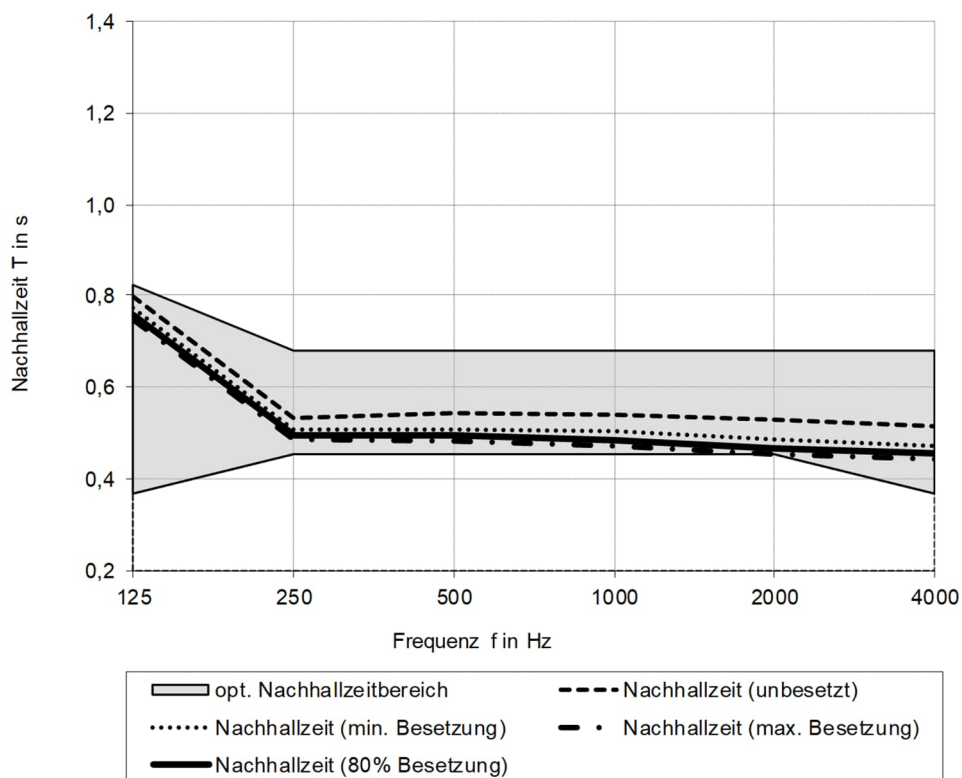
Variante : RA03 Abgehängte Akustikdecke

frequenzabhängige Nachhallzeiten T [s]

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
unbesetzter Zustand:	0,80	0,53	0,54	0,54	0,53	0,51
Minimalbesetzung:	0,77	0,51	0,51	0,50	0,49	0,47
80 % Besetzung	0,76	0,50	0,49	0,49	0,47	0,45
Maximalbesetzung:	0,75	0,49	0,48	0,47	0,45	0,44

mittlere Nachhallzeiten T_m [s]

unbesetzter Zustand:	0,58 s	→	Personenanzahl keine Personen berücksichtigt!
Minimalbesetzung:	0,54 s	→	10 Personen
80% Besetzung	0,53 s	→	15 Personen
Maximalbesetzung:	0,51 s	→	19 Personen



Berechnung der Nachhallzeiten nach DIN 18041 - Grundlagen für die Berechnung -					Anlage 2.1		
Raum :	I.0.08 Vorbereitung Lehrer	Volumen :	134	m ³			
Raumgruppe :	B4	Raumhöhe:	3,5	m			
Beschreibung:	Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort						
Variante :	RA03 Abgehängte Akustikdecke						
Empfehlung maximale Nachhallzeit:		0,76 Sekunden					
Bauteile / Mobiliar	Fläche [m²]	125 Hz	250 Hz	Schallabsorptionsgrade α			
				500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Parkett geklebt auf schwimmendem Estrich	38,2	0,12	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06
Abgehängte Decke ¹	34,4	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Stahlbetonstützen	2,1	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Holzmassivwände	57,4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Stahlbetonwände	10,4	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Türen/Raumöffnungen	7,8	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
Fenster / Fassade	9,5	0,14	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Decke Massivholz	3,8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
¹ z.B. Troldekt Ultrafein o.glw. Holzwolle-Platte d=35mm,40mm MiWo-Bedämpfung, Gesamtdicke TKH = 1.935 mm							
Äquivalente Absorptionsfläche je Personen [m²]:		0,15	0,3	0,4	0,5	0,55	0,55
Schalldämpfungskoeffizient Luft 10⁻³ [m⁻¹] : 20°C, 50 - 70 % rel. Feuchte		0,1	0,3	0,6	1,0	1,7	4,1
Berücksichtigung der Personen - bei Raumgruppe B informativ angegeben							
unbesetzter Zustand:		→ keine Personen berücksichtigt!					
Minimalbesetzung:		→		Anzahl der Personen:		1	Personen
Maximalbesetzung:		→		Anzahl der Personen:		5	Personen
Hinweise: Bei den Personen ist die mögliche Möblierung und Ausstattung des Raumes noch nicht berücksichtigt, da es sich hier um eine individuelle nutzerspezifische Maßnahme handelt. Sämtliche Schallabsorptionsgrade werden der DIN 18041 (Tabelle G.1 und G.2) entnommen. Dort nichtaufgeführte Materialien stammen entweder aus Herstellerangaben oder der Fachliteratur.							
Neubau Berufliche Schulen Landsberg Bauteil I kern architekten Projektnummer: H-175425							

Berechnung der Nachhallzeiten nach DIN 18041

- Ergebnisse Nachhallzeit / Grafische Darstellung -

Anlage 2.2

Raum : I.0.08 Vorbereitung Lehrer

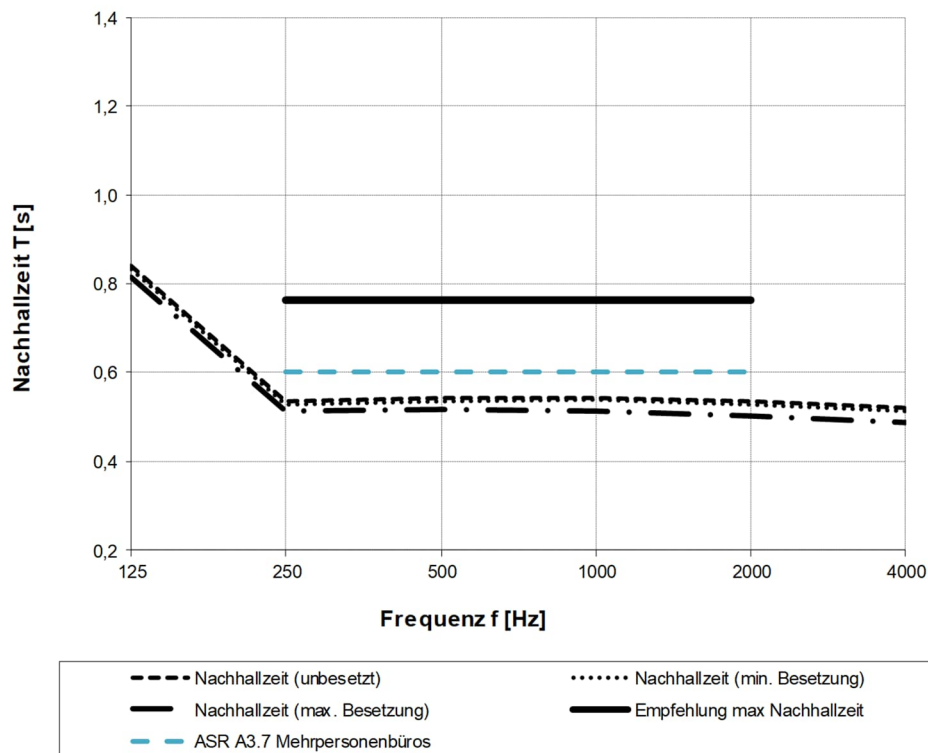
Variante : RA03 Abgehängte Akustikdecke

frequenzabhängige Nachhallzeiten T [s]

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
unbesetzter Zustand:	0,84	0,53	0,54	0,54	0,54	0,52
Minimalbesetzung:	0,83	0,53	0,54	0,54	0,53	0,51
80 % Besetzung	0,82	0,52	0,52	0,52	0,51	0,49
Maximalbesetzung:	0,81	0,51	0,52	0,51	0,50	0,49

mittlere Nachhallzeiten T_m [s]

unbesetzter Zustand:	0,59 s	→	Personenanzahl keine Personen berücksichtigt!
Minimalbesetzung:	0,58 s	→	1 Personen
80% Besetzung	0,56 s	→	4 Personen
Maximalbesetzung:	0,56 s	→	5 Personen



Berechnung der Nachhallzeiten nach DIN 18041 - Grundlagen für die Berechnung -					Anlage 3.1		
Raum :	I.0.30 Mauer-/Betonwerkstatt			Volumen :	864 m³		
Raumgruppe :	B5			Raumhöhe:	5,6 m		
Beschreibung:	Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort						
Variante :	RA 01 Deckenstrahlplatten + RA 02 Akustikdecke direkt befestigt + RA 05 Wandabsorber						
Empfehlung maximale Nachhallzeit:	0,81			Sekunden			
Bauteile / Mobiliar	Fläche [m²]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Boden Kunstharzbeschichtung	154,4	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Deckenstrahlplatten ¹	23,9	0,30	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
Akustik-Decken ²	144,1	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Holzbinder Untersicht	10,3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Holzbinder Seitenflächen	72,8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Stahlbetonstützen	13,4	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Stahlbetonwände	210,7	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Wandabsorber ³	20,0	0,90	0,90	0,95	0,95	0,80	0,60
Türen/Raumöffnungen	10,4	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
Fenster / Fassade	49,5	0,14	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Oberer Wandabschluss	21,7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
¹ z.B. Zehnder ZFP o.glw., Lochanteil ca. 13 Prozent, Rundlochung, 40mm MiWo-Bedämpfung, TKH = 1.400 mm ² z.B. direkt befestigte Troldekt Ultrafein o.glw. Holzwole-Platte d=35mm, 50mm MiWo-Bedämpfung, Gesamtdicke TKH = 85 ³ z.B. 16-18mm Sperrholz-Platte mikroperforiert Lochanteil ca. 13 Prozent Rundlochung z.B. Triakustik o.glw., 180mm Mineralwollebedämpfung, 20mm Luftschicht, TKH = 216-218 mm							
Äquivalente Absorptionsfläche je Personen [m²]:		0,12	0,45	0,8	1,2	1,3	1,4
Schalldämpfungskoeffizient Luft 10⁻³ [m²] : 20°C, 50 - 70 % rel. Feuchte		0,1	0,3	0,6	1,0	1,7	4,1
Berücksichtigung der Personen - bei Raumgruppe B informativ angegeben							
unbesetzter Zustand:	→	keine Personen berücksichtigt!					
Minimalbesetzung:	→	Anzahl der Personen: 10 Personen					
Maximalbesetzung:	→	Anzahl der Personen: 19 Personen					
Hinweise: Bei den Personen ist die mögliche Möblierung und Ausstattung des Raumes noch nicht berücksichtigt, da es sich hier um eine individuelle nutzerspezifische Maßnahme handelt. Sämtliche Schallabsorptionsgrade werden der DIN 18041 (Tabelle G.1 und G.2) entnommen. Dort nichtaufgeführte Materialien stammen entweder aus Herstellerangaben oder der Fachliteratur.							
Neubau Berufliche Schulen Landsberg Bauteil I kern architekten Projektnummer: H-175425							

Berechnung der Nachhallzeiten nach DIN 18041
 - Ergebnisse Nachhallzeit / Grafische Darstellung -

Anlage 3.2
Raum : I.0.30 Mauer-/Betonwerkstatt

Variante : RA 01 Deckenstrahlplatten + RA 02 Akustikdecke direkt befestigt + RA 05 Wandabsorber

frequenzabhängige Nachhallzeiten T [s]

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
unbesetzter Zustand:	1,38	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65
Minimalbesetzung:	1,37	0,70	0,66	0,63	0,62	0,61
80 % Besetzung	1,36	0,69	0,65	0,62	0,60	0,59
Maximalbesetzung:	1,35	0,69	0,64	0,60	0,59	0,58

mittlere Nachhallzeiten T_m [s]

		Personenanzahl
unbesetzter Zustand:	0,79 s →	keine Personen berücksichtigt!
Minimalbesetzung:	0,77 s →	10 Personen
80% Besetzung	0,75 s →	15 Personen
Maximalbesetzung:	0,74 s →	19 Personen

