



BAUPHYSIKALISCHES GUTACHTEN

Raumakustik

Neubau der Staatlichen Gemeinschaftsschule, Am Hartwege 2 in
99425 Weimar

Prognose und Beurteilung raumakustischer Parameter sowie
Erarbeitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Akustik

Lage: Kreisfreie Stadt Weimar
Bundesland Thüringen

Auftraggeber: Stadtverwaltung Weimar
Am Hartwege 2
99425 Weimar

Projekt Nr.: WMA-5083-03 / 5083-03_E01
Umfang: 78 Seiten
Datum: 04.10.2019

Projektbearbeitung:
M.Sc. Konstantina Mavroudi

Projektleitung:
Dipl.-Ing. (FH) Johannes Eichinger

Urheberrecht: Jede Art der Weitergabe, Vervielfältigung und Veröffentlichung – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung der Verfasser gestattet. Dieses Dokument wurde ausschließlich für den beschriebenen Zweck, das genannte Objekt und den Auftraggeber erstellt. Eine weitergehende Verwendung, oder Übertragung auf andere Objekte ist ausgeschlossen. Alle Urheberrechte bleiben vorbehalten.



Inhalt

1	Aufgabenstellung und Vorgehensweise	5
2	Raumakustische Anforderungen	8
2.1	Normative Grundlagen.....	8
2.2	Anzustrebende Nachhallzeiten.....	9
2.3	Anzustrebender Orientierungswert für das Verhältnis A/V.....	10
3	Berechnungsverfahren	11
3.1	Vorgehensweise.....	11
3.2	Berechnung statistischer Nachhallzeiten.....	12
3.3	Berechnung lokaler Nachhallzeiten.....	12
4	Musik	13
4.1	Raumcharakteristik.....	13
4.2	Sollwert der Nachhallzeit.....	15
4.3	Simulationsvarianten.....	16
4.3.1	Materialien.....	16
4.3.2	Besetzungsgrad.....	16
4.4	Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen.....	17
4.5	Flächenangaben.....	18
4.6	3D-Ansichten.....	19
4.7	Berechnungsergebnisse.....	20
4.7.1	Statistische Nachhallzeiten.....	20
4.7.2	Lokale Nachhallzeiten.....	21
5	Mensa + Marktplatz	24
5.1	Raumcharakteristik.....	24
5.2	Sollwert des A/V-Verhältnis.....	26
5.3	Simulationsvarianten.....	26
5.3.1	Materialien.....	26
5.3.2	Besetzungsgrad.....	26
5.4	Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen.....	27
5.5	Flächenangaben.....	28
5.6	3D-Ansichten.....	29
5.7	Berechnungsergebnisse.....	30
5.7.1	Berechnung der Absorptionsfläche A.....	30
5.7.2	Überblick über das Verhältnis A/V.....	31



6	Mensa + Marktplatz + Musik.....	32
6.1	Raumcharakteristik	32
6.2	Sollwert der Nachhallzeit	34
6.3	Simulationsvarianten	35
6.3.1	Materialien.....	35
6.3.2	Besetzungsgrad	35
6.4	Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen	36
6.5	Flächenangaben	38
6.6	3D-Ansichten.....	39
6.7	Berechnungsergebnisse.....	40
6.7.1	Statistische Nachhallzeiten.....	40
6.7.2	Lokale Nachhallzeiten.....	41
7	Team.....	43
7.1	Raumcharakteristik	43
7.2	Sollwert des A/V-Verhältnis.....	44
7.3	Simulationsvarianten	44
7.3.1	Materialien.....	44
7.3.2	Besetzungsgrad	44
7.4	Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen	45
7.5	Flächenangaben	46
7.6	3D-Ansichten.....	47
7.7	Berechnungsergebnisse.....	48
7.7.1	Berechnung der Absorptionsfläche A	48
7.7.2	Überblick über das Verhältnis A/V	49
8	Lernlandschaft	50
8.1	Raumcharakteristik	50
8.2	Sollwert der Nachhallzeit	52
8.3	Simulationsvarianten	53
8.3.1	Materialien.....	53
8.3.2	Besetzungsgrad	53
8.4	Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen	54
8.5	Flächenangaben	55
8.6	3D-Ansichten.....	56
8.7	Berechnungsergebnisse.....	57
8.7.1	Statistische Nachhallzeiten.....	57
8.7.2	Lokale Nachhallzeiten.....	58
9	NAWI 2.....	59
9.1	Raumcharakteristik	59
9.2	Sollwert der Nachhallzeit	60
9.3	Simulationsvarianten	61
9.3.1	Materialien.....	61
9.3.2	Besetzungsgrad	61
9.4	Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen	62
9.5	Flächenangaben	63
9.6	3D-Ansichten.....	64
9.7	Berechnungsergebnisse.....	65
9.7.1	Statistische Nachhallzeiten.....	65
9.7.2	Lokale Nachhallzeiten.....	66



10	Beurteilung und Empfehlungen zur Raumakustik.....	67
10.1	Vorgehensweise und Beurteilungshinweise	67
10.2	Musik	69
10.3	Mensa + Marktplatz	70
10.4	Mensa + Marktplatz + Musik	71
10.5	Team	72
10.6	Lernlandschaft	73
10.7	NAWI 2	74
11	Zitierte Unterlagen	75
12	Anhang.....	76
12.1	Räume der Gruppe A	76
12.2	Räume der Gruppe B	78



1 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Der Auftraggeber beabsichtigt gemäß /13/ den Neubau der Staatlichen Gemeinschaftsschule am Hartwege 2 in 99425 Weimar (vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1: Lageplan mit Eintragung der drei zu errichtenden Schulgebäude /12

Hinsichtlich ihrer Raumakustik zu untersuchen sind die Mensa einschließlich des Marktplatzes, der Musikraum, der Raum "NAWI 2" (Naturwissenschaften), ein Teamraum und eine Lernlandschaft, die aus drei Stammgruppenräumen, dem Bereich "Garderobe" und dem Bereich "Mitte" besteht. Ziel ist es, in diesen Räumlichkeiten Verhältnisse zu schaffen, die den zu steckenden Anforderungen in punkto Nachhallzeitverhalten und Hörsamkeit¹ gerecht werden. Zu diesem Zweck werden Simulationsrechnungen zur Bewertung und Optimierung der Akustik im Zusammenspiel von Raumgeometrie, Materialeigenschaften und Raumnutzung durchgeführt.

¹ In der DIN 18041 /7/ ist die Hörsamkeit definiert als die "... Eignung eines Raumes für bestimmte Sprachdarbietungen, insbesondere für angemessene sprachliche Kommunikation und musikalische Darbietung an den für die Nutzung des Raumes vorgesehen Orten ..."

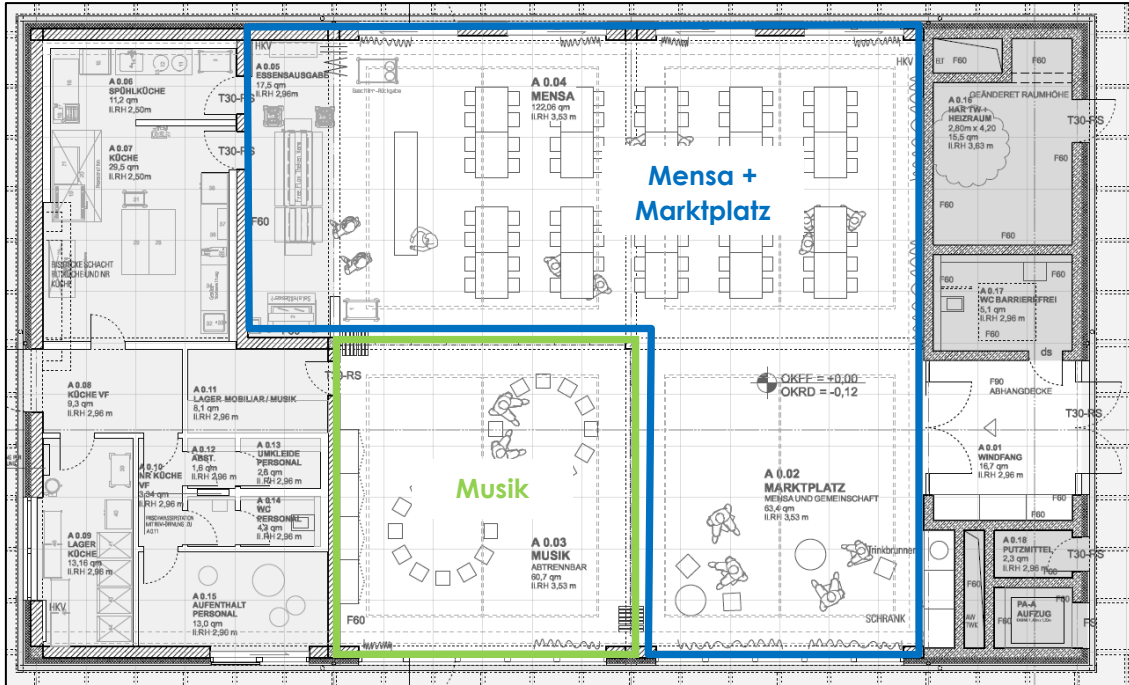


Abbildung 2: Gemeinschaftshaus, Grundriss EG, unmaßstäblich /13/

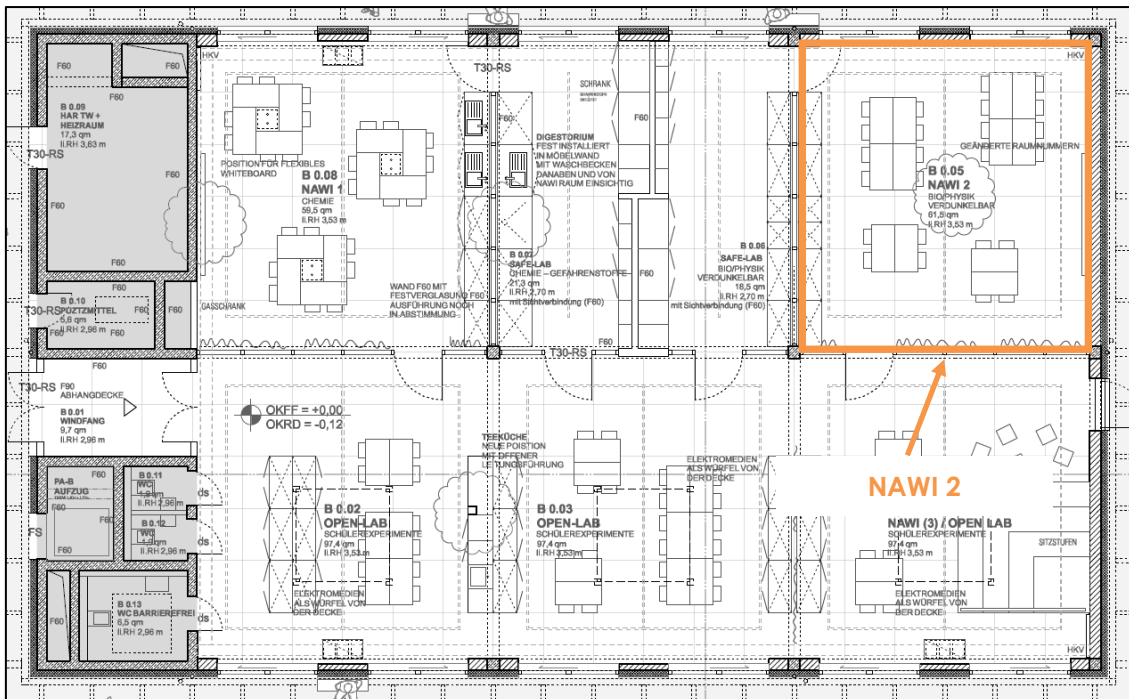


Abbildung 3: Lernhaus Oberstufe, Grundriss EG, unmaßstäblich /13/

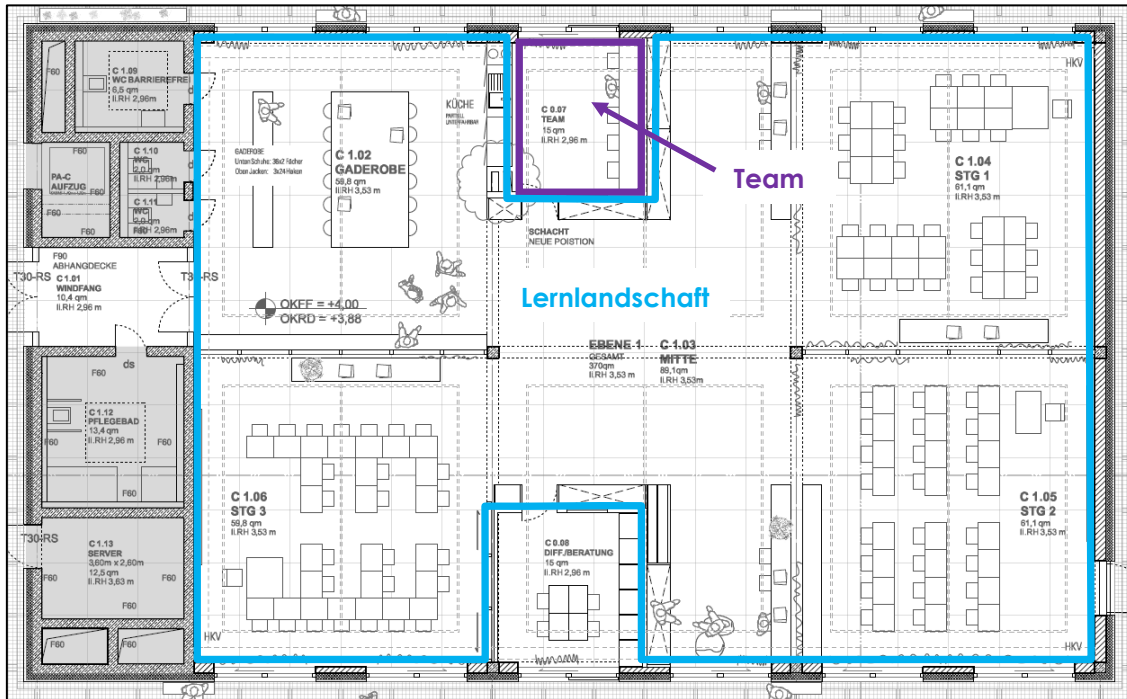


Abbildung 4: Lernhaus 1-9, 1. OG, unmaßstäblich /13/



2 Raumakustische Anforderungen

2.1 Normative Grundlagen

Die DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen" /7/ beschreibt die zu beachtenden raumakustischen Parameter für Räumlichkeiten der hier vorliegenden Größenordnung und wird als Grundlage zur raumakustischen Auslegung herangezogen.

Sie unterscheidet zwischen Räumen der Gruppe A (vgl. Kapitel 12.1) und Räumen der Gruppe B (vgl. Kapitel 12.2). Konkret werden zwei Anwendungen unterschieden, die der "Hörsamkeit über

- **mittlere und größere Entfernungen (Räume der Gruppe A)**, wie z.B. Unterrichtsräume in Schulen, Gruppenräume in Kindertageseinrichtungen, Konferenzräume, Gerichts- und Ratssäle, Seminarräume, Hörsäle, Tagungsräume, Räume in Seniorentagesstätten, Sport- und Schwimmhallen,

und

- **geringe Entfernungen (Räume der Gruppe B)**, wie z.B. Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität, Speiseräume, Kantinen, Spielfläure und Umkleiden in Schulen und Kindertageseinrichtungen, Ausstellungsräume, Eingangshallen, Schaltherhallen, Büros."

Dabei sind für Räume der Gruppe A über mittlere und große Entfernungen eine für die Nutzung angepasste Nachhallzeit und Schalllenkung, sowie für Räume der Gruppe B über geringe Entfernungen die Schallabsorption und Störgeräuschminderung wesentliche Parameter, die zur Sicherstellung der Hörsamkeit betrachtet werden.



2.2 Anzustrebende Nachhallzeiten

Wichtigstes und bekanntestes Kriterium zur Beurteilung der raumakustischen Qualität eines Raumes der Gruppe A (vgl. Kapitel 12.1) ist die Nachhallzeit T , die definiert ist als diejenige Zeit, die vom Zeitpunkt des Ausschaltens einer Schallquelle im Raum vergeht, bis der Schalldruckpegel um 60 dB abgefallen ist.²

Anzustreben ist im mittleren Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 2,0 kHz eine möglichst gleichmäßige Nachhallzeit T_{soll} [s], deren Wert sich nach der DIN 18041 aus dem Raumvolumen und der Nutzungsart ermitteln lässt.

In der DIN 18041, Nr. 4.2.3 werden die Gleichungen 1 bis 6 der Soll-Nachhallzeiten T_{soll} in Abhängigkeit der Nutzungsarten wie folgt angegeben:

Gleichungen der Soll-Nachhallzeiten T_{soll} in Abhängigkeit der Nutzungsart der Räume der Gruppe A		
Nutzungsart	Gleichungen nach Nr. 4.2.3, DIN 18041	übliches Raumvolumen
A1	$T_{\text{soll,A1}} = (0,45 \lg(V/m^3) + 0,07)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 1.000 \text{ m}^3$
A2	$T_{\text{soll,A2}} = (0,37 \lg(V/m^3) - 0,14)$	$50 \text{ m}^3 \leq V < 5.000 \text{ m}^3$
A3	$T_{\text{soll,A3}} = (0,32 \lg(V/m^3) - 0,17)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 5.000 \text{ m}^3$
A4	$T_{\text{soll,A4}} = (0,26 \lg(V/m^3) - 0,14)$	$30 \text{ m}^3 \leq V < 500 \text{ m}^3$
A5	$T_{\text{soll,A5}} = (0,75 \lg(V/m^3) - 1,00)$	$200 \text{ m}^3 \leq V < 10.000 \text{ m}^3$
	$T_{\text{soll,A5}} = 2,0$	$V \geq 10.000 \text{ m}^3$

Der "Einzahlwert" der Nachhallzeit errechnet sich nach der DIN EN ISO 3382-1 /9/ als arithmetisches Mittel aus den Nachhallzeiten in den Terzbändern von 400 Hz bis 1250 Hz.

² Weil es die in einem Raum verfügbare Dynamik kaum zulässt, einen Schalldruckpegelabfall von 60 dB zu hören, der zumindest messtechnisch ermittelt werden kann, und weil subjektiv nur der erste Teil des meist nicht gleichförmigen Abklingverhaltens den Hör-/Halleindruck bestimmt, wird üblicherweise die Nachhallzeit – "Reverberation Time" (RT_{30}) – aus der Extrapolation des anfänglichen Schalldruckpegelabfalls von 30 dB bestimmt.



2.3 Anzustrebender Orientierungswert für das Verhältnis A/V

Räume der Gruppe B (vgl. Kapitel 12.2) werden mithilfe sogenannter Orientierungswerte beurteilt, welche sich auf das Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche des Raumes zu dessen Raumvolumen (A/V) beziehen. Sie geben das mindestens erforderliche A/V -Verhältnis in den einzelnen Oktaven von 250 Hz bis 2000 Hz in Abhängigkeit der Nutzungsart und der Raumhöhe h an. Die Schallabsorption durch Personen wird hierbei nicht berücksichtigt.

Nach Tabelle 3 der DIN 18041 gelten die folgenden Orientierungswerte für die jeweiligen Nutzungsarten der Räume der Gruppe B:

Orientierungswerte für das Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche A zum Raumvolumen V		
Nutzungsart	bei Raumhöhen $h \leq 2,5$ m [m^2/m^3]	bei Raumhöhen $h > 2,5$ m [m^2/m^3]
B1	ohne Anforderung	ohne Anforderung
B2	$A/V \geq 0,15$	$A/V \geq [4,80 + 4,69 \lg(h/1m)]^{-1}$
B3	$A/V \geq 0,20$	$A/V \geq [3,13 + 4,69 \lg(h/1m)]^{-1}$
B4	$A/V \geq 0,25$	$A/V \geq [2,13 + 4,69 \lg(h/1m)]^{-1}$
B5	$A/V \geq 0,30$	$A/V \geq [1,47 + 4,69 \lg(h/1m)]^{-1}$

A:äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raumes in m^2

V:Raumvolumen in m^3

h:lichte Raumhöhe in m



3 Berechnungsverfahren

3.1 Vorgehensweise

Die zu begutachtenden Räume mit ihren akustisch unterschiedlich wirksamen Begrenzungsflächen, Einbauten, Einrichtungsgegenständen und gegebenenfalls Personen werden als digitale 3D-Modelle nachgebildet und für die in den Kapiteln 4.3, 5.3, 6.3, 7.3, 8.3 und 9.3 vorgestellten Simulationsvarianten untersucht.

Die Tabellen in den Kapiteln 4.4, 4.5, 5.4, 5.5, 6.4, 6.5, 7.4, 7.5, 8.4, 8.5, 9.4 und 9.5 sowie die gerenderten 3D-Ansichten in den Kapiteln 4.6, 5.6, 6.6, 7.6, 8.6 und 9.6 geben einen Überblick über alle Materialien, Flächen und Schallabsorptionsgrade³, wie sie in die Simulationsrechnungen eingehen. Aufgelistet sind weiterhin die angenommenen Absorptionseigenschaften für die im Raum befindlichen Personen.

Liegen für geplante Materialien oder Einbausituationen keine belastbaren Informationen über deren Absorptionseigenschaften vor (z.B. Prüfzeugnisse, Literaturangaben), so werden die Schallabsorptionsgrade von Materialien oder Konstruktionen zur Simulation herangezogen, welche nach Einschätzung der Verfasser ähnliche Ergebnisse erwarten lassen.

Die Durchführung der Simulationsrechnungen erfolgt EDV-gestützt mit dem Softwaresystem EASE V 4.4.22.58 der Firma "AFMG Technologies GmbH". Dabei wird der Einfluss der Luftabsorption über die Annahme einer Lufttemperatur von 20°C, einer Luftfeuchtigkeit von 60 % und eines Luftdrucks von 1013 hPa berücksichtigt.

³ In einzelnen Oktavbandmittenfrequenzen fehlende Quellangaben zu Absorptionsgraden werden durch die Verfasser inter- bzw. extrapoliert.



3.2 Berechnung statistischer Nachhallzeiten

Oftmals werden in raumakustischen Begutachtungen die zu erwartenden Nachhallzeiten lediglich für ein idealisiert diffuses Schallfeld im gesamten Raum prognostiziert. Hierfür stehen grundsätzlich die Berechnungsmethoden nach "Sabine" oder "Eyring" zur Verfügung, mittels derer die Nachhallzeit in Abhängigkeit vom Raumvolumen V , von der Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft $c_0 \sim 343$ m/s und von den im Raum vorhandenen äquivalenten Schallabsorptionsflächen A als frequenzabhängige Raumkonstante berechnet wird, die – theoretisch – an jedem Punkt innerhalb des Raumes Gültigkeit hat.

Die Berechnung nach "Sabine" liefert für Raumvolumina $V \geq 300$ m³ und speziell für "schallharte" Räume mit mittleren Schallabsorptionsgraden $\alpha \leq 0,3$ genauere Prognoseergebnisse als das Verfahren nach "Eyring", welches ausschließlich für kleine und stark bedämpfte Räume mit verschiedenen und räumlich verteilten Oberflächenmaterialien geeignet ist /8/. Im Rahmen der vorliegenden Begutachtung werden daher die statistischen Nachhallzeiten nach "Sabine" prognostiziert.

3.3 Berechnung lokaler Nachhallzeiten

Neben den statistischen Nachhallzeiten für den gesamten Raum können mithilfe von Strahlverfolgungsmethoden (Ray Tracing), oder durch das Spiegelschallquellenverfahren auch lokale Nachhallzeiten (Local Decay Time "LDT") einzeln für jeden beliebigen Punkt im Raum ("Hörerplatz") prognostiziert werden.

Diese Berechnungsmethoden eröffnen feiner differenzierte Optionen zur Beurteilung der Raumakustik, weil sich in der Praxis niemals ein vollständig diffuses Schallfeld einstellt, sondern die an den verschiedenen Örtlichkeiten eines Raumes auftretenden Nachhallzeiten je nach Raumgeometrie, Verteilung der schallabsorbierenden Flächen sowie Standort und Richtwirkung der Schallquelle(n) mehr oder weniger stark von den statistischen Nachhallzeiten abweichen.



4 Musik

4.1 Raumcharakteristik

- Grundriss, Schnitt:

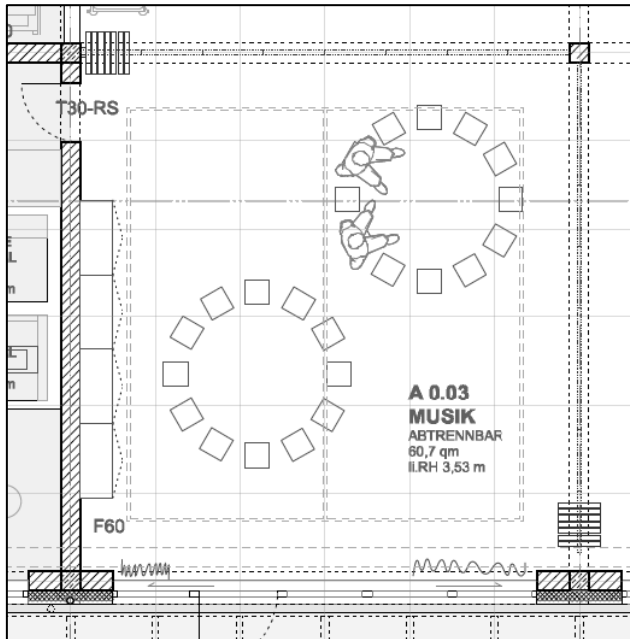


Abbildung 5: Grundriss Musikraum, unmaßstäblich /13/

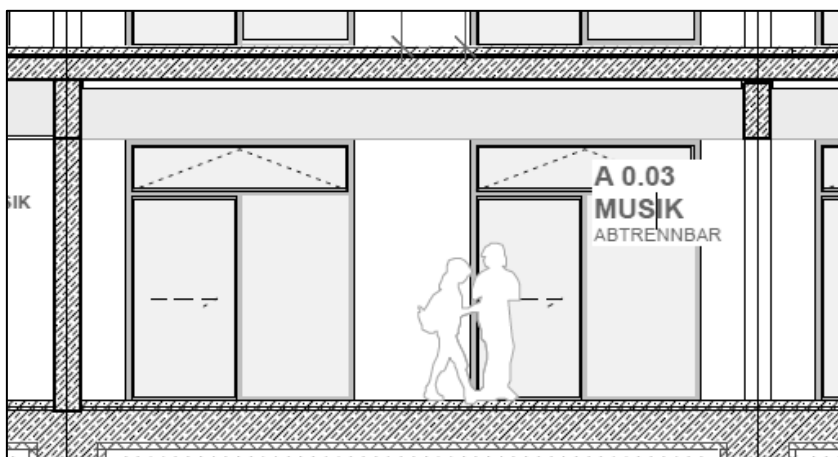


Abbildung 6: Querschnitt Musikraum, unmaßstäblich /13/



- **Nutzungsart gemäß DIN 18041:**
 - A1 – Musik, gegebenenfalls auch A3 – Unterricht/Kommunikation /15/

- **Ursprünglich geplante Raumeigenschaften:**
 - Boden: Geschliffener Estrich
 - Außenwände aus Beton bzw. Mauerwerk
 - Akustisch wirksame, direkt befestigte Decke, gesamte Konstruktionshöhe 95 mm
 - Unterzüge und Stützen aus Beton
 - Fenster in Außenwand
 - Akustisch wirksame Vorhänge vor Fenster
 - Mobile Trennwände zur Mensa und zum Marktplatz aus Holz

- **lichte Raumhöhe**
 - 3,53 m

- **Raumvolumen:**
 - ca. 210 m³

- **Raumbegrenzungsflächen**
 - siehe Kapitel 4.4 und 4.5



4.2 Sollwert der Nachhallzeit

An den Musikraum sind raumakustische Anforderungen zu stellen, wie sie in der DIN 18041 für die Nutzungsart "A1 - Musik" definiert sind. Für das vorliegende Raumvolumen $V \sim 210 \text{ m}^3$ wird der Nachhallzeit-Sollwert T_{soll} nach Nr. 4.3 der DIN 18041 wie folgt ermittelt:

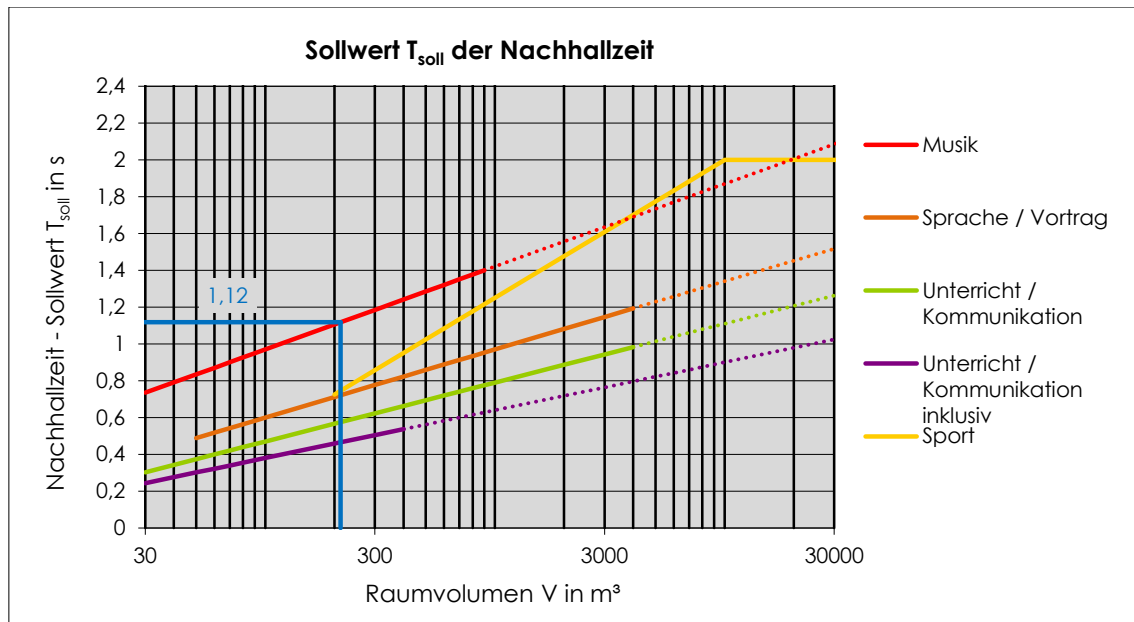


Abbildung 7: Ermittlung des Sollwertes T_{soll} für den Musikraum

Sollwert Nachhallzeit: $T_{\text{soll}} \sim 1,12 \text{ s}$

Der Toleranzbereich für die "zulässigen" Abweichungen von diesem Zielwert beträgt sowohl nach oben als auch nach unten 20 %, d.h., unter den vorliegenden Randbedingungen sollte sich die mittlere Nachhallzeit (250 Hz bis 2,0 kHz) in der folgenden Bandbreite bewegen:

$$0,89 \text{ s} \leq T_{\text{soll}} \leq 1,34 \text{ s}$$

Im tieffrequenten Bereich $f < 250 \text{ Hz}$ sind zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit kürzere Nachhallzeiten von Vorteil. Ähnliches gilt auch für den Frequenzbereich $f > 2,0 \text{ Hz}$.



4.3 Simulationsvarianten

4.3.1 Materialien

Berechnet werden die folgenden Varianten:

Variante 1

mit folgenden raumakustischen Maßnahmen:

- Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 29 m²
- Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 19 m²

Anmerkungen:

Im Musikraum ist von einer zu hohen Bedämpfung abzusehen, um durch längere Nachhallzeiten mehr Musizierfreude zu schaffen. Daher wurden in der Simulation geschlossene Akustikvorhänge angesetzt, sodass der ungünstigste Fall hinsichtlich der Raumakustik untersucht wird.

Die Decke ist in dieser Variante nur im Randbereich schallabsorbierend (ca. 50 % der Deckenfläche), während der mittlere Deckenbereich schallreflektierend bleibt (Rohdecke).

Variante 2

mit folgenden raumakustischen Maßnahmen

- Akustikdecke wie in Variante 1, jedoch vollflächig; Fläche ca. 57 m²

4.3.2 Besetzungsgrad

Die akustischen Verhältnisse in einem Raum können je nach Anzahl der anwesenden Personen erheblich variieren. Die Untersuchung des Musikraums erfolgt mit 19 Personen, was einem Besetzungsgrad von 80 % entspricht.



4.4 Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen

Musik									
Übersicht über verwendete Materialien und deren Eigenschaften									
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Beschreibung	Schallabsorptionsgrade α						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Außenwand, Betonwand, Rohdecke	Putz	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06
2	Tür, mobile Trennwände	lackiertes Holz	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
3	Schallabsorbierender Vorhang	Gewebe Sport, Stoff glatt, Fa. Création Baumann AG	0,05	0,30	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
4	Akustikdecke	Akustikplatten "Heradesign fine", mit Mineralwolle hinterlegt, Fa. Knauf	0,60	1,00	0,80	0,70	0,85	0,80	0,80
5	Tisch- und Stuhlbeine	Metall	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
6	Personen	auf ungepolsterter Bestuhlung sitzende Person	0,30	0,60	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00
7	Fenster	Isolierverglasung	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02

zu Nr. 2:.....Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Fenster ca. 150 mm, glatter Zustand

zu Nr. 5:.....Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke

Musik	
Literaturangaben	
Nr.	Quelle
1	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 3; März 2016
2	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 7; März 2016
3	Prüfzeugnis für "Gewebe Sport" der Firma Création Baumann AG, Prüfung durch Müller-BBM, Juli 2013
4	Datenblatt "HERADESIGN® fine", Fa. Knauf AMF GmbH & Co. KG, Januar 2018
5	Excel-Materialdatenbank von gesammelten Schallabsorptionswerten, Zeile 603; Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig
6	DIN 18041 "Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen", Tabelle B.2, Zeile 02; Mai 2004
7	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 10; März 2016



4.5 Flächenangaben

In der folgenden Tabelle sind die für die in Kapitel 4.3 vorgestellten Simulationsvarianten verwendeten Flächen⁴ der verschiedenen Materialien angegeben:

Musik					
Variantenuntersuchungen		Besetzungsgrad 80%			
Nr.	Raubegrenzungsfläche	Variante 1		Variante 2	
		Fläche [m²]	Fläche [%]	Fläche [m²]	Fläche [%]
1	Außenwand, Betonwand, Rohdecke	131,8	50,5	103,0	39,5
2	Tür, mobile Trennwände	71,4	27,3	71,4	27,3
3	Schallabsorbierender Vorhang	18,6	7,1	0,0	0,0
4	Akustikdecke	28,7	11,0	57,4	22,0
5	Tisch- und Stuhlbeine	4,7	1,8	4,7	1,8
6	Personen	6,1	2,3	6,1	2,3
7	Fenster	0,0	0,0	18,6	7,1

⁴ Die angegebenen Flächen sind bei den schallharten und somit raumakustisch verhältnismäßig unwirksamen Materialien nicht als verbindliche Absolutwerte zu verstehen. Abweichungen von bis zu 15 % von den tatsächlichen Größen haben ihre Ursache in beabsichtigten und schalltechnisch irrelevanten Vereinfachungen des digitalen Simulationsmodells. Hingegen müssen die Flächen der stärker schallabsorbierenden Elemente (z. B. Akustikdecke, Wandabsorber, Vorhänge) gut mit der Planung übereinstimmen. Eventuelle Differenzen/Änderungen können hier entscheidenden – meist negativen – Einfluss auf die akustischen Verhältnisse haben und sollten daher im Zweifelsfall immer auf ihre Auswirkungen überprüft werden.



4.6 3D-Ansichten



Abbildung 8: Innenansicht 1, Variante 1, Musikraum



Abbildung 9: Innenansicht 2, Variante 2, Musikraum



4.7 Berechnungsergebnisse

4.7.1 Statistische Nachhallzeiten

Die Berechnungen der statistischen Nachhallzeiten nach "Sabine" (vgl. Kapitel 2) liefern für die in Kapitel 4.3 vorgestellten Simulationsvarianten folgende Ergebnisse:

Musik									
Statistische Nachhallzeiten									
Berechnung nach "Sabine"	Besetzungsgrad [%]	Oktavband-Mittelfrequenzen [Hz]							Einzahlwert
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
		Nachhallzeit T [s]							
Variante 1	80	1,16	0,75	0,70	0,75	0,65	0,60	0,50	0,72
Variante 2	80	0,68	0,48	0,57	0,64	0,54	0,52	0,45	0,60

Abbildung 10 stellt den prognostizierten Nachhallzeitenverlauf für die in Kapitel 4.3 vorgestellten Simulationsvarianten grafisch dar:

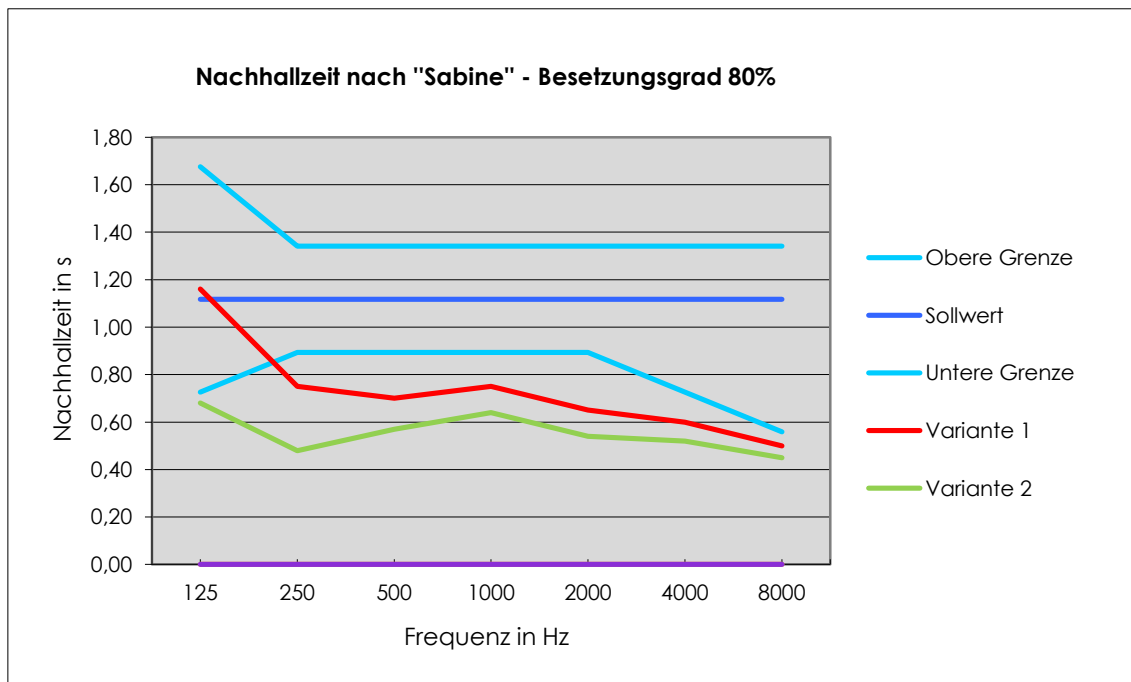


Abbildung 10: Statistischer Nachhallzeitverlauf für den Musikraum im Vergleich mit dem Sollwert



4.7.2 Lokale Nachhallzeiten

Zur Prognose der lokalen Nachhallzeiten (LDT) wird als repräsentative Schallquelle ein omnidirektionaler Lautsprecher verwendet, welcher in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlt. Die Berechnung erfolgt an exemplarisch gewählten "Hörerplätzen" im Raum. Diese befinden sich 1,20 m über der Fußbodenoberkante (~ Ohrhöhe einer sitzenden Person)

Die für die in Kapitel 4.3 vorgestellten Simulationsvarianten durchgeführten Berechnungen der lokalen Nachhallzeiten liefern im Durchschnitt über die exemplarisch gewählten Hörerplätze die folgenden **Mittelwerte**:

Musik									
Mittelwerte der lokalen Nachhallzeiten									
	Besetzungs- grad	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]							Einzahl- wert
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	[%]	Nachhallzeit T [s]							
Variante 1	80	1,18	0,78	0,72	0,74	0,65	0,58	0,48	0,72
Variante 2	80	0,72	0,62	0,77	0,78	0,72	0,70	0,53	0,74



In den folgenden Abbildungen werden für die untersuchten Varianten die lokale Nachhallzeit (Mittelwerte) und die statistische Nachhallzeit nochmals grafisch gegenübergestellt:

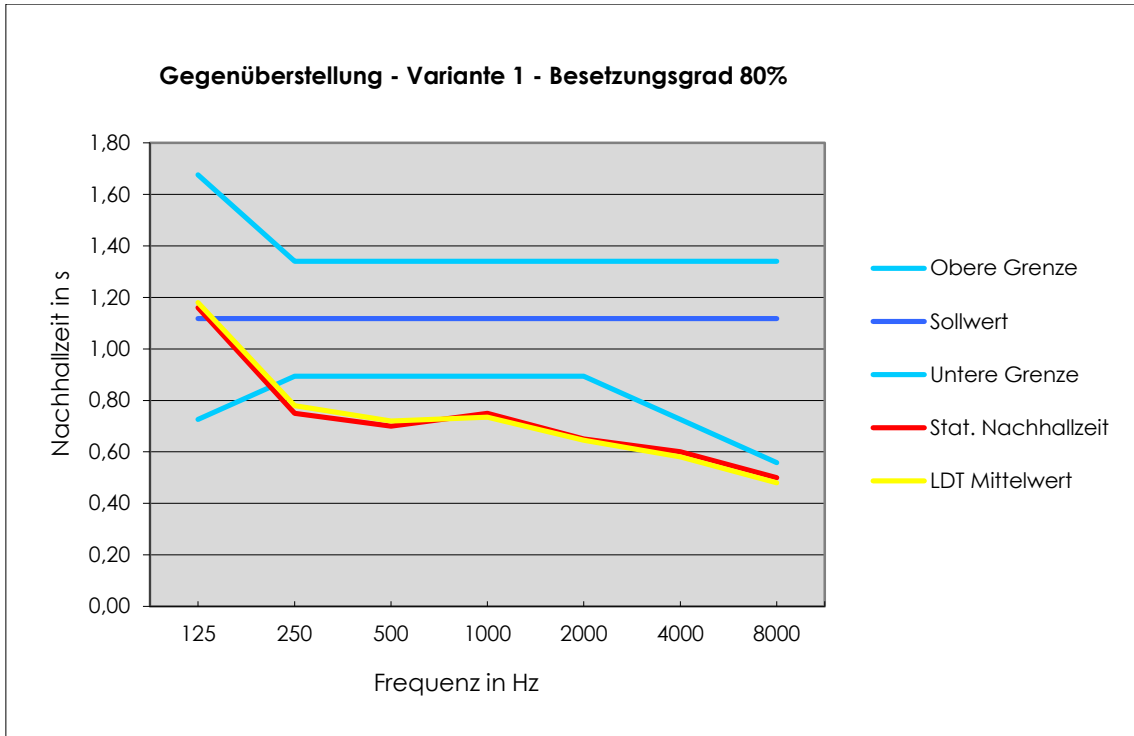


Abbildung 11: Nachhallzeiten Variante 1, Nutzung A1 - Musik, Musikraum

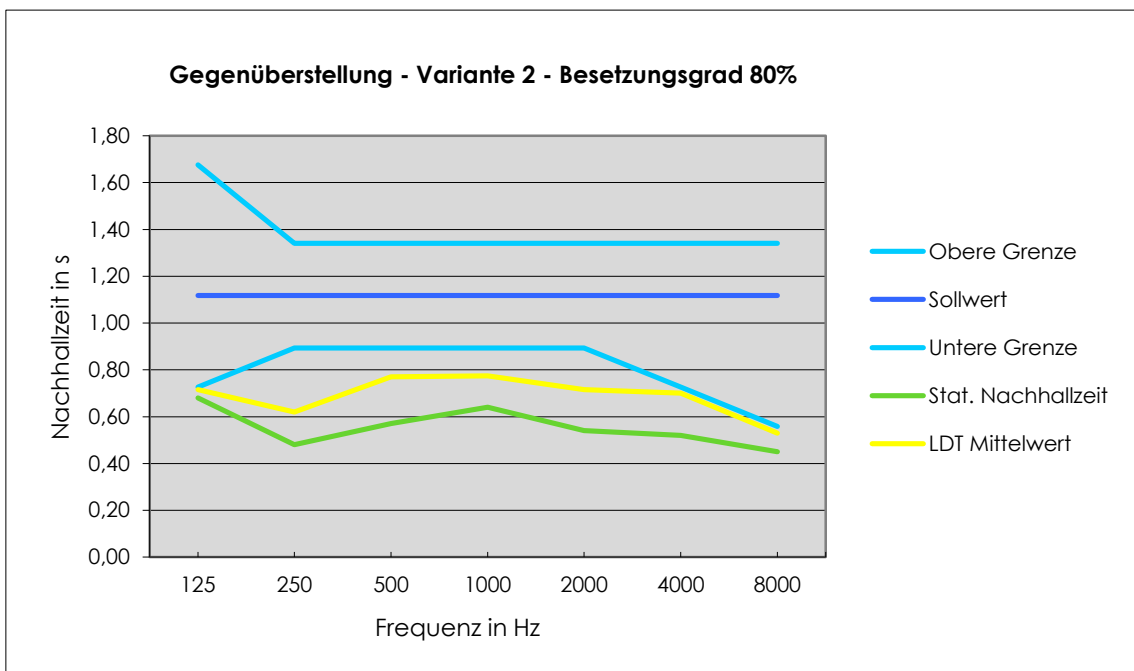


Abbildung 12: Nachhallzeiten Variante 2, Nutzung A1 - Musik, Musikraum



Da im Musikraum nicht durchgehend Musik gespielt wird, sondern auch Unterricht stattfindet, wurden die Simulationsergebnisse auch den Anforderungen der DIN 18041 bei einer Unterrichtsnutzung (A3 - Unterricht/Kommunikation) gegenübergestellt:

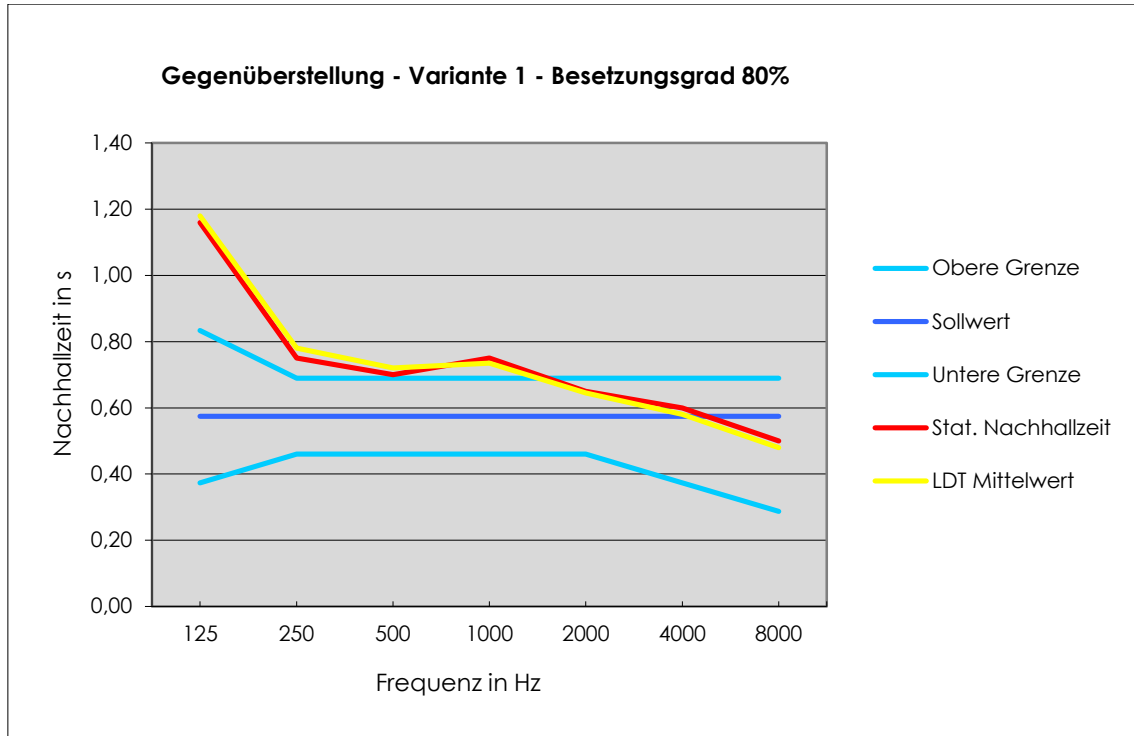


Abbildung 13: Nachhallzeiten Variante 1, Nutzung A3 – Unterricht/Kommunikation, Musikraum

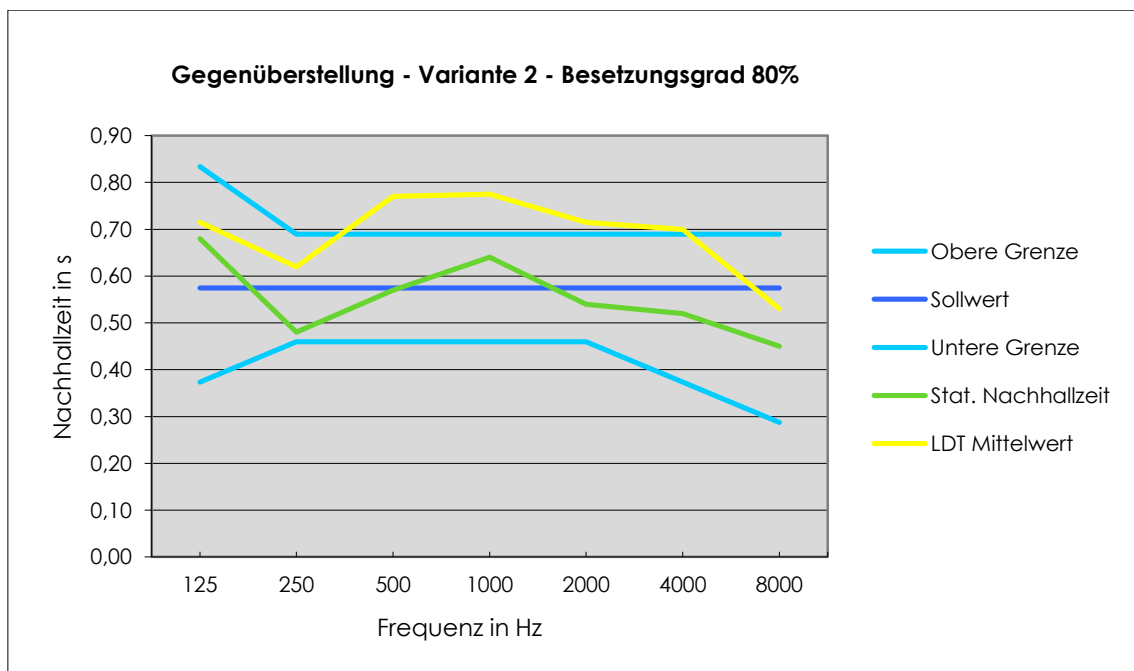


Abbildung 14: Nachhallzeiten Variante 2, Nutzung A3 – Unterricht-Kommunikation, Musikraum



5 Mensa + Marktplatz

5.1 Raumcharakteristik

- **Grundriss:**

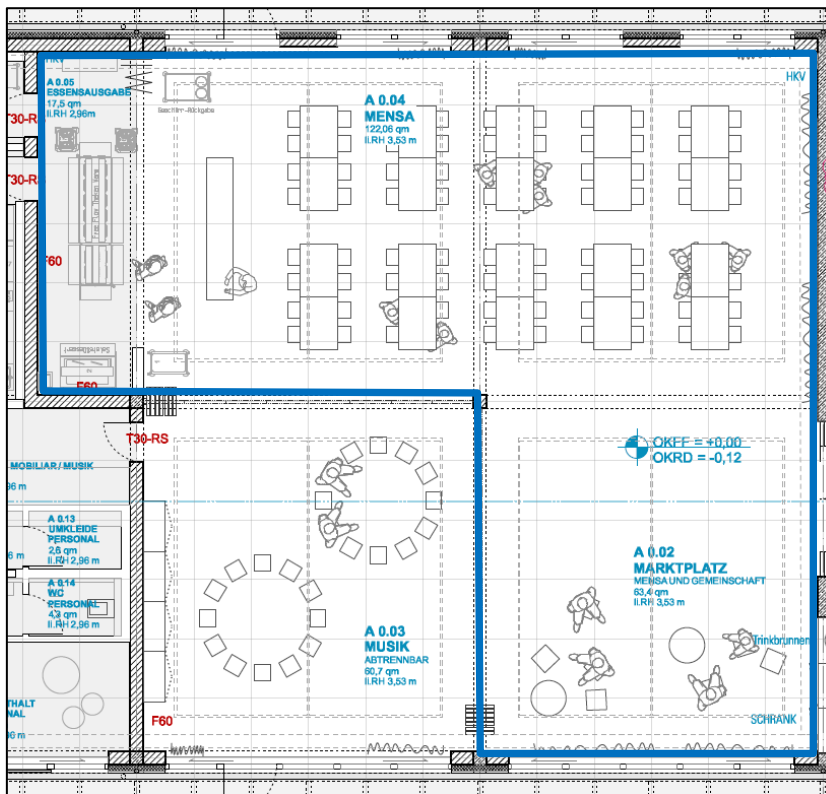


Abbildung 15: Grundriss Mensa + Marktplatz, unmaßstäblich /13/

- **Nutzungsart gemäß DIN 18041:**

- B5 - Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort /15/

- **Ursprünglich geplante Raumeigenschaften:**

- Boden: Geschliffener Estrich
- Wände aus Beton bzw. Mauerwerk
- Akustisch wirksame, direkt befestigte Decke, gesamte Konstruktionshöhe 95 mm
- Unterzüge und Stützen aus Beton
- Fenster in Außenwand
- Akustisch wirksame Vorhänge vor Fenstern
- Akustisch wirksame Vorhänge vor der Rückwand der Mensa
- Mobile Trennwände zum Musikraum aus Holz



- **lichte Raumhöhe**
 - 3,50 m

- **Raumvolumen:**
 - ca. 720 m³

- **Raumbegrenzungsflächen**
 - siehe Kapitel 5.4 und 5.5



5.2 Sollwert des A/V-Verhältnis

An den Raum sind raumakustische Anforderungen zu stellen, wie sie in der DIN 18041 für die Nutzungsart "B5 - Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort" definiert sind. Für die vorliegende Raumhöhe $h = 3,50$ m und die Nutzungsart B5 wird das Verhältnis A/V wie folgt ermittelt:

$$A/V \geq 0,25$$

5.3 Simulationsvarianten

5.3.1 Materialien

Berechnet wird die folgende Variante:

Variante 1

mit folgender raumakustischer Maßnahme

- Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine", Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 191 m²
- Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 16 m²
- Schallabsorbierende Vorhänge "CALVARO" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 364 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 11 m²

Anmerkung:

Für die Simulation wurde angenommen, dass die schallabsorbierenden Vorhänge ("SPORT") vor den Fenstern die Fensterflächen zu einem Drittel bedecken. Die schallabsorbierenden Vorhänge vor der Rückwand der Mensa wurden mit gerafftem Zustand angesetzt.

5.3.2 Besetzungsgrad

Die akustischen Verhältnisse in einem Raum können je nach Anzahl der anwesenden Personen erheblich variieren. Die Untersuchung der Mensa erfolgt richtlinienkonform ohne Personen, was einem Besetzungsgrad von 0 % entspricht.



5.4 Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen

Mensa+Marktplatz									
Übersicht über verwendete Materialien und deren Eigenschaften									
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Beschreibung	Schallabsorptionsgrade α						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Sitzplätze, Tische, mobile Trennwände	lackiertes Holz	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
2	Außenwände, Unterzüge, Boden	Putz	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06
3	Fenster	Isolierverglasung	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02
4	Akustikdecke	Akustikplatten "Heradesign fine", mit Mineralwolle hinterlegt, Fa. Knauf	0,60	1,00	0,80	0,70	0,85	0,80	0,80
5	Schallabs. Vorhang vor Wand	Gewebe Calvaro, Stoff gerafft, Fa. Création Baumann AG	0,15	0,45	0,75	0,80	0,90	0,95	0,95
6	Schallabs. Vorhang vor Fenstern	Gewebe Sport, Stoff gerafft, Fa. Création Baumann AG	0,10	0,50	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99
7	Tisch- und Stuhlbeine	Metall	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03

zu Nr. 4:.....Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke

zu Nr. 5:.....Schallabsorbierende Vorhänge "CALVARO" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 364 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand ca. 150 mm, geraffter Zustand

zu Nr. 6:.....Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand

Mensa+Marktplatz	
Literaturangaben	
Nr.	Quelle
1	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 7; März 2016
2	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 3; März 2016
3	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 10; März 2016
4	Datenblatt "HERADESIGN® fine", Fa. Knauf AMF GmbH & Co. KG, Januar 2018
5	Prüfzeugnis für "Gewebe Calvaro" der Firma Création Baumann AG, Prüfung durch swisscom, Oktober 2012
6	Prüfzeugnis für "Gewebe Sport" der Firma Création Baumann AG, Prüfung durch Müller-BBM, Juli 2013
7	Excel-Materialdatenbank von gesammelten Schallabsorptionswerten, Zeile 603; Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig



5.5 Flächenangaben

In der folgenden Tabelle sind die für die in Kapitel 5.3 vorgestellte Simulationsvariante verwendeten Flächen⁵ der verschiedenen Materialien angegeben:

Mensa+Marktplatz			
Variantenuntersuchungen		Besetzungsgrad 0%	
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Variante 1	
		Fläche [m ²]	Fläche [%]
1	Sitzplätze, Tische, mobile Trennwände	157,3	19,2
2	Außenwände, Unterzüge, Boden	374,6	45,7
3	Fenster	41,1	5,0
4	Akustikdecke	190,9	23,3
5	Schallabs. Vorhang vor Wand	10,6	1,3
6	Schallabs. Vorhang vor Fenstern	16,5	2,0
7	Tisch- und Stuhlbeine	28,7	3,5

⁵ Die angegebenen Flächen sind bei den schallharten und somit raumakustisch verhältnismäßig unwirksamen Materialien nicht als verbindliche Absolutwerte zu verstehen. Abweichungen von bis zu 15 % von den tatsächlichen Größen haben ihre Ursache in beabsichtigten und schalltechnisch irrelevanten Vereinfachungen des digitalen Simulationsmodells. Hingegen müssen die Flächen der stärker schallabsorbierenden Elemente (z. B. Akustikdecke, Wandabsorber, Vorhänge) gut mit der Planung übereinstimmen. Eventuelle Differenzen/Änderungen können hier entscheidenden – meist negativen – Einfluss auf die akustischen Verhältnisse haben und sollten daher im Zweifelsfall immer auf ihre Auswirkungen überprüft werden.



5.6 3D-Ansichten



Abbildung 16: Innenansicht 1, Variante 1, Mensa + Marktplatz



Abbildung 17: Innenansicht 2, Variante 1, Mensa + Marktplatz



5.7 Berechnungsergebnisse

5.7.1 Berechnung der Absorptionsfläche A

Die Berechnung der Absorptionsfläche A liefert für die in Kapitel 5.3 vorgestellte Simulationsvariante die folgenden Ergebnisse:

Mensa+Marktplatz		Variante 1			
Berechnung der gesamten Absorptionsfläche		Besetzungsgrad 0%			
		Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]			
		250	500	1000	2000
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Absorptionsfläche A [m ²]			
1	Sitzplätze, Tische, mobile Trennwände	12,58	9,44	7,86	7,86
2	Außenwände, Unterzüge, Boden	7,49	11,24	11,24	14,98
3	Fenster	8,21	4,52	2,46	1,23
4	Akustikdecke	190,89	152,72	133,63	162,26
5	Schallabs. Vorhang vor Wand	4,76	7,93	8,46	9,52
6	Schallabs. Vorhang vor Fenstern	8,24	15,65	16,31	16,31
7	Tisch- und Stuhlbeine	0,29	0,57	0,57	0,86
gesamte Absorptionsfläche [m²]		232,46	202,06	180,53	213,03



5.7.2 Überblick über das Verhältnis A/V

Die Berechnung des Verhältnisses A/V liefert für die in Kapitel 5.3 vorgestellte Simulationsvariante die folgenden Ergebnisse:

Mensa+Marktplatz		Variante 1				Besetzungsgrad 0%
Berechnung des Verhältnisses A / V bei Raumhöhen h > 2,5 m						
Raumvolumen V [m³]	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]					
	250	500	1000	2000		
720,65	Verhältnis A / V [m² / m³]					
	0,32	0,28	0,25	0,30		
Anforderung	0,25					
B5	JA	JA	JA	JA		



6 Mensa + Marktplatz + Musik

6.1 Raumcharakteristik

- **Grundriss:**

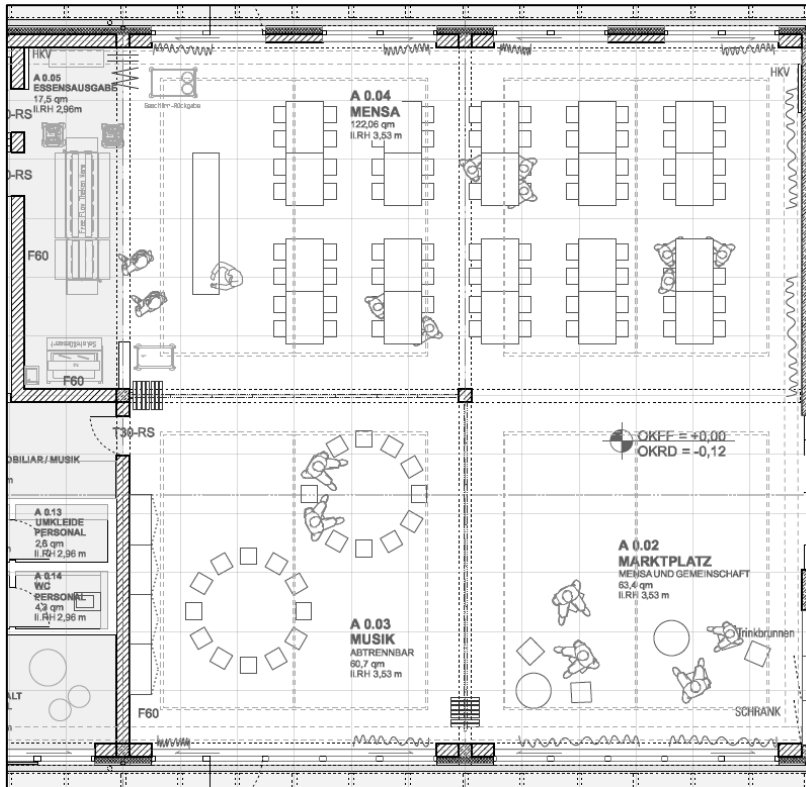


Abbildung 18: Grundriss Mensa + Marktplatz + Musik, unmaßstäblich /13/

- **Nutzungsart gemäß DIN 18041:**

- A2 – Sprache/Vortrag /15/

Der Raum soll gegebenenfalls als Probenraum für ein Schulorchester genutzt werden. In diesem Fall steht insbesondere die Wahrnehmung der Präzision des Zusammenspiels im Vordergrund. Daher ist das Erreichen einer kürzeren Nachhallzeit als bei der Nutzung A1 ("Musik") nach DIN 18041 zu empfehlen. Auch in der DIN 18041 wird für Probenräume die Einhaltung der Anforderungen der Nutzungsart A2 ("Sprache/Vortrag") empfohlen.



- **Ursprünglich geplante Raumeigenschaften:**
 - Boden: Geschliffener Estrich
 - Wände aus Beton bzw. Mauerwerk
 - Akustisch wirksame, direkt befestigte Decke, gesamte Konstruktionshöhe 95 mm
 - Unterzüge und Stützen aus Beton
 - Fenster in Außenwand
 - Akustisch wirksame Vorhänge vor Fenstern
 - Akustisch wirksame Vorhänge vor der Rückwand der Mensa

- **Raumvolumen:**
 - ca. 930 m³

- **Raumbegrenzungsflächen**
 - siehe Kapitel 6.4 und 6.5



6.2 Sollwert der Nachhallzeit

An den Bereich "Mensa" + "Marktplatz" + "Musik" sind raumakustische Anforderungen zu stellen, wie sie in der DIN 18041 für die Nutzungsart "A2 – Sprache/Vortrag" definiert sind. Für das vorliegende Raumvolumen $V \sim 930 \text{ m}^3$ wird der Nachhallzeit-Sollwert T_{soll} nach Nr. 4.3 der DIN 18041 wie folgt ermittelt:

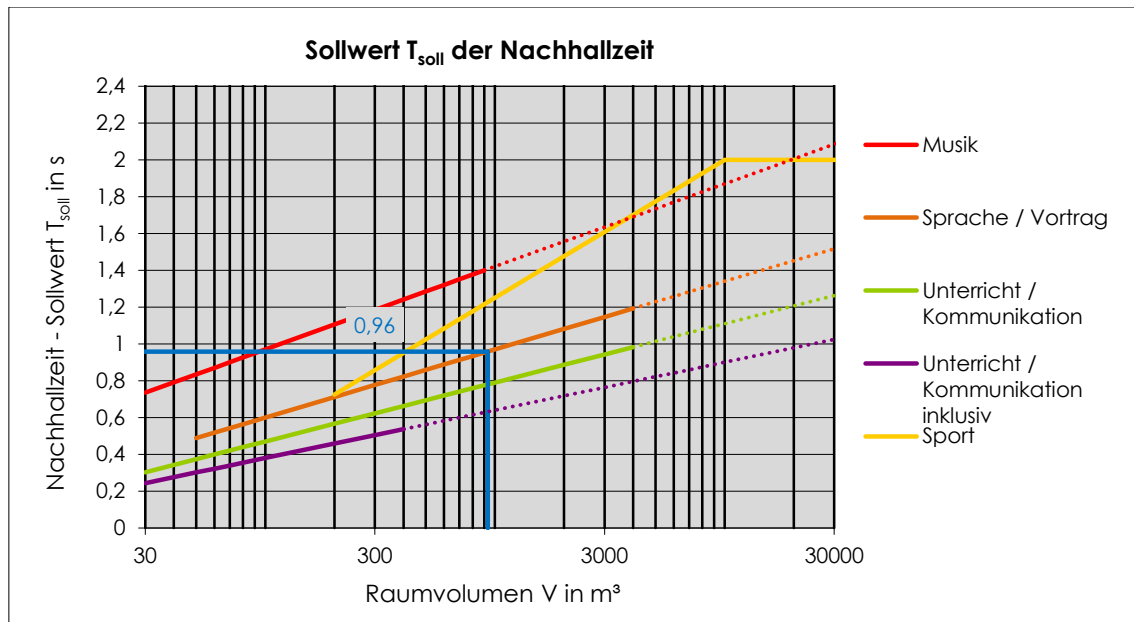


Abbildung 19: Ermittlung des Sollwertes T_{soll} für den Bereich Mensa + Marktplatz + Musik

Sollwert Nachhallzeit: $T_{\text{soll}} \sim 0,96 \text{ s}$

Der Toleranzbereich für die "zulässigen" Abweichungen von diesem Zielwert beträgt sowohl nach oben als auch nach unten 20 %, d.h., unter den vorliegenden Randbedingungen sollte sich die mittlere Nachhallzeit (250 Hz bis 2,0 kHz) in der folgenden Bandbreite bewegen:

$$0,77 \text{ s} \leq T_{\text{soll}} \leq 1,15 \text{ s}$$

Im tieffrequenten Bereich $f < 250 \text{ Hz}$ sind zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit kürzere Nachhallzeiten von Vorteil. Ähnliches gilt auch für den Frequenzbereich $f > 2,0 \text{ Hz}$.



6.3 Simulationsvarianten

6.3.1 Materialien

Berechnet werden die folgenden Varianten:

Variante 1

mit folgenden raumakustischen Maßnahmen:

- Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 219 m²
- Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 23 m²
- Schallabsorbierende Vorhänge "CALVARO" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 364 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 11 m²

Variante 2

mit folgenden raumakustischen Maßnahmen

- Akustikdecke wie in Variante 1, jedoch vollflächig; Fläche ca. 247 m²
- Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" und "CALVARO" wie in Variante 1

Anmerkung:

Die Maßnahmen der zwei Varianten entsprechen den Maßnahmen, die schon in den Kapiteln 4.3 und 5.3 beschrieben wurden.

6.3.2 Besetzungsgrad

Die akustischen Verhältnisse in einem Raum können je nach Anzahl der anwesenden Personen erheblich variieren. Die Untersuchung des Raums erfolgt mit 40 Personen, was einem Besetzungsgrad von 80 % entspricht (Annahme).



6.4 Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen

Mensa+Musik+Marktplatz									
Übersicht über verwendete Materialien und deren Eigenschaften									
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Beschreibung	Schallabsorptionsgrade α						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Sitzplätze, Tischplatten	lackiertes Holz	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
2	Schallabs. Vorhang vor Fenstern	Gewebe "Sport", Stoff gerafft, Fa. Création Baumann AG	0,10	0,50	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99
3	Betonwände, Mauerwerk, Boden	Putz	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06
4	Fenster	Isolierverglasung	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02
5	Schallabs. Vorhang vor Wand	Gewebe "Calvaro", Stoff gerafft, Fa. Création Baumann AG	0,15	0,45	0,75	0,80	0,90	0,95	0,95
6	Akustikdecke	Akustikplatten "Heradesign fine", mit Mineralwolle hinterlegt, Fa. Knauf	0,60	1,00	0,80	0,70	0,85	0,80	0,80
7	Tisch- und Stuhlbeine	Metall	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
8	Personen	auf ungepolsterter Bestuhlung sitzende Person	0,30	0,60	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00

zu Nr. 2:.....Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand

zu Nr. 5:.....Schallabsorbierende Vorhänge "CALVARO" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 364 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand ca. 150 mm, geraffter Zustand

zu Nr. 6:.....Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke



Mensa+Musik+Marktplatz	
Literaturangaben	
Nr.	Quelle
1	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 7; März 2016
2	Prüfzeugnis für "Gewebe Sport" der Firma Création Baumann AG, Prüfung durch Müller-BBM, Juli 2013
3	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 3; März 2016
4	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 10; März 2016
5	Prüfzeugnis für "Gewebe Calvaro" der Firma Création Baumann AG, Prüfung durch swisscom, Oktober 2012
6	Datenblatt "HERADESIGN@ fine", Fa. Knauf AMF GmbH & Co. KG, Januar 2018
7	Excel-Materialdatenbank von gesammelten Schallabsorptionswerten, Zeile 603; Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig
8	DIN 18041 "Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen", Tabelle B.2, Zeile 02; Mai 2004



6.5 Flächenangaben

In der folgenden Tabelle sind die für die in Kapitel 6.3 vorgestellten Simulationsvarianten verwendeten Flächen⁶ der verschiedenen Materialien angegeben:

Mensa+Musik+Marktplatz					
Variantenuntersuchungen		Besetzungsgrad 80%			
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Variante 1		Variante 2	
		Fläche [m ²]	Fläche [%]	Fläche [m ²]	Fläche [%]
1	Sitzplätze, Tischplatten	131,5	13,3	131,5	13,3
2	Schallabs. Vorhang vor Fenstern	22,7	2,3	22,7	2,3
3	Betonwände, Mauerwerk, Boden	488,8	49,4	460,5	46,6
4	Fenster	53,4	5,4	53,4	5,4
5	Schallabs. Vorhang vor Wand	27,4	2,8	27,4	2,8
6	Akustikdecke	219,1	22,2	247,4	25,0
7	Tisch- und Stuhlbeine	33,5	3,4	33,5	3,4
8	Personen	12,8	1,3	12,8	1,3

⁶ Die angegebenen Flächen sind bei den schallharten und somit raumakustisch verhältnismäßig unwirksamen Materialien nicht als verbindliche Absolutwerte zu verstehen. Abweichungen von bis zu 15 % von den tatsächlichen Größen haben ihre Ursache in beabsichtigten und schalltechnisch irrelevanten Vereinfachungen des digitalen Simulationsmodells. Hingegen müssen die Flächen der stärker schallabsorbierenden Elemente (z. B. Akustikdecke, Wandabsorber, Vorhänge) gut mit der Planung übereinstimmen. Eventuelle Differenzen/Änderungen können hier entscheidenden – meist negativen – Einfluss auf die akustischen Verhältnisse haben und sollten daher im Zweifelsfall immer auf ihre Auswirkungen überprüft werden.



6.6 3D-Ansichten



Abbildung 20: Innenansicht 1, Variante 1, Mensa + Marktplatz + Musik



Abbildung 21: Innenansicht 2, Variante 2, Mensa + Marktplatz + Musik



6.7 Berechnungsergebnisse

6.7.1 Statistische Nachhallzeiten

Die Berechnungen der statistischen Nachhallzeiten nach "Sabine" (vgl. Kapitel 2) liefern für die in Kapitel 6.3 vorgestellten Simulationsvarianten folgende Ergebnisse:

Mensa+Musik+Marktplatz									
Statistische Nachhallzeiten									
Berechnung nach "Sabine"	Besetzungsgrad [%]	Oktavband-Mittelfrequenzen [Hz]							Einzahlwert
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
		Nachhallzeit T [s]							
Variante 1	80	0,84	0,54	0,59	0,64	0,54	0,52	0,44	0,61
Variante 2	80	0,79	0,50	0,57	0,63	0,53	0,51	0,44	0,59

Abbildung 22 stellt den prognostizierten Nachhallzeitenverlauf für die in Kapitel 6.3 vorgestellten Simulationsvarianten grafisch dar:

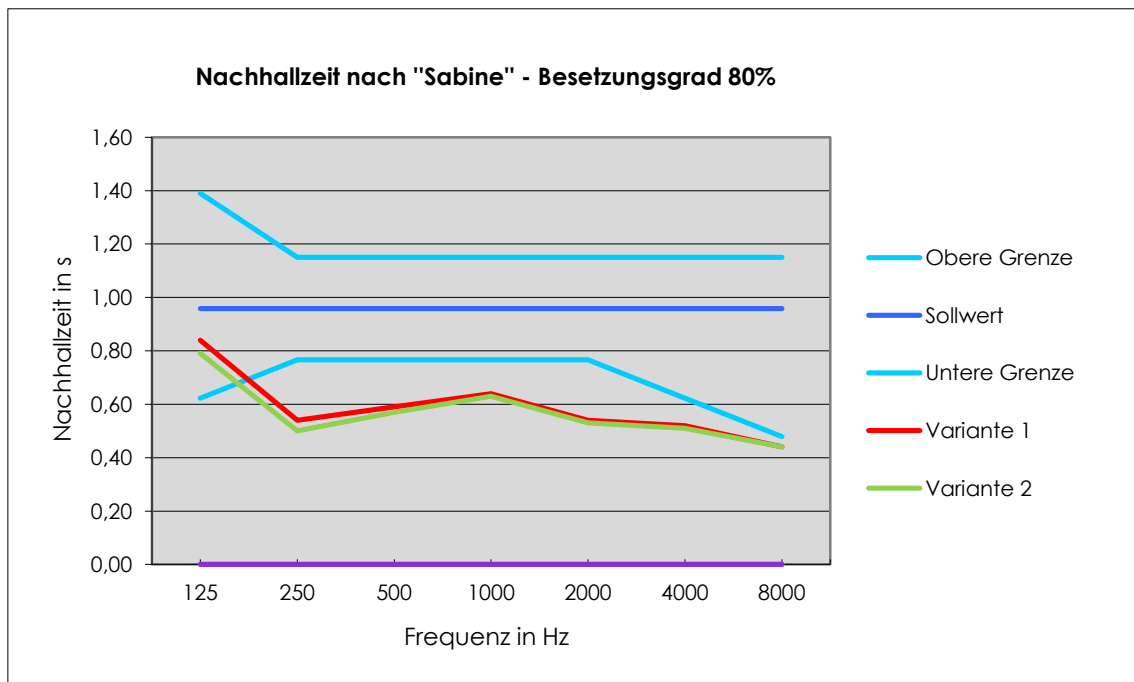


Abbildung 22: Statistischer Nachhallzeitverlauf für den Raum Mensa + Marktplatz + Musik im Vergleich mit dem Sollwert



6.7.2 Lokale Nachhallzeiten

Zur Prognose der lokalen Nachhallzeiten (LDT) wird als repräsentative Schallquelle ein omnidirektionaler Lautsprecher verwendet, welcher in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlt. Die Berechnung erfolgt an exemplarisch gewählten "Hörerplätzen" im Raum. Diese befinden sich 1,70 m über der Fußbodenoberkante (~ Ohrhöhe einer stehenden Person)

Die für die in Kapitel 6.3 vorgestellten Simulationsvarianten durchgeführten Berechnungen der lokalen Nachhallzeiten liefern im Durchschnitt über die exemplarisch gewählten Hörerplätze die folgenden **Mittelwerte**:

Mensa+Musik+Marktplatz									
Mittelwerte der lokalen Nachhallzeiten									
	Besetzungs- grad	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]							Einzahl- wert
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	[%]	Nachhallzeit T [s]							
Variante 1	80	1,14	0,89	0,81	0,84	0,75	0,76	0,52	0,83
Variante 2	80	1,12	1,06	0,93	1,00	0,93	0,78	0,56	0,95



In den folgenden Abbildungen werden für die untersuchten Varianten die lokalen Nachhallzeiten (Mittelwerte) und die statistischen Nachhallzeiten nochmals grafisch gegenübergestellt:

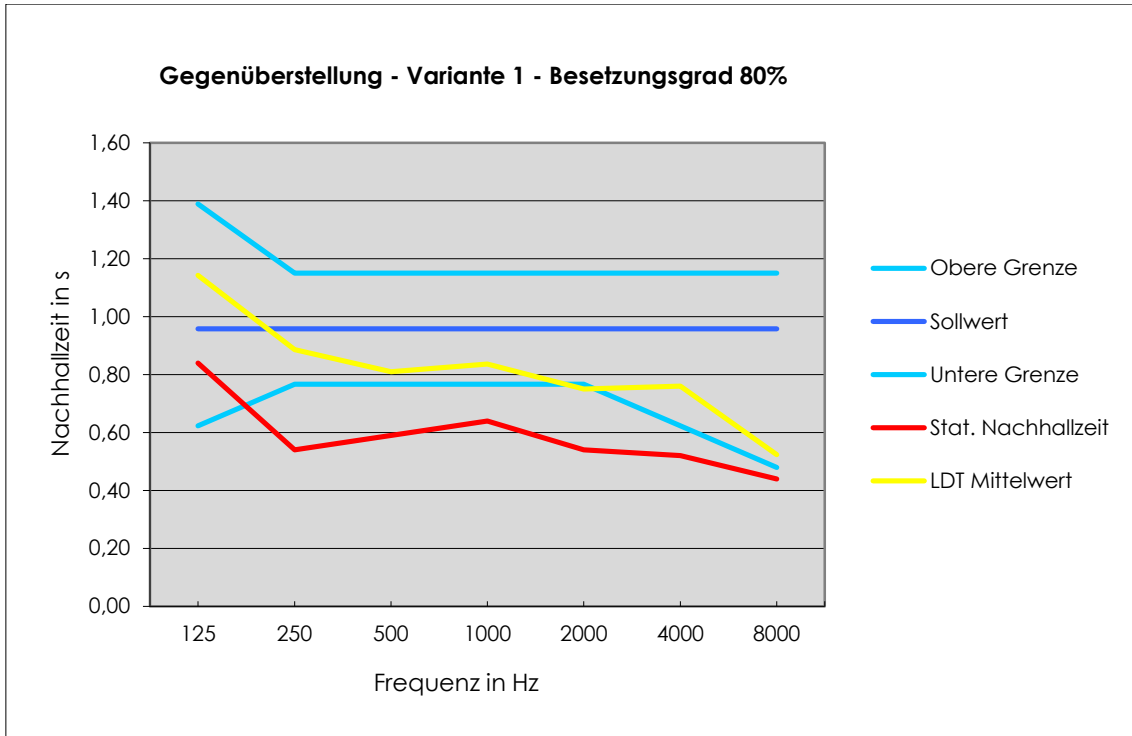


Abbildung 23: Nachhallzeiten Variante 1, Mensa + Marktplatz + Musik

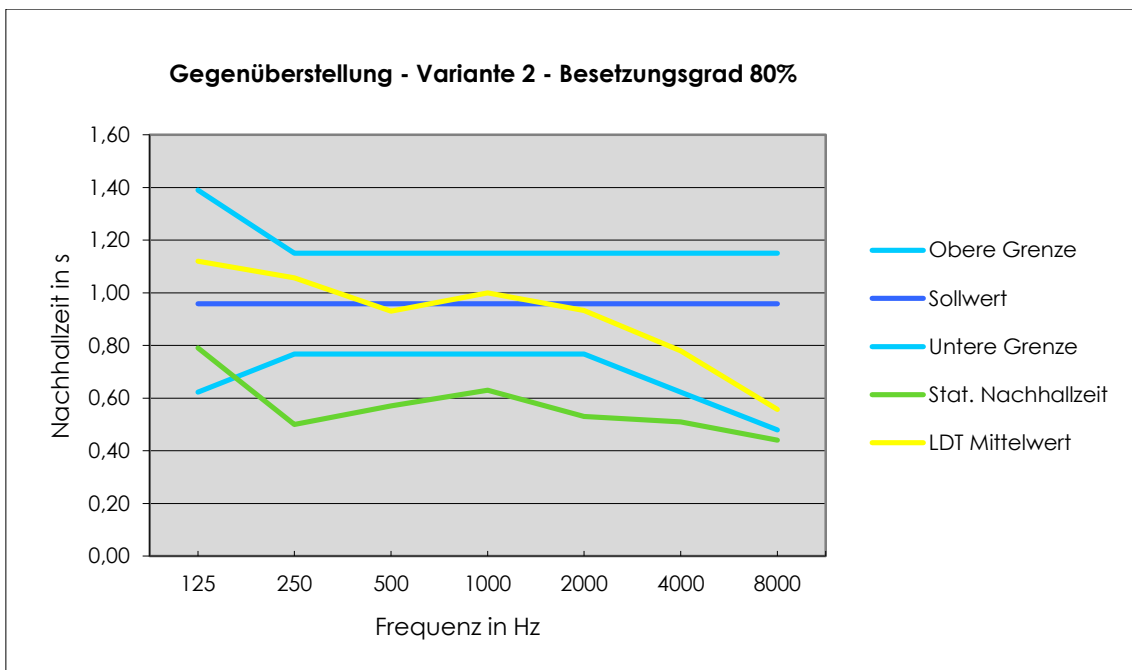


Abbildung 24: Nachhallzeiten Variante 2, Mensa + Marktplatz + Musik



7 Team

7.1 Raumcharakteristik

- **Grundriss:**

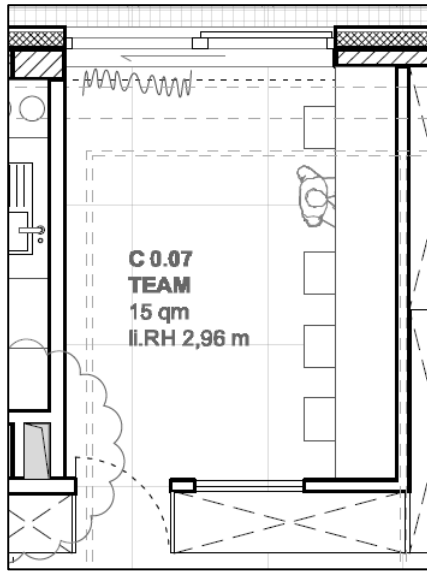


Abbildung 25: Grundriss Team, unmaßstäblich /12/

- **Nutzungsart gemäß DIN 18041:**

- B4 - Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort /15/

- **Ursprünglich geplante Raumeigenschaften:**

- Boden: Geschliffener Estrich
- Außenwand aus Mauerwerk
- Fenster in Außenwand und zur "Mitte"
- Decke und Trennwände: Bekleidung aus Holzplatten
- Akustisch wirksamer Vorhang vor Fenster

- **lichte Raumhöhe**

- 2,96 m

- **Raumvolumen:**

- ca. 40 m³

- **Raumbegrenzungsflächen**

- siehe Kapitel 7.4 und 7.5



7.2 Sollwert des A/V-Verhältnis

An den Teamraum sind raumakustische Anforderungen zu stellen, wie sie in der DIN 18041 für die Nutzungsart "B4 - Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort" definiert sind. Für die vorliegende Raumhöhe $h = 2,95 \text{ m}$ und die Nutzungsart B4 wird das Verhältnis A/V wie folgt ermittelt:

$$A/V \geq 0,23$$

7.3 Simulationsvarianten

7.3.1 Materialien

Berechnet werden die folgenden Varianten:

Variante 1

mit folgender raumakustischer Maßnahme

- Schallabsorbierender Vorhang "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m^2 , Abstand zwischen Vorhang und Wand ca. 150 mm , geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. $2,6 \text{ m}^2$
- Wandabsorber aus Glaswolle "Absorber-Elemente Filz CB" der Firma ORG-Delta, Stärke 45 mm ; Fläche ca. $4,5 \text{ m}^2$

Variante 2

mit folgenden raumakustischen Maßnahmen

- Schallabsorbierender Vorhang wie in Variante 1
- Vollflächige Akustikdecke "Cleaneo Akustik Plattendecke 6/18 R" der Firma Knauf, gerade Rundlochung, Lochanteil $8,7 \%$, Lochdurchmesser 6 mm , Lochabstand 18 mm , mit Akustikvlies hinterlegt, Abhängehöhe 400 mm (Kenndaten); Fläche ca. 13 m^2

Anmerkung:

Für die Simulationen wurde angenommen, dass der schallabsorbierende Vorhang die Fensterfläche zu einem Drittel bedeckt.

7.3.2 Besetzungsgrad

Die akustischen Verhältnisse in einem Raum können je nach Anzahl der anwesenden Personen erheblich variieren. Die Untersuchung der Mensa erfolgt richtlinienkonform ohne Personen, was einem Besetzungsgrad von 0% entspricht.



7.4 Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen

Team									
Übersicht über verwendete Materialien und deren Eigenschaften									
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Beschreibung	Schallabsorptionsgrade α						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Außenwand, Boden	Putz	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06
2	Schallabsorb. Vorhang, gerafft	Gewebe Sport, Stoff gerafft, Fa. Création Baumann AG	0,10	0,50	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99
3	Sitzplätze, Tischplatte, Trennwände	lackiertes Holz	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
4	Fenster, Tür	Isolierverglasung	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02
5	Wandabsorber	Filz-Elemente aus Glaswolle, Oberfläche bedeckt mit 115 g/m ² schwerem Papier	0,25	0,70	1,00	0,90	0,70	0,45	0,45
6	Tisch- und Stuhlbeine	Metall	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
7	Akustikdecke	Knauf Cleaneo, Rundlochung 6/18 R, mit Akustikvlies hinterlegt	0,40	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50	0,50

zu Nr. 2:.....Schallabsorbierender Vorhang "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand ca. 150 mm, geraffter Zustand

zu Nr. 5:.....Wandabsorber aus Glaswolle "Absorber-Elemente Filz CB" der Firma ORG-Delta, Stärke 45 mm

zu Nr. 7:.....Vollflächige Akustikdecke "Cleaneo Akustik Plattendecke 6/18 R" der Firma Knauf, gerade Rundlochung, Lochanteil 8,7 %, Lochdurchmesser 6 mm, Lochabstand 18 mm, mit Akustikvlies hinterlegt, Abhängehöhe 400 mm (Kenndaten zur Schallabsorption liefert der Hersteller für maximal 400 mm)

Team	
Literaturangaben	
Nr.	Quelle
1	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 3; März 2016
2	Prüfzeugnis für "Gewebe Sport" der Firma Création Baumann AG, Prüfung durch Müller-BBM, Juli 2013
3	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 7; März 2016
4	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 10; März 2016
5	ORG-DELTA, Gesamtkatalog 2019 für Kita und Schule, Seite 25
6	Excel-Materialdatenbank von gesammelten Schallabsorptionswerten, Zeile 603; Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig
7	Datenblatt "Knauf Katalog D12.de Trockenbausysteme", Firma Knauf KG, Iphofen, Januar 2018



7.5 Flächenangaben

In der folgenden Tabelle sind die für die in Kapitel 7.3 vorgestellten Simulationsvarianten verwendeten Flächen⁷ der verschiedenen Materialien angegeben:

Team					
Variantenuntersuchungen		Besetzungsgrad 0%			
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Variante 1		Variante 2	
		Fläche [m ²]	Fläche [%]	Fläche [m ²]	Fläche [%]
1	Außenwand, Boden	16,8	20,0	16,8	20,0
2	Schallabsorb. Vorhang, gerafft	2,6	3,1	2,6	3,1
3	Sitzplätze, Tischplatte, Trennwände	50,4	59,8	42,3	50,1
4	Fenster, Tür	8,4	10,0	8,4	10,0
5	Wandabsorber	4,5	5,3	0,0	0,0
6	Tisch- und Stuhlbeine	1,6	1,9	1,6	1,9
7	Akustikdecke	0,0	0,0	12,7	15,0

⁷ Die angegebenen Flächen sind bei den schallharten und somit raumakustisch verhältnismäßig unwirksamen Materialien nicht als verbindliche Absolutwerte zu verstehen. Abweichungen von bis zu 15 % von den tatsächlichen Größen haben ihre Ursache in beabsichtigten und schalltechnisch irrelevanten Vereinfachungen des digitalen Simulationsmodells. Hingegen müssen die Flächen der stärker schallabsorbierenden Elemente (z. B. Akustikdecke, Wandabsorber, Vorhänge) gut mit der Planung übereinstimmen. Eventuelle Differenzen/Änderungen können hier entscheidenden – meist negativen – Einfluss auf die akustischen Verhältnisse haben und sollten daher im Zweifelsfall immer auf ihre Auswirkungen überprüft werden.



7.6 3D-Ansichten

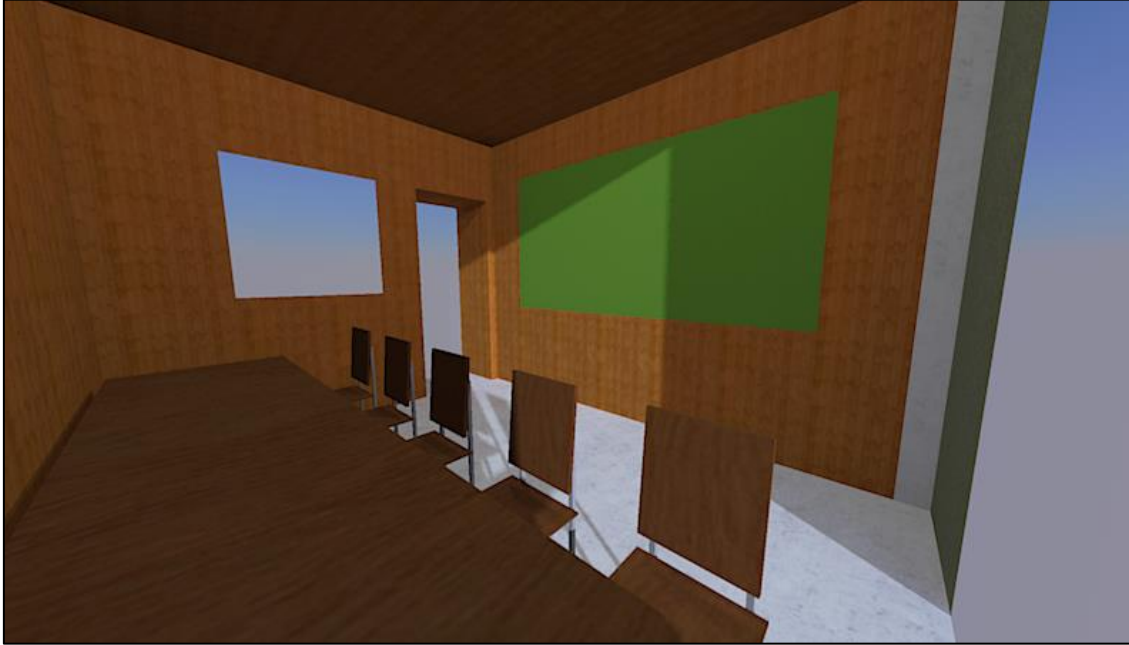


Abbildung 26: Innenansicht 1, Variante 1, Team

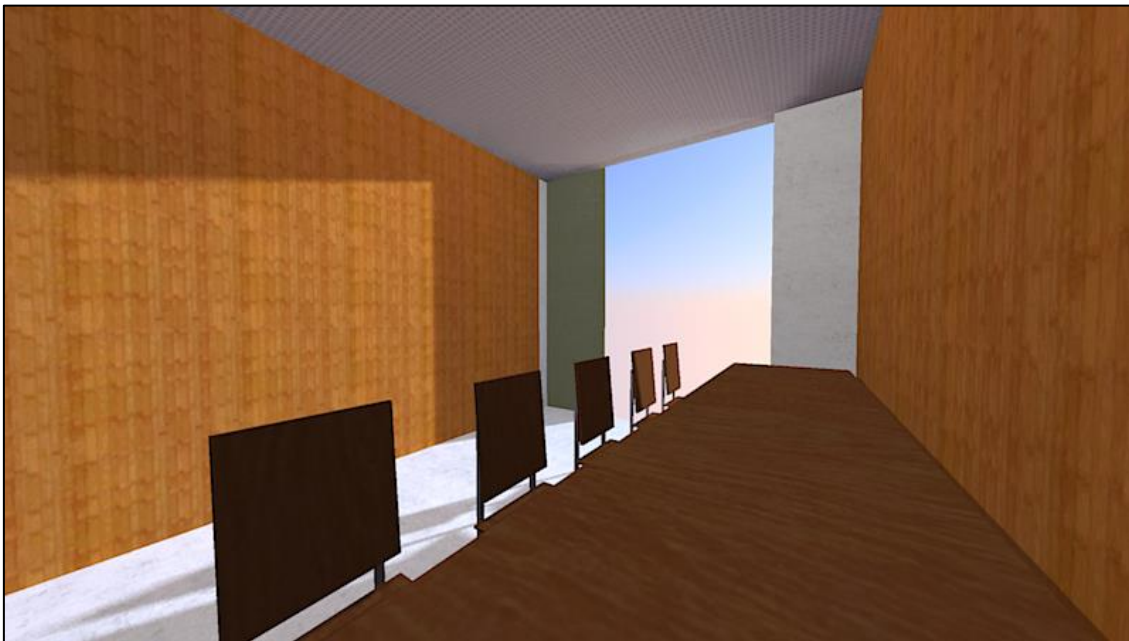


Abbildung 27: Innenansicht 2, Variante 2, Team



7.7 Berechnungsergebnisse

7.7.1 Berechnung der Absorptionsfläche A

Die Berechnung der Absorptionsfläche A liefert für die in Kapitel 7.3 vorgestellten Simulationsvarianten die folgenden Ergebnisse:

Team		Variante 1			
Berechnung der gesamten Absorptionsfläche		Besetzungsgrad 0%			
		Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]			
		250	500	1000	2000
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Absorptionsfläche A [m ²]			
1	Außenwand, Boden	0,34	0,50	0,50	0,67
2	Schallabsorb. Vorhang, gerafft	1,29	2,44	2,55	2,55
3	Sitzplätze, Tischplatte, Trennwände	4,04	3,03	2,52	2,52
4	Fenster, Tür	1,68	0,92	0,50	0,25
5	Wandabsorber	3,15	4,50	4,05	3,15
6	Tisch- und Stuhlbeine	0,02	0,03	0,03	0,05
7	Akustikdecke	0,00	0,00	0,00	0,00
gesamte Absorptionsfläche [m²]		10,51	11,43	10,16	9,19

Team		Variante 2			
Berechnung der gesamten Absorptionsfläche		Besetzungsgrad 0%			
		Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]			
		250	500	1000	2000
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Absorptionsfläche A [m ²]			
1	Außenwand, Boden	0,34	0,50	0,50	0,67
2	Schallabsorb. Vorhang, gerafft	1,29	2,44	2,55	2,55
3	Sitzplätze, Tischplatte, Trennwände	3,38	2,54	2,11	2,11
4	Fenster, Tür	1,68	0,92	0,50	0,25
5	Wandabsorber	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Tisch- und Stuhlbeine	0,02	0,03	0,03	0,05
7	Akustikdecke	5,70	5,70	5,70	5,70
gesamte Absorptionsfläche [m²]		12,40	12,14	11,40	11,33



7.7.2 Überblick über das Verhältnis A/V

Die Berechnung des Verhältnisses A/V liefert für die in Kapitel 7.3 vorgestellten Simulationsvarianten die folgenden Ergebnisse:

Team	Variante 1				Besetzungsgrad 0%
Berechnung des Verhältnisses A / V bei Raumhöhen h > 2,5 m					
Raumvolumen V [m³]	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]				
	250	500	1000	2000	
40,08	Verhältnis A / V [m² / m³]				
	0,26	0,29	0,25	0,23	
Anforderung	0,23				
B4	JA	JA	JA	JA	

Team	Variante 2				Besetzungsgrad 0%
Berechnung des Verhältnisses A / V bei Raumhöhen h > 2,5 m					
Raumvolumen V [m³]	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]				
	250	500	1000	2000	
40,08	Verhältnis A / V [m² / m³]				
	0,31	0,30	0,28	0,28	
Anforderung	0,23				
B4	JA	JA	JA	JA	



8 Lernlandschaft

8.1 Raumcharakteristik

- **Grundriss, Schnitt:**

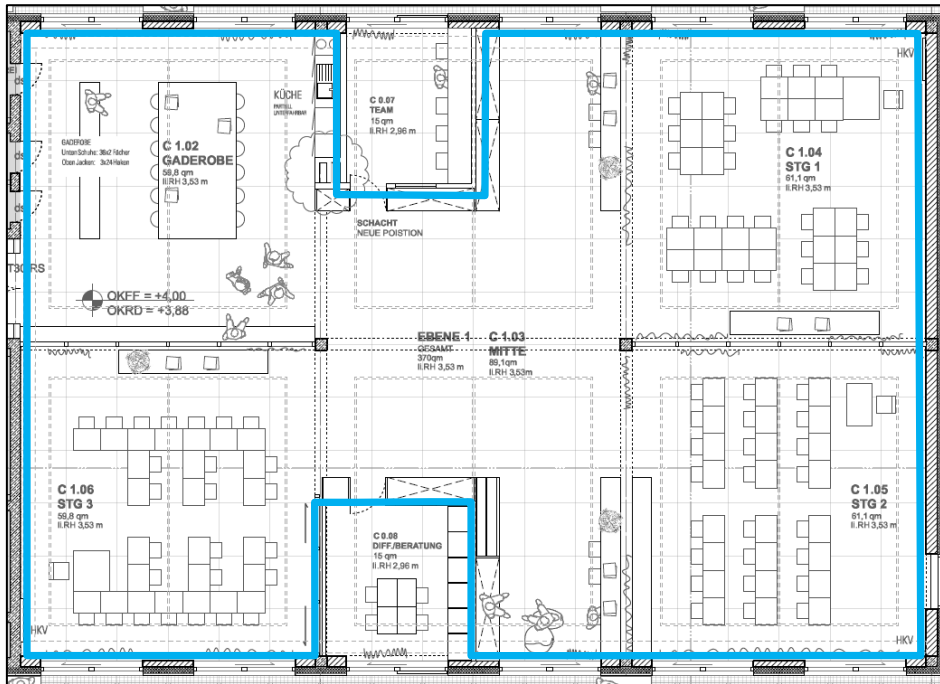


Abbildung 28: Grundriss Lernlandschaft, unmaßstäblich /12/

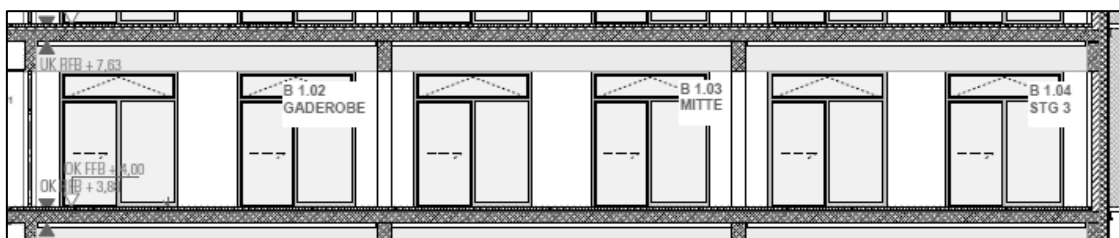


Abbildung 29: Schnitt Lernlandschaft, unmaßstäblich /12/

- **Nutzungsart:**

- A4 - Unterricht/Kommunikation inklusiv /15/



- **Ursprünglich geplante Raumeigenschaften:**
 - Boden: Geschliffener Estrich
 - Massive Wände aus Beton bzw. Mauerwerk
 - Unterzüge und Stützen aus Beton
 - Fenster in Außenwand
 - Glastrennwände
 - Akustisch wirksame, direkt befestigte Decke, gesamte Konstruktionshöhe 95 mm
 - Sideboards, raumhohe Regale
 - Akustisch wirksame Vorhänge vor Fenstern
 - Akustisch wirksame Vorhänge vor Glastrennwänden

- **lichte Raumhöhe**
 - 3,53 m

- **Raumvolumen:**
 - ca. 1.170 m³

- **Raumbegrenzungsflächen**
 - siehe Kapitel 8.4 und 8.5



8.2 Sollwert der Nachhallzeit

An die Lernlandschaft sind mindestens raumakustische Anforderungen zu stellen, wie sie in der DIN 18041 für die Nutzungsart "A4 - Unterricht/Kommunikation inklusiv" definiert sind. Für das vorliegende Raumvolumen $V \sim 1.170 \text{ m}^3$ wird der Nachhallzeit-Sollwert T_{soll} nach Nr. 4.3 der DIN 18041 wie folgt ermittelt:

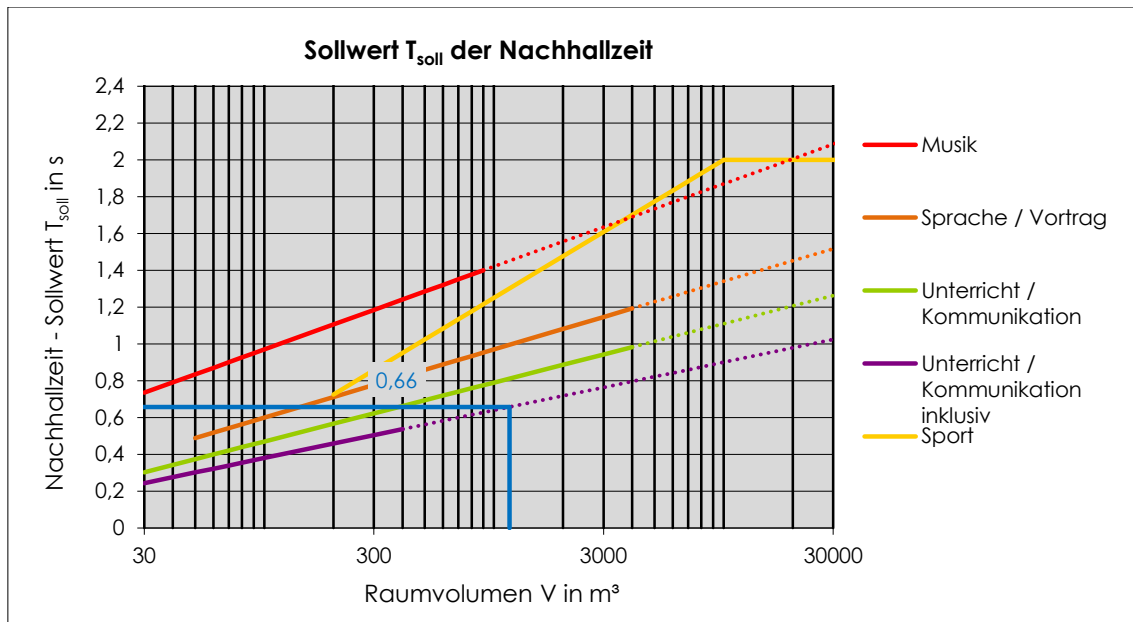


Abbildung 30: Ermittlung des Sollwertes T_{soll} für die Lernlandschaft

Sollwert Nachhallzeit: $T_{\text{soll}} \sim 0,66 \text{ s}$

Der Toleranzbereich für die "zulässigen" Abweichungen von diesem Zielwert beträgt sowohl nach oben als auch nach unten 20 %, d.h., unter den vorliegenden Randbedingungen sollte sich die mittlere Nachhallzeit (250 Hz bis 2,0 kHz) in der folgenden Bandbreite bewegen:

$$0,53 \text{ s} \leq T_{\text{soll}} \leq 0,79 \text{ s}$$

Im tieffrequenten Bereich $f < 250 \text{ Hz}$ sind zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit kürzere Nachhallzeiten von Vorteil. Ähnliches gilt auch für den Frequenzbereich $f > 2,0 \text{ Hz}$.



8.3 Simulationsvarianten

8.3.1 Materialien

Berechnet wird die folgende Variante:

Variante 1

mit folgender raumakustischer Maßnahme:

- Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 317 m²
- Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand/Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 43 m²

Anmerkung:

Für die Simulation wurde angenommen, dass die schallabsorbierenden Vorhänge vor den Fenstern die Fensterflächen zu einem Drittel bedecken. Die Vorhänge vor den Glastrennwänden wurden mit einer Breite von 1 m in Ansatz gebracht.

8.3.2 Besetzungsgrad

Die akustischen Verhältnisse in einem Raum können je nach Anzahl der anwesenden Personen erheblich variieren. Die Untersuchung der Lernlandschaft erfolgt mit etwa 60 Personen, was einem Besetzungsgrad von ca. 80 % entspricht.



8.4 Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen

Lernlandschaft									
Übersicht über verwendete Materialien und deren Eigenschaften									
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Beschreibung	Schallabsorptionsgrade α						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Sitzplätze, Regale, Sideboards	lackiertes Holz	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
2	Schallabsorb. Vorhang, gerafft	Gewebe Sport, Stoff gerafft, Fa. Création Baumann AG	0,10	0,50	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99
3	Betonwände, Mauerwerk, Boden	Putz	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06
4	Fenster, Glaswände	Isolierverglasung	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02
5	Akustikdecke	Akustikplatten "Heradesign fine", mit Mineralwolle hinterlegt, Fa. Knauf	0,60	1,00	0,80	0,70	0,85	0,80	0,80
6	Oberfläche Küche	Marmor, Fliesen	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
7	Personen	auf ungepolsterter Bestuhlung sitzende Person	0,30	0,60	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00
8	Tisch- und Stuhlbeine	Metall	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03

zu Nr. 2:.....Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand/Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand

zu Nr. 5:.....Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke

Lernlandschaft	
Literaturangaben	
Nr.	Quelle
1	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 7; März 2016
2	Prüfzeugnis für "Gewebe Sport" der Firma Création Baumann AG, Prüfung durch Müller-BBM, Juli 2013
3	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 3; März 2016
4	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 10; März 2016
5	Datenblatt "HERADESIGN@ fine", Fa. Knauf AMF GmbH & Co. KG, Januar 2018
6	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 9; März 2016
7	DIN 18041 "Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen", Tabelle B.2, Zeile 02; Mai 2004
8	Excel-Materialdatenbank von gesammelten Schallabsorptionswerten, Zeile 603; Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig



8.5 Flächenangaben

In der folgenden Tabelle sind die für die in Kapitel 8.3 vorgestellte Simulationsvariante verwendeten Flächen⁸ der verschiedenen Materialien angegeben:

Lernlandschaft			
Variantenuntersuchungen		Besetzungsgrad 80%	
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Variante 1	
		Fläche [m ²]	Fläche [%]
1	Sitzplätze, Regale, Sideboards	349,9	23,6
2	Schallabsorb. Vorhang, gerafft	42,9	2,9
3	Betonwände, Mauerwerk, Boden	593,5	40,0
4	Fenster, Glaswände	124,2	8,4
5	Akustikdecke	316,5	21,3
6	Oberfläche Küche	1,0	0,1
7	Personen	20,3	1,4
8	Tisch- und Stuhlbeine	37,0	2,5

⁸ Die angegebenen Flächen sind bei den schallharten und somit raumakustisch verhältnismäßig unwirksamen Materialien nicht als verbindliche Absolutwerte zu verstehen. Abweichungen von bis zu 15 % von den tatsächlichen Größen haben ihre Ursache in beabsichtigten und schalltechnisch irrelevanten Vereinfachungen des digitalen Simulationsmodells. Hingegen müssen die Flächen der stärker schallabsorbierenden Elemente (z. B. Akustikdecke, Wandabsorber, Vorhänge) gut mit der Planung übereinstimmen. Eventuelle Differenzen/Änderungen können hier entscheidenden – meist negativen – Einfluss auf die akustischen Verhältnisse haben und sollten daher im Zweifelsfall immer auf ihre Auswirkungen überprüft werden.

Die offenen Regale und Sideboards wurden im Simulationsmodell als geschlossene Holzoberflächen abgebildet. Diese in der Realität stark strukturierten Oberflächen wurden in der Simulation durch den Einsatz einer relativ hohen Schallstreuung im Raum berücksichtigt.



8.6 3D-Ansichten



Abbildung 31: Innenansicht 1, Variante 1, Lernlandschaft



Abbildung 32: Innenansicht 2, Variante 1, Lernlandschaft



8.7 Berechnungsergebnisse

8.7.1 Statistische Nachhallzeiten

Die Berechnung der statistischen Nachhallzeiten nach "Sabine" (vgl. Kapitel 2) liefert für die in Kapitel 8.3 vorgestellte Simulationsvariante folgende Ergebnisse:

Lernlandschaft									
Statistische Nachhallzeiten									
Berechnung nach "Sabine"	Besetzungs- grad [%]	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]							Einzahl- wert
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
		Nachhallzeit T [s]							
Variante 1	80	0,68	0,47	0,54	0,61	0,51	0,50	0,43	0,56

Abbildung 33 stellt den prognostizierten Nachhallzeitenverlauf für die in Kapitel 8.3 vorgestellte Simulationsvariante grafisch dar:

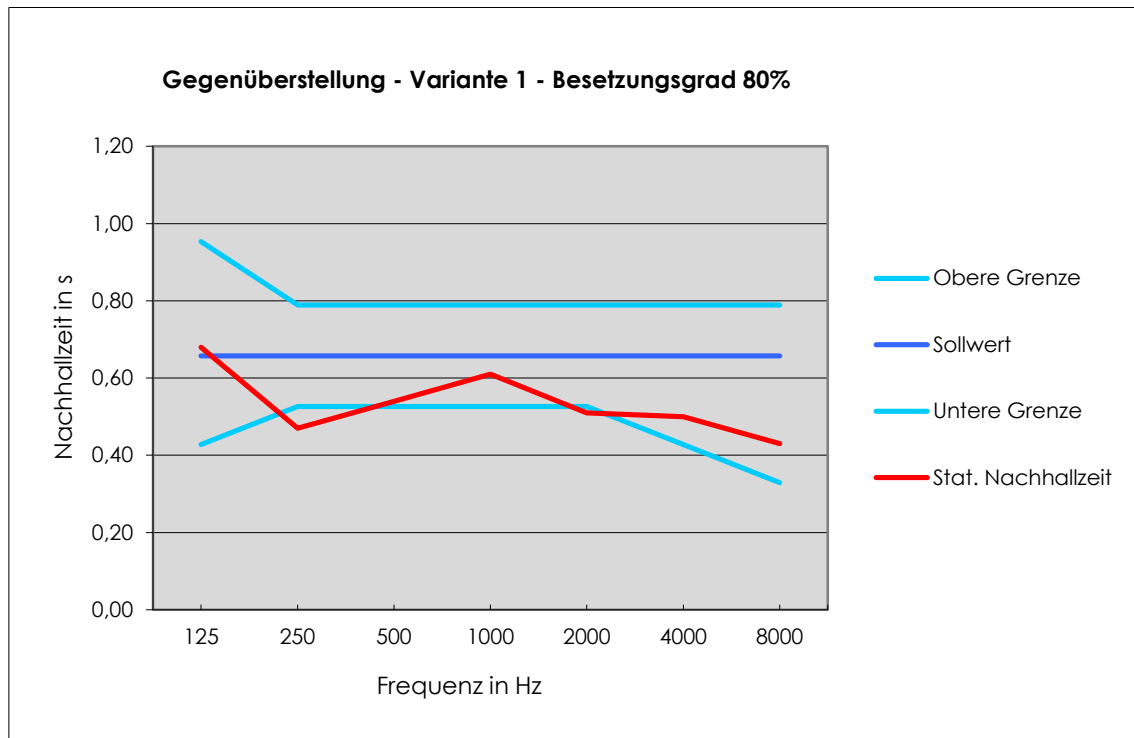


Abbildung 33: Statistischer Nachhallzeitenverlauf der Variante 1 für die Lernlandschaft im Vergleich mit dem Sollwert



8.7.2 Lokale Nachhallzeiten

Zur Prognose der lokalen Nachhallzeiten (LDT) wird als repräsentative Schallquelle ein omnidirektionaler Lautsprecher verwendet, welcher in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlt. Die Berechnung erfolgt an exemplarisch gewählten "Hörerplätzen" im Raum. Diese befinden sich 1,20 m über der Fußbodenoberkante (~ Ohrhöhe einer sitzenden Person)

Die für die in Kapitel 8.3 vorgestellte Simulationsvariante durchgeführten Berechnungen der lokalen Nachhallzeiten liefern im Durchschnitt über die exemplarisch gewählten Hörerplätze die folgenden **Mittelwerte**:

Lernlandschaft									
Mittelwerte der lokalen Nachhallzeiten									
	Besetzungs- grad [%]	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]							Einzahl- wert
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
		Nachhallzeit T [s]							
Variante 1	80	0,71	0,75	0,62	0,67	0,59	0,55	0,46	0,61

In der folgenden Abbildung werden die lokalen Nachhallzeiten (Mittelwerte) für die untersuchte Variante der statistischen Nachhallzeit nochmals grafisch gegenübergestellt:

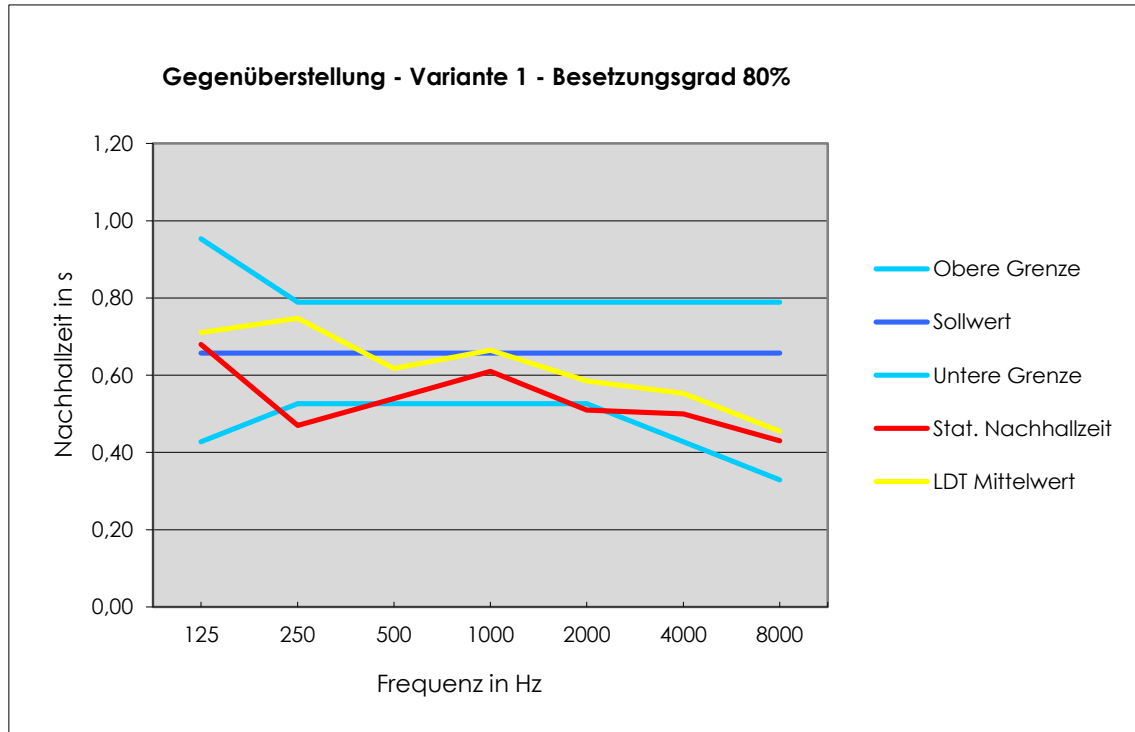


Abbildung 34: Nachhallzeiten Variante 1, Lernlandschaft



9 NAWI 2

9.1 Raumcharakteristik

- **Grundriss:**

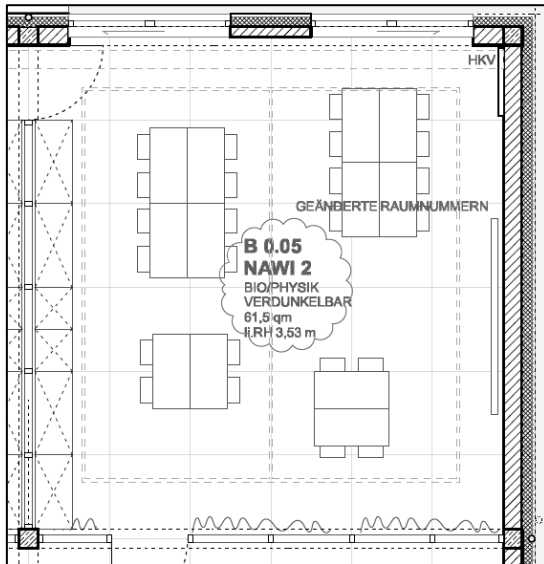


Abbildung 35: Grundriss NAWI 2, unmaßstäblich /12/

- **Nutzungsart:**

- A4 - Unterricht/Kommunikation inklusiv

- **Ursprünglich geplante Raumeigenschaften:**

- Boden: Geschliffener Estrich
- Außenwände aus Mauerwerk
- Fenster in Außenwand
- Glastrennwände
- Akustisch wirksame, direkt befestigte Decke, gesamte Konstruktionshöhe 95 mm
- Akustisch wirksame Vorhänge vor Fenstern

- **lichte Raumhöhe**

- 3,53 m

- **Raumvolumen:**

- ca. 210 m³

- **Raubegrenzungsflächen**

- siehe Kapitel 9.4 und 9.5



9.2 Sollwert der Nachhallzeit

An den Klassenraum "NAWI 2" sind mindestens raumakustische Anforderungen zu stellen, wie sie in der DIN 18041 für die Nutzungsart "A4 - Unterricht/Kommunikation inklusiv" definiert sind. Für das vorliegende Raumvolumen $V \sim 210 \text{ m}^3$ wird der Nachhallzeit-Sollwert T_{soll} nach Nr. 4.3 der DIN 18041 wie folgt ermittelt:

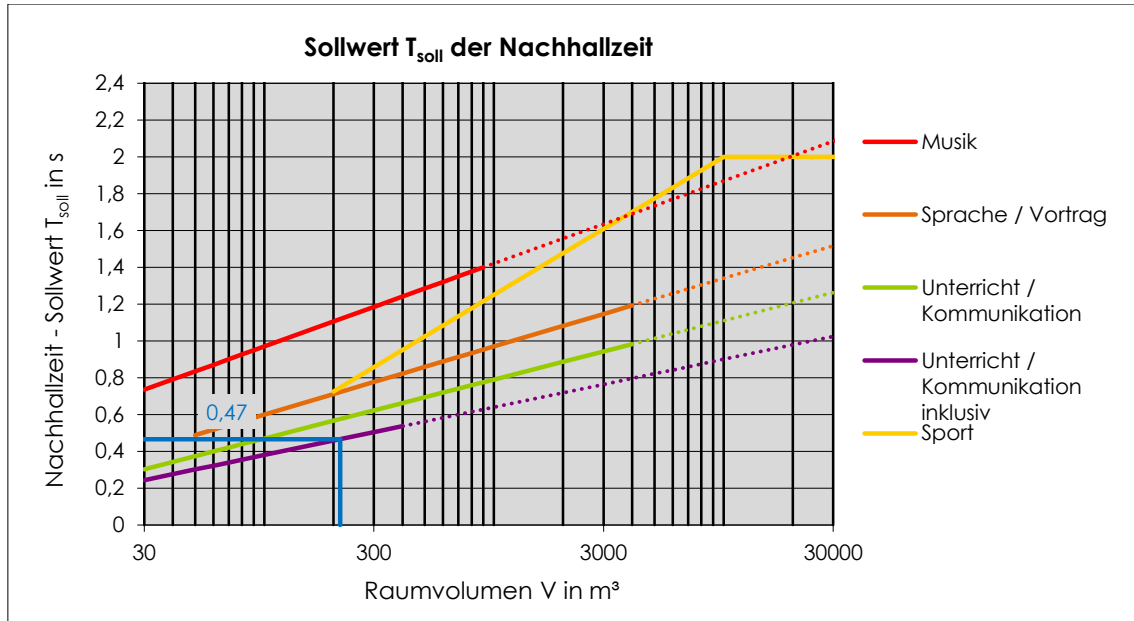


Abbildung 36: Ermittlung des Sollwertes T_{soll} für den Raum "NAWI 2"

Sollwert Nachhallzeit: $T_{\text{soll}} \sim 0,47 \text{ s}$

Der Toleranzbereich für die "zulässigen" Abweichungen von diesem Zielwert beträgt sowohl nach oben als auch nach unten 20 %, d.h., unter den vorliegenden Randbedingungen sollte sich die mittlere Nachhallzeit (250 Hz bis 2,0 kHz) in der folgenden Bandbreite bewegen:

$$0,37 \text{ s} \leq T_{\text{soll}} \leq 0,56 \text{ s}$$

Im tieffrequenten Bereich $f < 250 \text{ Hz}$ sind zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit kürzere Nachhallzeiten von Vorteil. Ähnliches gilt auch für den Frequenzbereich $f > 2,0 \text{ Hz}$.



9.3 Simulationsvarianten

9.3.1 Materialien

Berechnet wird die folgende Variante:

Variante 1

mit folgender raumakustischer Maßnahme:

- o Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine", Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 57 m²
- o Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand/Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 12 m²

9.3.2 Besetzungsgrad

Die akustischen Verhältnisse in einem Raum können je nach Anzahl der anwesenden Personen erheblich variieren. Die Untersuchung des Raums "NAWI 2" erfolgt mit etwa 20 Personen, was einem Besetzungsgrad von ca. 80 % entspricht.



9.4 Schallabsorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen

NAWI 2									
Übersicht über verwendete Materialien und deren Eigenschaften									
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Beschreibung	Schallabsorptionsgrade α						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Fenster, Glaswände	Isolierverglasung	0,28	0,20	0,11	0,06	0,03	0,02	0,02
2	Betonwände, Mauerwerk, Boden	Putz	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06
3	Schallabsorb. Vorhang, gerafft	Gewebe Sport, Stoff gerafft, Fa. Création Baumann AG	0,10	0,50	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99
4	Tischplatten, Sitzplätze, Möbel	lackiertes Holz	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
5	Akustikdecke	Akustikplatten "Heradesign fine", mit Mineralwolle hinterlegt, Fa. Knauf	0,60	1,00	0,80	0,70	0,85	0,80	0,80
6	Tisch- und Stuhlbeine	Metall	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
7	Personen	auf ungepolsterter Bestuhlung sitzende Person	0,30	0,60	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00

zu Nr. 3:.....Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m², Abstand zwischen Vorhang und Wand/Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand

zu Nr. 5:.....Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke

NAWI 2	
Literaturangaben	
Nr.	Quelle
1	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 10; März 2016
2	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 3; März 2016
3	Prüfzeugnis für "Gewebe Sport" der Firma Création Baumann AG, Prüfung durch Müller-BBM, Juli 2013
4	DIN 18041 "Hörsamkeit in Räumen", Tabelle G.1, Zeile 7; März 2016
5	Datenblatt "HERADESIGN® fine", Fa. Knauf AMF GmbH & Co. KG, Januar 2018
6	Excel-Materialdatenbank von gesammelten Schallabsorptionswerten, Zeile 603; Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig
7	DIN 18041 "Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen", Tabelle B.2, Zeile 02; Mai 2004



9.5 Flächenangaben

In der folgenden Tabelle sind die für die in Kapitel 9.3 vorgestellte Simulationsvariante verwendeten Flächen⁹ der verschiedenen Materialien angegeben:

NAWI 2			
Variantenuntersuchungen		Besetzungsgrad 80%	
Nr.	Raumbegrenzungsfläche	Variante 1	
		Fläche [m ²]	Fläche [%]
1	Fenster, Glaswände	47,4	17,0
2	Betonwände, Mauerwerk, Boden	111,3	39,8
3	Schallabsorb. Vorhang, gerafft	12,3	4,4
4	Tischplatten, Sitzplätze, Möbel	37,6	13,5
5	Akustikdecke	57,2	20,5
6	Tisch- und Stuhlbeine	7,7	2,8
7	Personen	6,0	2,2

⁹ Die angegebenen Flächen sind bei den schallharten und somit raumakustisch verhältnismäßig unwirksamen Materialien nicht als verbindliche Absolutwerte zu verstehen. Abweichungen von bis zu 15 % von den tatsächlichen Größen haben ihre Ursache in beabsichtigten und schalltechnisch irrelevanten Vereinfachungen des digitalen Simulationsmodells. Hingegen müssen die Flächen der stärker schallabsorbierenden Elemente (z. B. Akustikdecke, Wandabsorber, Vorhänge) gut mit der Planung übereinstimmen. Eventuelle Differenzen/Änderungen können hier entscheidenden – meist negativen – Einfluss auf die akustischen Verhältnisse haben und sollten daher im Zweifelsfall immer auf ihre Auswirkungen überprüft werden.



9.6 3D-Ansichten



Abbildung 37: Innenansicht 1, Variante 1, NAWI 2



9.7 Berechnungsergebnisse

9.7.1 Statistische Nachhallzeiten

Die Berechnung der statistischen Nachhallzeiten nach "Sabine" (vgl. Kapitel 2) liefert für die in Kapitel 9.3 vorgestellte Simulationsvariante folgende Ergebnisse:

NAWI 2									
Statistische Nachhallzeiten									
Berechnung nach "Sabine"	Besetzungsgrad [%]	Oktavband-Mittelfrequenzen [Hz]							Einzahlwert
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
		Nachhallzeit T [s]							
Variante 1	80	0,62	0,43	0,48	0,53	0,46	0,45	0,39	0,50

Abbildung 38 stellt den prognostizierten Nachhallzeitenverlauf für die in Kapitel 8.3 vorgestellte Simulationsvariante grafisch dar:

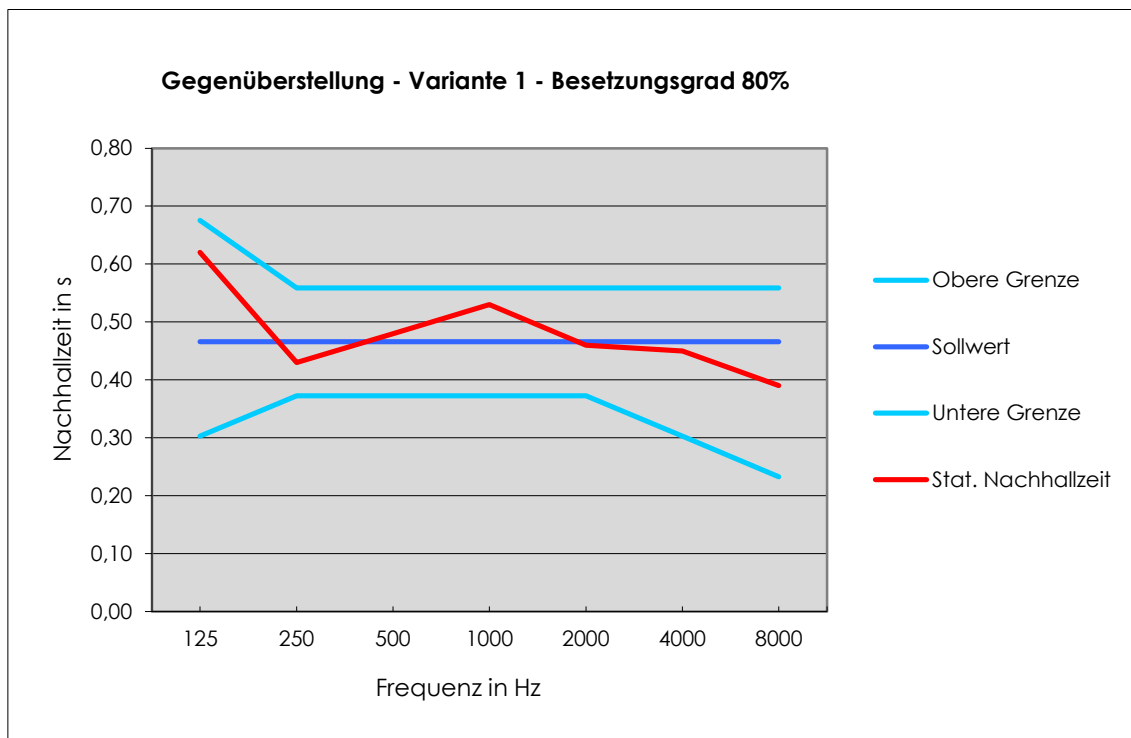


Abbildung 38: Statistischer Nachhallzeitenverlauf der Variante 1 für den Raum "NAWI 2" im Vergleich mit dem Sollwert



9.7.2 Lokale Nachhallzeiten

Zur Prognose der lokalen Nachhallzeiten (LDT) wird als repräsentative Schallquelle ein omnidirektionaler Lautsprecher verwendet, welcher in alle Richtungen gleichmäßig abstrahlt. Die Berechnung erfolgt an exemplarisch gewählten "Hörerplätzen" im Raum. Diese befinden sich 1,20 m über der Fußbodenoberkante (~ Ohrhöhe einer sitzenden Person)

Die für die in Kapitel 9.3 vorgestellte Simulationsvariante durchgeführten Berechnungen der lokalen Nachhallzeiten liefern im Durchschnitt über die exemplarisch gewählten Hörerplätze die folgenden **Mittelwerte**:

Klassenraum 4									
Mittelwerte der lokalen Nachhallzeiten									
	Besetzungs- grad [%]	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]							Einzahl- wert
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
		Nachhallzeit T [s]							
Variante 1	0	0,44	0,44	0,51	0,47	0,51	0,46	0,39	0,49

In der folgenden Abbildung werden die lokalen Nachhallzeiten (Mittelwerte) für die untersuchte Variante der statistischen Nachhallzeit nochmals grafisch gegenübergestellt:

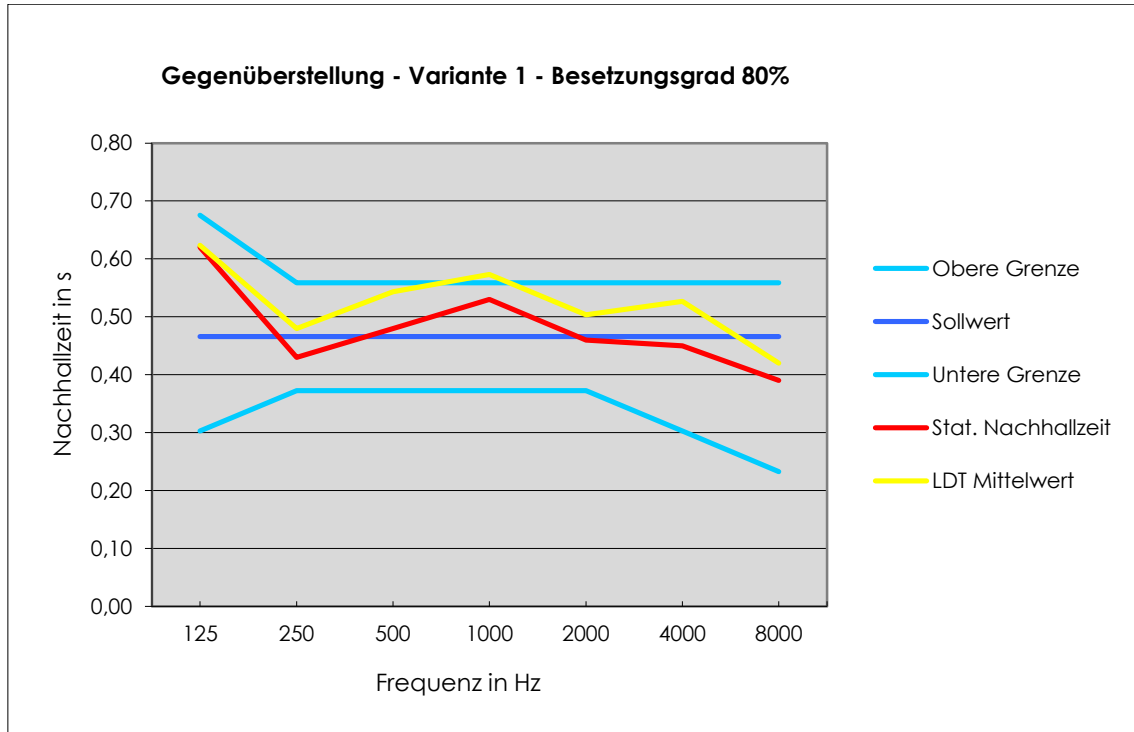


Abbildung 39: Nachhallzeiten Variante 1, NAWI 2



10 Beurteilung und Empfehlungen zur Raumakustik

10.1 Vorgehensweise und Beurteilungshinweise

Zur Beurteilung und Optimierung der Räumlichkeiten des geplanten Bauvorhabens und den damit verbundenen raumakustischen Verhältnissen, wurden EDV-gestützte Simulationsrechnungen mit einer Prognose der Nachhallzeiten durchgeführt.

Untersucht wurde jeweils eine "Variante 1" mit den zunächst vorgegebenen Bauweisen/Raumausstattungen, sowie - falls erforderlich - eine "Variante 2", welche vorgeschlagene Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik bzw. ein alternatives raumakustisches Konzept enthält (vgl. Kapitel 4.3.1, 5.3.1, 6.3.1, 7.3.1, 8.3.1 und 9.3.1).

Die für die Berechnungen verwendeten Besetzungsgrade (Anzahl der Personen im Raum) wurden so gewählt, dass eine repräsentative und aussagekräftige Beurteilung der Raumakustik möglich ist:

Nr.	Raumbezeichnung	Besetzungsgrad [%]	vgl. Kapitel
1	Musik	80	4.3.2
2	Mensa + Marktplatz	0	5.3.2
3	Mensa + Marktplatz + Musik	80	6.3.2
4	Team	0	7.3.2
5	Lernlandschaft	80	8.3.2
6	NAWI 2	80	9.3.2

Hinausgehend über die "konventionelle" Berechnung statistischer Nachhallzeiten, die nur in einem vollkommen diffusen Schallfeld korrekt sein kann, was in der Praxis allerdings kaum auftritt (vgl. Kapitel 2), wurden Strahlverfolgungsberechnungen zur Prognose lokaler Nachhallzeiten an ausgewählten "Hörerplätzen" vorgenommen, die eine ortsabhängige und somit differenziertere akustische Bewertung erlauben (vgl. Kapitel 3.3).

Relevante Abweichungen zwischen den Ergebnissen der beiden Berechnungsmethoden weisen in der Regel auf das Vorliegen von Raumstrukturen und Materialverteilungen hin, welche die Ausbildung eines diffusen Schallfeldes verhindern. Unter diesen Umständen dienen üblicherweise die lokalen Nachhallzeiten als Beurteilungsgrundlage, weil sie – eine sinnvolle Wahl der für die Prognose verwendeten "Hörerplätze" vorausgesetzt – realistischer sind, als die statistischen Nachhallzeiten.



Die für die verschiedenen Simulationsvarianten ermittelten Nachhallzeiten werden je nach prozentualer Abweichung vom Sollwert über das folgende Schema bewertet:

Schema zur Beurteilung der prognostizierten Nachhallzeiten		
Abweichung von T_{soll}		Bewertung
Überschreitung des Sollwertes T_{soll}	über 100 %	inakzeptabel
	> 50 % bis 100 %	schlecht
	> 20 % bis 50 %	unzufrieden stellend
Innerhalb des Toleranzbereiches	± 10 % bis ± 20 %	gut
	bis ± 10 %	sehr gut
Unterschreitung des Sollwertes T_{soll}	> 20 %	unproblematisch¹⁰

¹⁰ Da bei einer Unterschreitung des Toleranzbereiches im Allgemeinen keine Gefahr einer "Überdämpfung" durch zu kurze Nachhallzeiten besteht, kann diese Unterschreitung zumindest bei Sprachnutzung als unproblematisch bezeichnet werden. Kritisch zu beurteilen wären Nachhallzeitunterschreitungen beispielsweise bei klassischer Musik sowie Opern und Operetten.



10.2 Musik

Beurteilungsmatrix Musik			
Anzustrebende Nachhallzeiten			
Nutzungsart nach DIN 18041:2016-03	A1 - Musik		
Sollwert T_{soll}	1,12 s		
Toleranzbereich	0,89 bis 1,34 s		
Prognostizierte Nachhallzeiten			
Variante:	N [%]	T_{stat} [sek]	$T_{lokal,m}$ [sek]
Variante 1: Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 29 m ² Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m ² , Abstand zwischen Vorhang und Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 19 m ²	80	0,72 unproblematisch	0,72 unproblematisch
Variante 2: Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 57 m ²	80	0,60 unproblematisch	0,74 unproblematisch

N:Besetzungsgrad gemäß Kapitel 4.3.2

T_{stat} :Statistische Nachhallzeit gemäß Kapitel 4.7.1

$T_{lokal,m}$:Mittelwerte der lokal ermittelten Nachhallzeiten gemäß Kapitel 4.7.2

Laut den vorliegenden Berechnungen liegt der prognostizierte Einzahlwert der Nachhallzeit im Musikraum mit beiden Varianten unterhalb des Toleranzbereichs. Es ist daher zu erwarten, dass die Raumakustik im Raum zwar nicht als störend wirkt, die Musik aber eventuell zu "trocken" klingt.

Im Kapitel 4.7.2 wurden die Simulationsergebnisse des Musikraums ebenfalls den Anforderungen der DIN 18041 bei einer Unterrichtsnutzung (A3 - Unterricht /Kommunikation) gegenübergestellt. Mit den Maßnahmen der Variante 1 liegt die prognostizierte Nachhallzeit ab 250 Hz nur geringfügig oberhalb des Toleranzbereichs. Jedoch steigt die Nachhallzeit bei 125 Hz stark, sodass eine unzufrieden stellende Sprachverständlichkeit zu erwarten ist. Mit Variante 2 wird teilweise der obere Grenzwert überschritten, die Kurve der Nachhallzeit ist jedoch "geradliniger", sodass eine bessere Sprachverständlichkeit als im Vergleich zu Variante 1 für Sprachnutzung zu erwarten ist.

Mit Variante 2 kann für beide Nutzungen (Musik und Unterricht) eine bessere Raumakustik sichergestellt werden als mit Variante 1. Zur Reduzierung der Nachhallzeit bei einer Unterrichtsnutzung könnte ein schallabsorbierender Vorhang vor einer Wand montiert werden, der nur bei Bedarf geöffnet wird.



10.3 Mensa + Marktplatz

Mensa+Marktplatz		Variante 1				Besetzungsgrad 0%			
Berechnung des Verhältnisses A / V bei Raumhöhen h > 2,5 m									
Raumvolumen V [m³]		Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]							
		250	500	1000	2000				
720,65		Verhältnis A / V [m² / m³]							
		0,32	0,28	0,25	0,30				
Anforderung		0,25							
B5		JA	JA	JA	JA				

Um die Anforderung "B5 - Räume mit besonderem Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort" nach DIN 18041 im Bereich "Mensa"+"Marktplatz" zu erfüllen, ist zusätzlich zur geplanten Akustikdecke und den schallabsorbierenden Vorhängen vor den Fenstern der Einbau eines schallabsorbierenden Vorhangs vor die komplette Rückwand der Mensa erforderlich (vgl. Kapitel 5.3.1). Der Vorhang sollte im geschlossenen Zustand gerafft sein.



10.4 Mensa + Marktplatz + Musik

Beurteilungsmatrix Mensa+Musik+Marktplatz			
Anzustrebende Nachhallzeiten			
Nutzungsart nach DIN 18041:2016-03	A2 - Sprache/Vortrag		
Sollwert T_{soll}	0,96 s		
Toleranzbereich	0,77 bis 1,15 s		
Prognostizierte Nachhallzeiten			
Variante:	N [%]	T_{stat} [sek]	$T_{lokal,m}$ [sek]
Variante 1:			
Magnesitgebundene Holzwole-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 219 m ²	80	0,61 unproblematisch	0,83 gut
Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m ² , Abstand zwischen Vorhang und Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 23 m ²			
Schallabsorbierende Vorhänge "CALVARO" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 364 g/m ² , Abstand zwischen Vorhang und Wand ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 11 m ²			
Variante 2:			
Akustikdecke wie in Variante 1, jedoch vollflächig; Fläche ca. 247 m ²	80	0,59 unproblematisch	0,95 sehr gut
Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" und "CALVARO" wie in Variante 1			

N:Besetzungsgrad gemäß Kapitel 6.3.2

T_{stat} :Statistische Nachhallzeit gemäß Kapitel 6.7.1

$T_{lokal,m}$:Mittelwerte der lokal ermittelten Nachhallzeiten gemäß Kapitel 6.7.2

Aus den durchgeführten Simulationen lässt sich ableiten, dass mit den in Kapitel 6.3.1 vorgestellten Maßnahmen die prognostizierte Nachhallzeit im Raum innerhalb des Toleranzbereichs nach DIN 18041 für die Nutzung A2 liegt, unabhängig davon, ob im Raum "Musik" nur der Randbereich der Decke (ca. 50 % der Deckenfläche des Musikraums) oder die komplette Decke schallabsorbierend ausgeführt wird.



10.5 Team

Team	Variante 1				Besetzungsgrad 0%
Berechnung des Verhältnisses A / V bei Raumhöhen h > 2,5 m					
Raumvolumen V [m³]	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]				
	250	500	1000	2000	
40,08	Verhältnis A / V [m² / m³]				
	0,26	0,29	0,25	0,23	
Anforderung	0,23				
B4	JA	JA	JA	JA	

Team	Variante 2				Besetzungsgrad 0%
Berechnung des Verhältnisses A / V bei Raumhöhen h > 2,5 m					
Raumvolumen V [m³]	Oktavband-Mittenfrequenzen [Hz]				
	250	500	1000	2000	
40,08	Verhältnis A / V [m² / m³]				
	0,31	0,30	0,28	0,28	
Anforderung	0,23				
B4	JA	JA	JA	JA	

Um die Anforderung "B4 - Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort" nach DIN 18041 im Raum "Team" zu erfüllen, ist lediglich der schallabsorbierende Vorhang vor dem Fenster nicht ausreichend. In den hier untersuchten Varianten werden zwei alternative Maßnahmen zur Erfüllung der Anforderung dargestellt:

1. eine gelochte Gipskartondecke "Cleaneo Akustik Plattendecke 6/18 R" der Firma Knauf an der gesamten Decke und
2. Wandabsorber aus Glaswolle "Absorber-Elemente Filz CB" der Firma ORG-Delta (vgl. Kapitel 7.3.1).

Andere akustisch wirksame Konstruktionen an der Decke sind ebenfalls möglich, solange sie ähnliche oder höhere Schallabsorptionswerte als die untersuchte gelochte Gipskartondecke aufweisen. Als Beispiele lassen sich folgende Maßnahmen aufführen:

- Perforierte Holz-Akustikdecke, Plattendicke 17 mm, Rundlochung, Lochdurchmesser 5 mm, Lochabstand 16 mm, , mit 30 mm Mineralwolle hinterlegt
- Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke.



10.6 Lernlandschaft

Beurteilungsmatrix Lernlandschaft			
Anzustrebende Nachhallzeiten			
Nutzungsart nach DIN 18041:2016-03	A4 - Unterricht/Kommunikation inklusiv		
Sollwert T_{soll}	0,66 s		
Toleranzbereich	0,53 bis 0,79 s		
Prognostizierte Nachhallzeiten			
Variante:	N [%]	T_{stat} [sek]	$T_{lokal,m}$ [sek]
Variante 1: Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine" der Firma Knauf AMF, Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke, Fläche ca. 317 m ² Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m ² , Abstand zwischen Vorhang und Wand/Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand, wirksame (geöffnete) Fläche ca. 43 m ²	80	0,56 gut	0,61 sehr gut

N:Besetzungsgrad gemäß Kapitel 8.4

T_{stat} :Statistische Nachhallzeit gemäß 8.7.1

$T_{lokal,m}$:Mittelwerte der lokal ermittelten Nachhallzeiten gemäß Kapitel 8.7.2

Die Simulationsberechnungen belegen, dass sich in der Lernlandschaft mit Umsetzung der Variante 1 voraussichtlich Nachhallzeiten einstellen, die den in Kapitel 8.2 nach DIN 18041 ermittelten Sollwert $T_{soll} = 0,66$ s für die Nutzungsart "A4 – Unterricht/ Kommunikation inklusiv" mit Prognosewerten des Einzahlwertes $T_{Prognose,v1} \sim 0,60$ s erfüllen.

Weitere schallabsorbierende Vorhänge zwischen den verschiedenen Lernbereichen in der Lernlandschaft wurden in der Simulation nicht berücksichtigt, sind aber stark zu empfehlen, um die Störwirkung zwischen den Lernbereichen zu vermindern. Auf die Notwendigkeit von Schallschirmen zwischen den Lernzonen einer Lernlandschaft wird auch in der Fachliteratur hingewiesen /19/. Insbesondere die anstelle von Türen geplanten Akustikvorhänge der benachbarten Stammgruppenräumen könnten wesentlich dazu beitragen, dass die zwei Räume zum Beispiel bei gleichzeitigem Frontalunterricht sich gegenseitig nicht weitgehend stören.



10.7 NAWI 2

Beurteilungsmatrix NAWI 2			
Anzustrebende Nachhallzeiten			
Nutzungsart nach DIN 18041:2016-03	A4 - Unterricht/Kommunikation inklusiv		
Sollwert T_{soll}	0,47 s		
Toleranzbereich	0,37 bis 0,56 s		
Prognostizierte Nachhallzeiten			
Variante:	N [%]	T_{stat} [sek]	$T_{lokal,m}$ [sek]
Variante 1:			
Magnesitgebundene Holzwolle-Akustikplatten "Heradesign fine", Plattendicke 35 mm, mit 60 mm Mineralwolle hinterlegt, direkte Befestigung an der Rohdecke; Fläche ca. 57 m ²	80	0,50 sehr gut	0,56 gut
Schallabsorbierende Vorhänge "SPORT" der Firma Création Baumann, flächenbezogene Masse ca. 256 g/m ² , Abstand zwischen Vorhang und Wand/Fenster ca. 150 mm, geraffter Zustand; wirksame (geöffnete) Fläche ca. 12 m ²			

N:Besetzungsgrad gemäß Kapitel 9.4

T_{stat} :Statistische Nachhallzeit gemäß Kapitel 9.7.1

$T_{lokal,m}$:Mittelwerte der lokal ermittelten Nachhallzeiten gemäß Kapitel 9.7.2

Aus der DIN 18041:2016-03 ergibt sich für den Raum "NAWI 2" mit der Nutzungsart "A4 - Unterricht/Kommunikation inklusiv" und einem Raumvolumen von $V \sim 210 \text{ m}^3$ der Nachhallzeit-Sollwert $T_{soll} \sim 0,47 \text{ s}$. Laut den vorliegenden Berechnungen liegt der prognostizierte Einzahlwert der Nachhallzeit mit den geplanten Maßnahmen bei $T_{Prognose} \sim 0,56 \text{ s}$ und befindet sich somit innerhalb der Toleranzbereiches. Mit Umsetzung der vorgestellten Maßnahmen ist eine angenehme raumakustische Unterrichts Atmosphäre zu erwarten.

Die geplanten Verdunklungsrollos im Raum "NAWI 2" wurden in der Simulation nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen sind, dass sie kaum schallabsorbierend sind. Die erforderliche schallabsorbierende Fläche der Vorhänge vor den Fenstern wird zum Beispiel erreicht, wenn die Vorhänge sowohl 1/3 der Fensterfläche als auch die Wandflächen seitlich der Fenster bedecken (siehe auch 3D-Anicht im Kapitel 9.6).



11 Zitierte Unterlagen

6. W. Fasold und E. Veres, Schallschutz und Raumakustik in der Praxis, Huss Medien GmbH Verlag, 2. Auflage 2003
7. DIN 18041, Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung, März 2016
8. Tutorial für EASE 4.0 (Acoustic Design Ahnert, Berlin); Renkus Heinz Inc. 2000
9. DIN EN ISO 3382-1, Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 1: Aufführungsräume, Oktober 2009
12. "ENTWURFSPLANUNG FREIANLAGEN", Präsentation vom 26.09.2019, arge studio urbane landschaften - bildung, hamburg
13. "SCHULBAU OPEN SOURCE", Planunterlagen vom 13.09.2019, gernot schulz: architektur GmbH, Köln
14. Fernmündliche Informationen zu den Raumbegrenzungsflächen und den raumakustischen Maßnahmen vom 01.08.2019, 09.08.2019, 16.08.2019 und 13.09.2019; Teilnehmer: Hr. Mayer (gernot schulz: architektur GmbH, Köln), Fr. Mavroudi (Hoock & Partner Sachverständige PartG mbB, Landshut)
15. Fernmündliche Informationen zu den zu untersuchenden Räumen und den raumakustischen Maßnahmen vom 19.08.2019 und 01.10.2019; Teilnehmer: Fr. Pampe (Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft, Bonn, Fr. Mavroudi (Hoock & Partner Sachverständige PartG mbB, Landshut)
16. Schriftliche Informationen zu den zu untersuchenden Räumen und den raumakustischen Maßnahmen, erhalten per E-Mail am 19.09.2019 und 20.09.2019 von Fr. Pampe (Montag Stiftung Jugend und Gesellschaft, Bonn)
17. Schriftliche Informationen zu den zu untersuchenden Räumen, erhalten per E-Mail am 02.08.2019 von Hr. Haag (Internationale Bauausstellung Thüringen GmbH, Apolda)
18. Schriftliche Informationen zu Raumbegrenzungsflächen und den raumakustischen Maßnahmen, erhalten per E-Mail am 01.08.2019, 16.08.2019, 13.09.2019 und 18.09.2019 von Hr. Mayer (gernot schulz: architektur GmbH, Köln)
19. "Richtlinie: Akustik in Lebensräumen für Erziehung und Bildung", Fraunhofer Institut für Bauphysik EBP, 2015



12 Anhang

12.1 Räume der Gruppe A

Tabelle 1 der DIN 18041: Beschreibung der Nutzungsarten der Räume der Gruppe A			
Nutzungsart	Kurzbeschreibung und Beschreibung der Nutzungsart	Subjektive Wahrnehmung	Beispiele
A1	Kurzbeschreibung: "Musik" Vorwiegend musikalische Darbietungen	Gute Hörsamkeit für unverstärkte Musik. Sprachliche Darbietungen sind nur mit gewissen Einschränkungen der Sprachverständlichkeit möglich.	Musikraum mit aktivem Musizieren und Gesang
A2	Kurzbeschreibung: "Sprache/Vortrag" Sprachliche Darbietungen stehen im Vordergrund, in der Regel von einer (frontalen) Position. Gleichzeitige Kommunikation zwischen mehreren Personen an verschiedenen Stellen im Raum wird selten durchgeführt.	Sprachliche Darbietungen einzelner Sprecher erzielen eine hohe Sprachverständlichkeit. Musikalische Darbietungen werden in der Regel als zu transparent und klar empfunden, jedoch günstig für musikalische Probearbeit.	Gerichts- und Ratssaal Gemeindesaal Hörsaal Versammlungsraum Schulaula
A3	Kurzbeschreibung: "Sprache/Vortrag inklusiv" Räume der Nutzungsart A2 für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind. Erforderlich für inklusive Nutzung ^a	Sprachliche Darbietungen einzelner Sprecher erzielen eine hohe Sprachverständlichkeit, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei z.B. fremdsprachlicher Nutzung.	Gerichts- und Ratssaal Gemeindesaal Hörsaal Versammlungsraum Schulaula
	Kurzbezeichnung: "Unterricht/Kommunikation" Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum	Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich.	Unterrichtsraum Differenzierungsraum Tagungsraum Besprechungsraum Konferenzraum Seminarraum Gruppenraum in Kindertageseinrichtungen, Pflegeeinrichtungen und Seniorenheimen



Fortsetzung Tabelle 1 der DIN 18041: Beschreibung der Nutzungsarten der Räume der Gruppe A

Nutzungsart	Kurzbeschreibung und Beschreibung der Nutzungsart	Subjektive Wahrnehmung	Beispiele
A4	<p>Kurzbezeichnung: "<i>Unterricht/Kommunikation inklusiv</i>"</p> <p>Kommunikationsintensive Nutzungen mit mehreren gleichzeitigen Sprechern verteilt im Raum entsprechend Nutzungsart A3, jedoch für Personen, die in besonderer Weise auf gutes Sprachverstehen angewiesen sind</p> <p>Für Räume größer als 500 m³ und für musikalische Nutzungen ist diese Nutzungsart nicht geeignet.</p> <p>Erforderlich für inklusive Nutzung ^a</p>	<p>Sprachliche Kommunikation ist mit mehreren (teilweise gleichzeitigen) Sprechern möglich, auch für Personen mit Höreinschränkungen oder bei z.B. fremdsprachlicher Nutzung</p>	<p>Unterrichtsraum Differenzierungsraum Tagungsraum Besprechungsraum Konferenzraum Seminarraum Gruppenraum in Kindertageseinrichtungen, Pflegeeinrichtungen und Seniorenheimen Video-Konferenzraum</p>
A5	<p>Kurzbezeichnung: "<i>Sport</i>"</p> <p>In Sport- und Schwimmhallen kommunizieren mehrere Gruppen (auch gleichzeitig) mit unterschiedlichen Inhalten</p>	<p>Sprachliche Kommunikation über kurze Entfernungen ist im Allgemeinen gut möglich.</p>	<p>Sport- und Schwimmhallen für nahezu ausschließliche Nutzung als Sportstätte</p>
<p>^a Aus dem Behindertengleichstellungsgesetz, vergleichbaren Landesregelungen und der UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen ergibt sich, dass der Öffentlichkeit zugängliche Neubauten inklusiv zu errichten sind, soweit dies nicht nur mit einem unverhältnismäßigen Mehraufwand erfüllt werden kann. Näheres ist den jeweiligen Landesgesetzen zu entnehmen.</p>			



12.2 Räume der Gruppe B

Tabelle 2 der DIN 18041: Nutzungsarten mit Beschreibung und Beispiele für Räume der Gruppe B		
Nutzungsart	Beschreibung	Beispiele
B1	Räume ohne Aufenthaltsqualität	Eingangshallen, Flure, Treppenhäuser u.Ä. als reine Verkehrsfläche (ausgenommen Verkehrsflächen in Schulen, Kindertageseinrichtungen, Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen)
B2	Räume zum kurzfristigen Verweilen	Eingangshallen, Flure, Treppenhäuser u.Ä. Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität (Empfangsbereich mit Wartezonen etc.) Ausstellungsräume, Schalterhallen, Umkleiden in Sporthallen
B3	Räume zum längerfristigen Verweilen	Ausstellungsräume mit Interaktivität oder erhöhtem Geräuschaufkommen (Multimedia, Klang-/Videokunst etc.) Verkehrsflächen in Schulen und Kindertageseinrichtungen (Kindergarten, Kindergruppe, Hort etc.) Verkehrsflächen mit Aufenthaltsqualität in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen (z.B. offene Wartezonen) Patientenwarteräume, Pausenräume, Bettzimmer, Ruheräume, Operationssäle, Behandlungsräume, Untersuchungsräume, Sprechzimmer, Speiseräume, Kantinen, Labore, Bibliotheken, Verkaufsräume
B4	Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort	Rezeption/Schalterbereich mit ständigem Arbeitsplatz, Labore mit ständigem Arbeitsplatz, Ausleihbereiche von Bibliotheken, Ausgabebereiche in Kantinen, Bewohnerzimmer in Pflegeeinrichtungen, Bürgerbüro Büroräume ^{a,b}
B5	Räume mit besonderen Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort	Speiseräume und Kantinen in Schulen, Kindertageseinrichtungen (Kindergarten, Kinderkrippe, Hort etc.), Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen, Arbeitsräume mit besonders hohem Geräuschaufkommen (z.B. Werkstätten, Werkräume, Großküchen, Spülküchen), Callcenter ^a , Leitstellen, Sicherheitszentralen, Intensivpflegebereiche, Wachstationen, Bewegungsräume in Kindertageseinrichtungen, Spielflure und Umkleiden in Schulen und Kindertageseinrichtungen (Kindergarten, Kinderkrippe, Hort etc.)
^a Empfehlungen für Büroräume sowie Callcenter werden ausführlich in der Richtlinie VDI 2569 behandelt. ^b Einzelbüros können unter Nutzungsart B3 eingeordnet werden.		