

Fachforum

Raumakustik: Sprachverständlichkeit, Kommunikationsqualität und Arbeitskomfort

Ton im Raum, Akustikberatung | Ingenieurbüro Hepp

Dipl. Ing. (FH) Stephan Hepp

Drosselweg 14 | 79211 Denzlingen

<https://ton-im-raum.de>

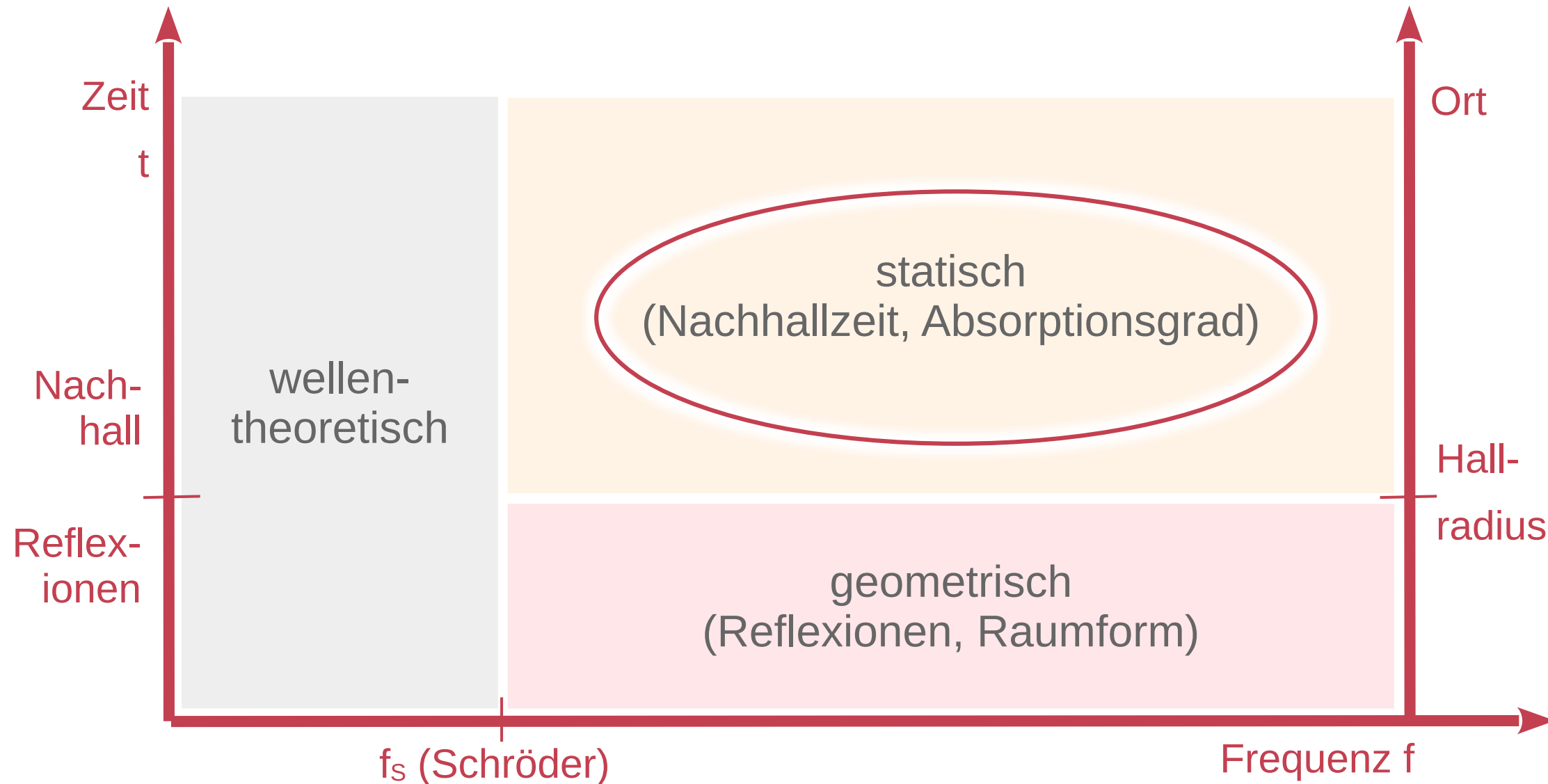
In Kooperation mit:



1) „gute“ und „geeignete“ Akustik

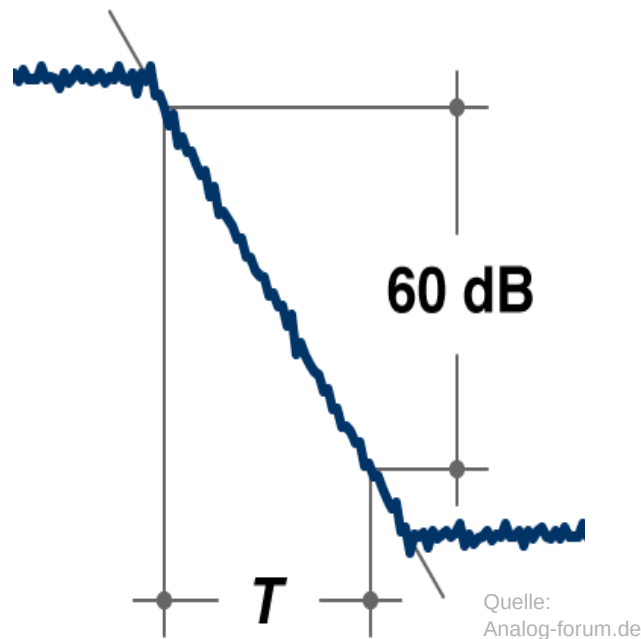
- „Gute“ Akustik
 - ist subjektiv, Geschmackssache; hängt von Tätigkeit / Nutzung ab
- „Geeignete“ Akustik
 - Geeignet wofür? → Definierte Nutzungsarten
 - Norm (u.a. DIN 18041) macht bezifferbar, messbar → objektiv
- Hörsamkeit (akustische Eigenschaften/Anforderungen) ist je nach Nutzung verschieden → sie hat einen **Raumnutzungsbezug**
 - Theater / Konzertsaal: Sprachverständlichkeit über größere Entfernung
 - Großraumbüro Kommunikationsqualität: über kurze Entfernung gut verstehen - Rest nicht
- Akustische Qualität: **statische**, **geometrische**, **wellentheoretische** Aspekte

2.1) Die statische Raumakustik



Nachhallzeit und Beispiele

Definition



- T ist frequenzabhängig !
- Nachhallzeit „Erwartung“

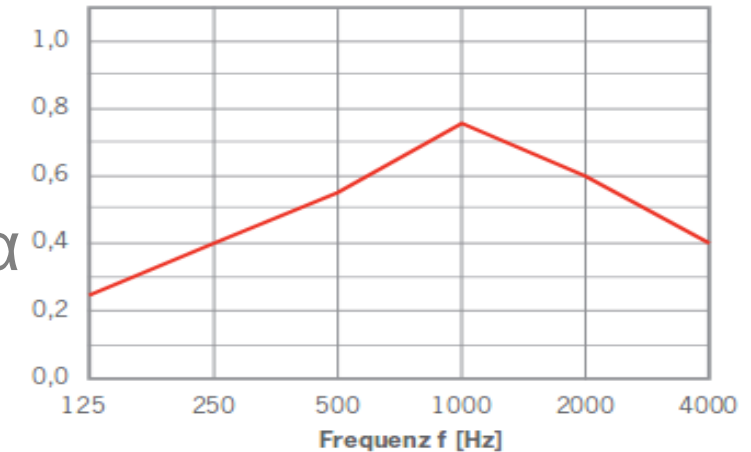
Soll-Nachhallzeiten nach DIN 18041, 250 m³, per Nutzung

- Musik: 1,15 s
- Sprache/Vortrag: 0,75 s
- Unterricht/Kommunikation: 0,6 s
- Unterricht/Komm. inklusiv: 0,48 s
- Sport: 0,8 s
- Lärminderung, Raumkomfort:
 $A/V=0,25 \rightarrow T=0,65$ s

Von Absorptionsgrad zu Nachhallzeit

Absorptionsgrad α

- Anteil der absorbierten Energie
- Ist frequenzabhängig, jede Tonhöhe hat ihr eigenes α
- Beispiel für die 6 Oktaven 125 Hz bis 4 kHz :



Für eine Fläche mit homogener Absorption gilt: $A = \alpha * S$

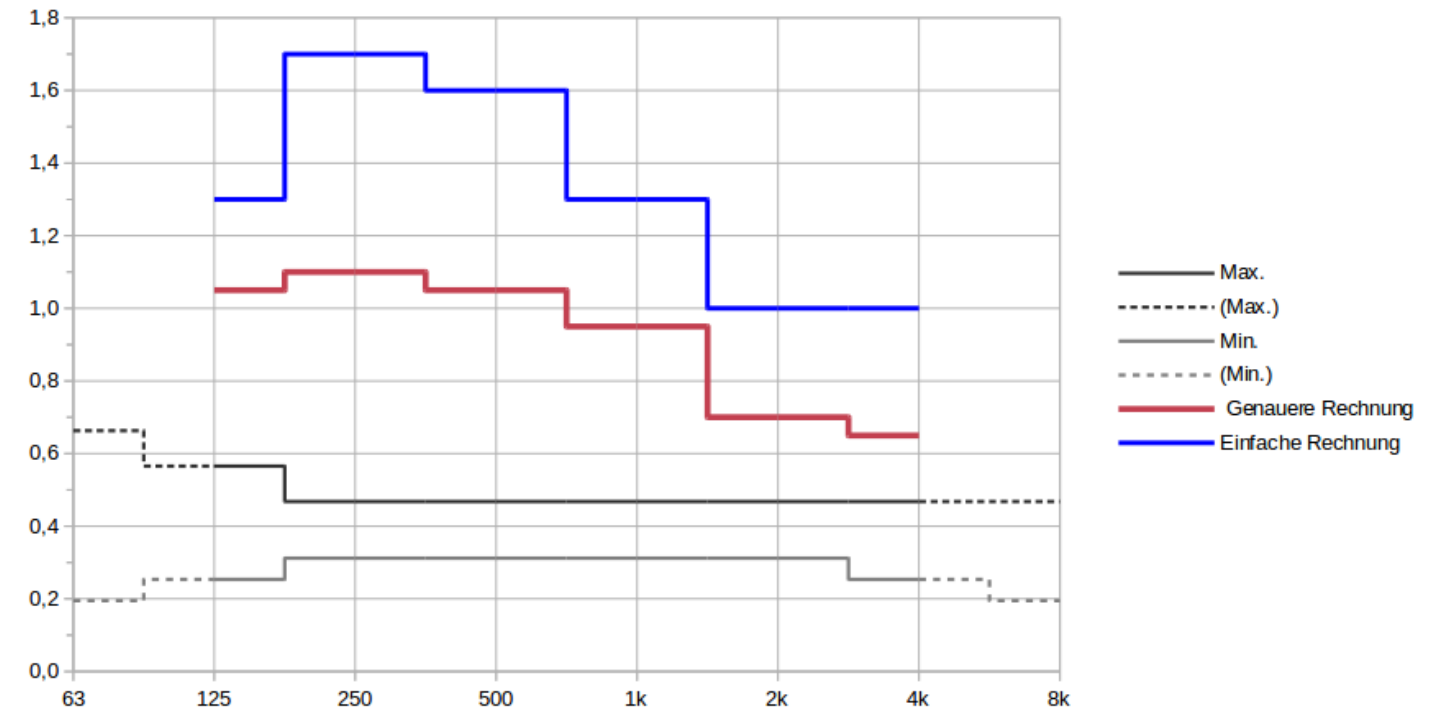
Äquivalente Absorptionsfläche eines Raums: $A = \alpha_1 * S_1 + \alpha_2 * S_2 + \dots = \sum \alpha_i S_i$

Nachhallzeit nach Sabine: $T = 0,163 * V / A$

Nachhallzeit nach Eyring: $T = 0,163 * V / (-\ln(1 - \alpha) S + 4mV)$

Grenzen der einfachen T-Berechnung

- Angewendete Vereinfachungen
 - Materialflächen grob beziffert
 - Menschen im Raum nicht berücksichtigt
 - Brutto- statt Netto-Volumen
 - Luftdämpfung vernachlässigt
 - Mathematische Vereinfachung nach Sabine: $\ln(1-\alpha) = \alpha$
- Genauere Rechnung im 3D CAD

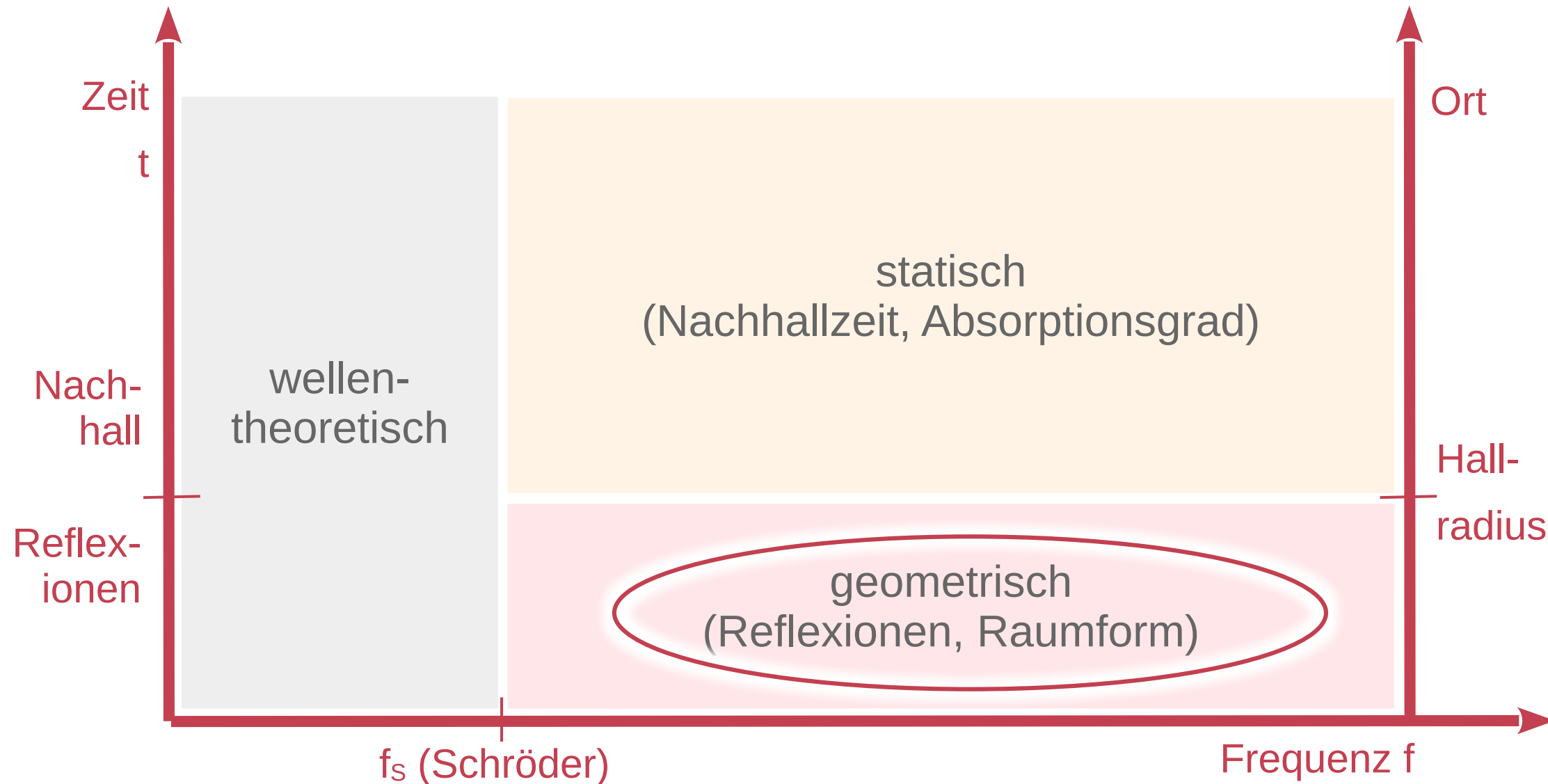


Quelle:
Ton im Raum

Weitere Details auf:

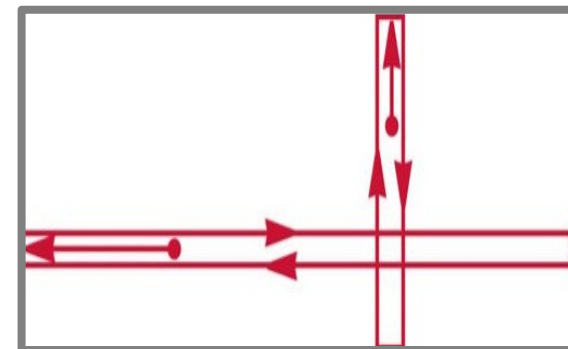
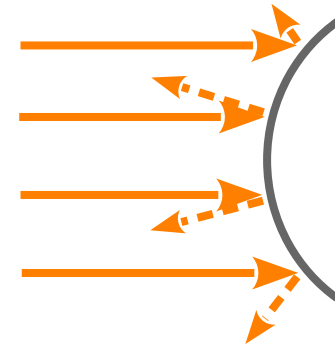
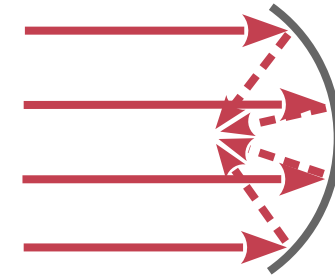
<https://ton-im-raum.de/raumakustik-messen-berechnen-simulieren.html#a2536>

2.2) Die geometrische Raumakustik






Effekte durch Schallreflexion

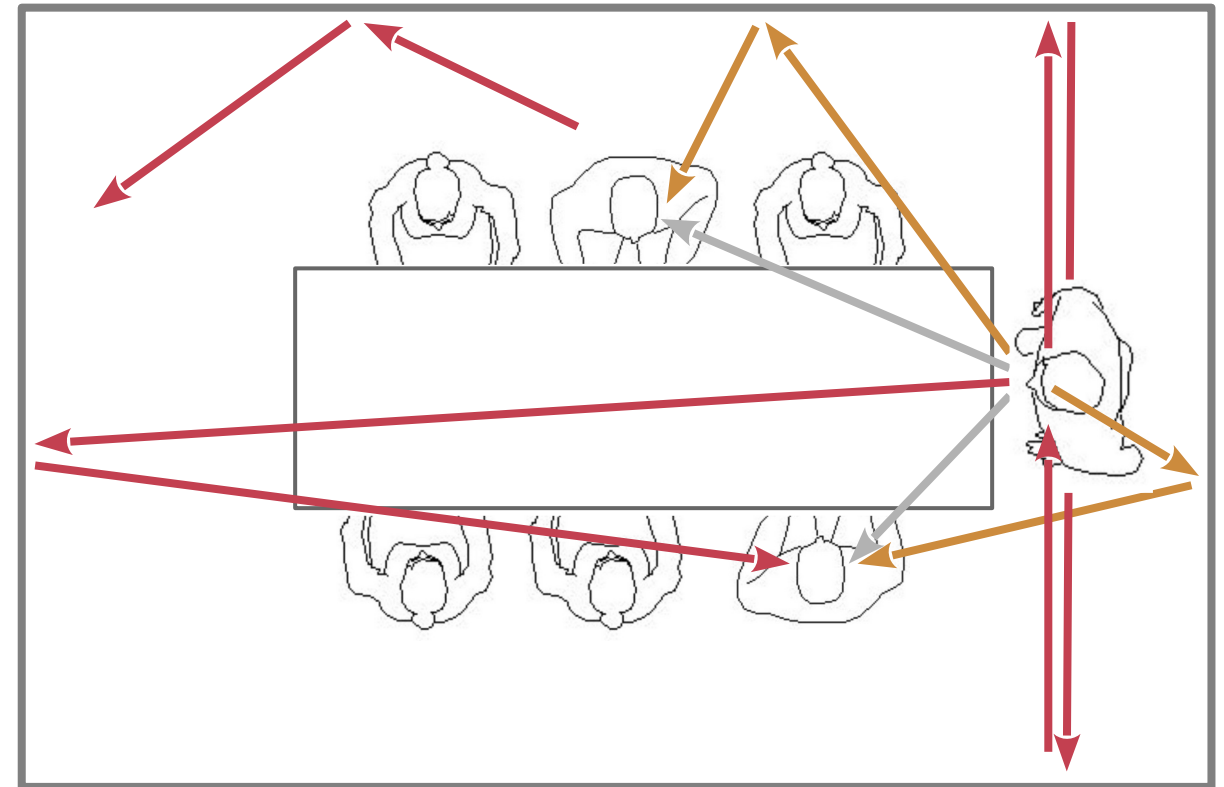
- **Fokussierung**
 - An konkaven Formen
 - „Schallbündelung“, meist unerwünscht
- **Streuung**
 - An konvexen Formen
 - „Schallverteilung“, bewusst einsetzbar
- **Flatterechos**
 - Häufig wenn angrenzende Flächen absorbierend sind
 - Mehrfachreflexion an gleicher Stelle
 - Sehr störend („Vibrationseffekt“) → unerwünscht



Nützliche vs. schädliche Reflexionen

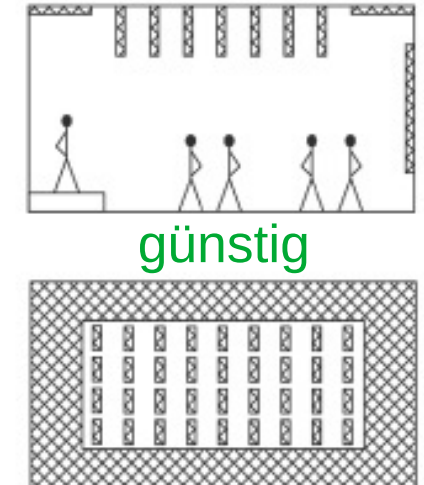
Vereinfachtes Beispiel:
Vortragssituation

- Direktschall 
- nützliche Reflexion 
- nicht nützliche bzw. schädliche Reflexion 



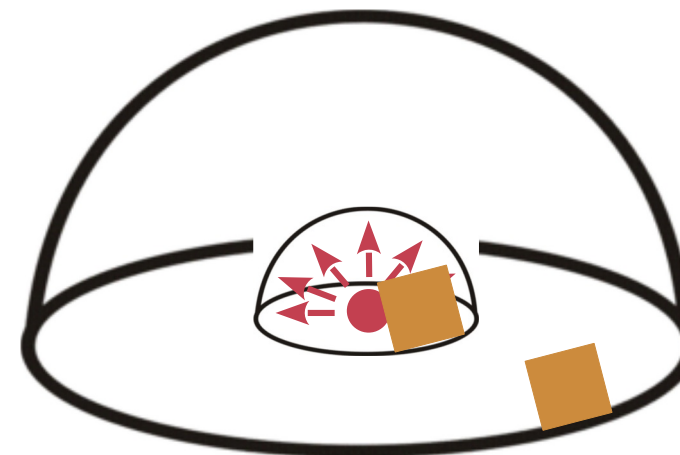
Akustikelemente richtig platzieren

Do's und Dont's
in
kleineren Räumen

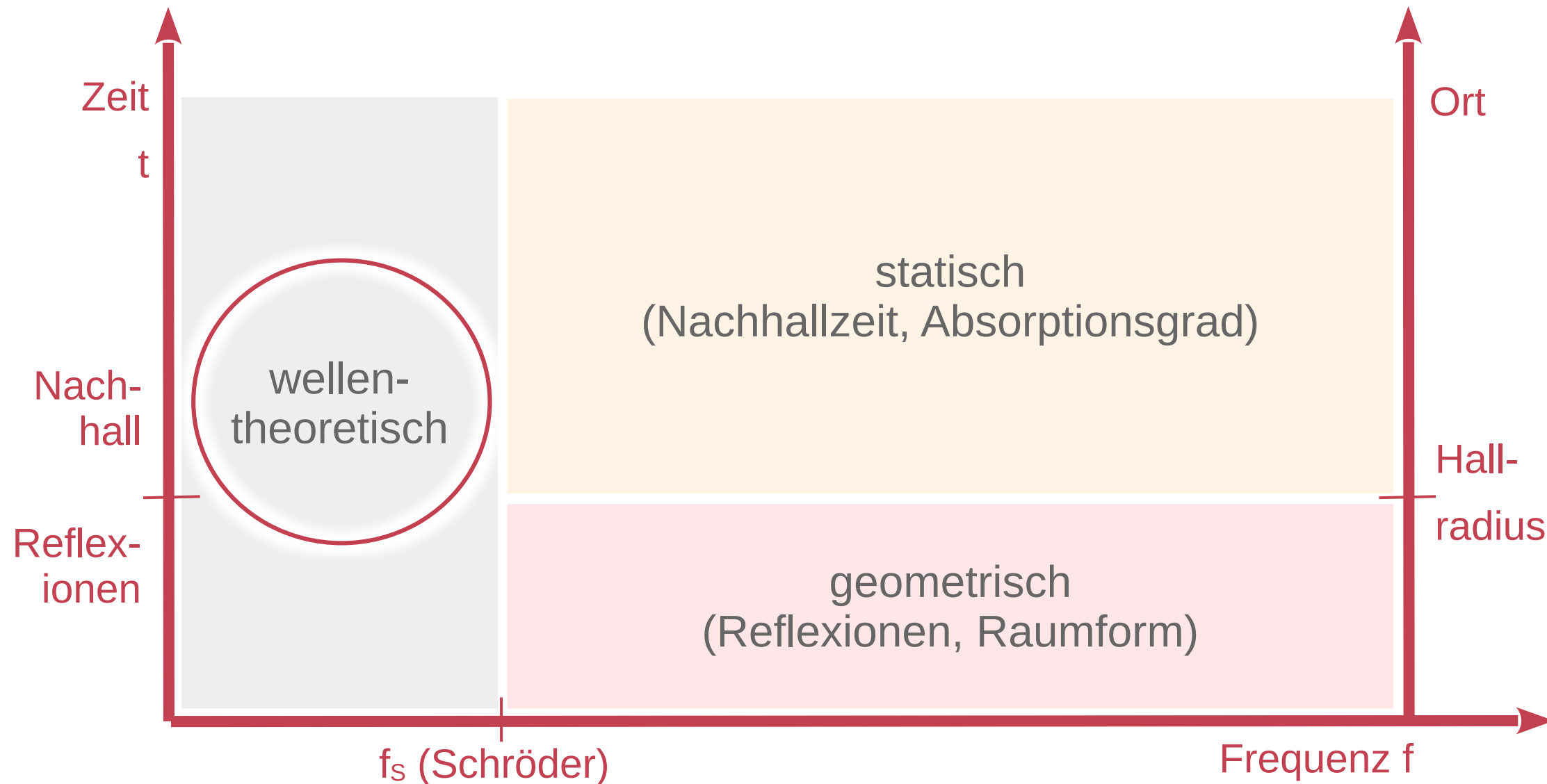


Quelle:
DIN 18041

Absorber näher an Schallquelle
erfasst mehr Schallenergie
reduziert Lärm stärker



2.3) Die wellentheoretische Raumakustik.



Raummoden und Gegenmaßnahmen

Raummoden („Stehende Wellen“) entstehen durch

- „Aufschaukeln“ zwischen parallelen Wänden
- Schallwellen werden in sich selbst reflektiert

Ortsabhängig

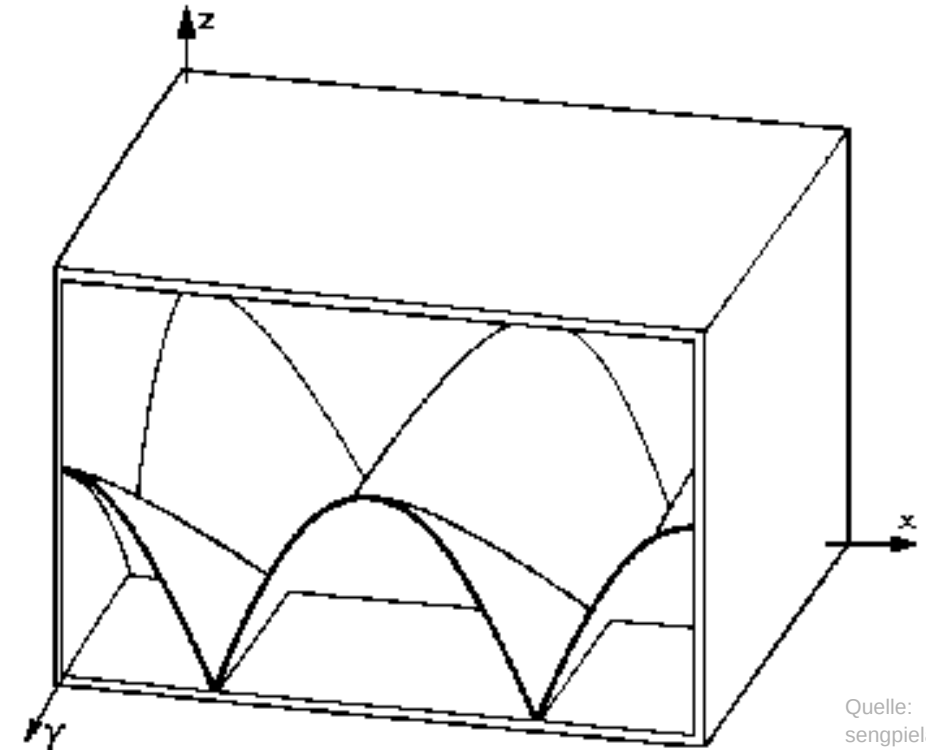
- „Dröhnen“, „wummern“
- Auslöschungen

Unterhalb der Schröderfrequenz signifikant

- $f_s = 2000 * \sqrt{(T / V)}$

Maßnahmen gegen Raummoden

- Raumdimensionen verändern
- Wände schräg stellen
- Bassabsorber



Quelle:
sengpielaudio.com

3) Ist Raumakustik ein „Muß“?

Gesetzliche / Normative Vorgaben

- DIN 18041:2016 : erhöhtes Bedürfnis nach guter Hörsamkeit ist zu berücksichtigen
 - Benachteiligungsverbot Art. 3 **Grundgesetz**; **Behindertengleichstellungsgesetz § 4**
 - UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen
 - DIN 18040-1, **Barrierefreies Bauen** Teil 1: verweist auf DIN 18041
- Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.7 Lärm

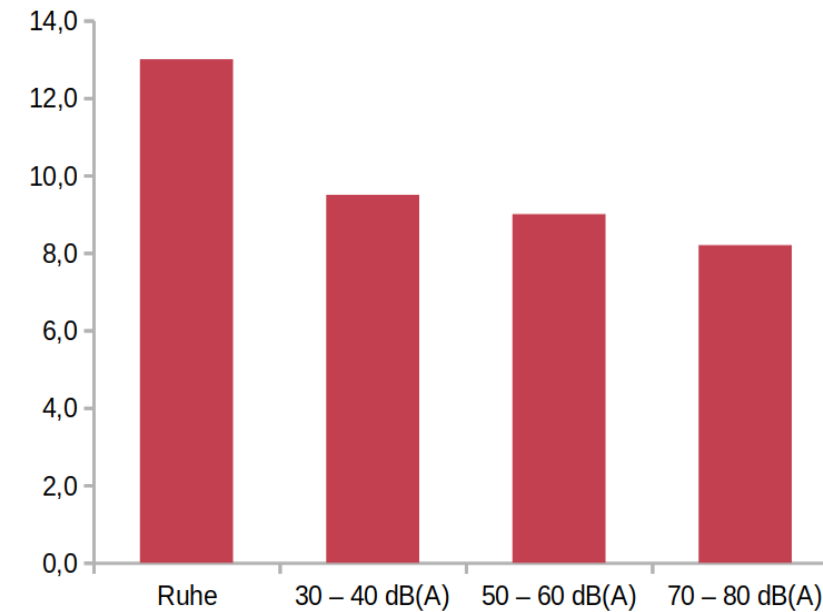
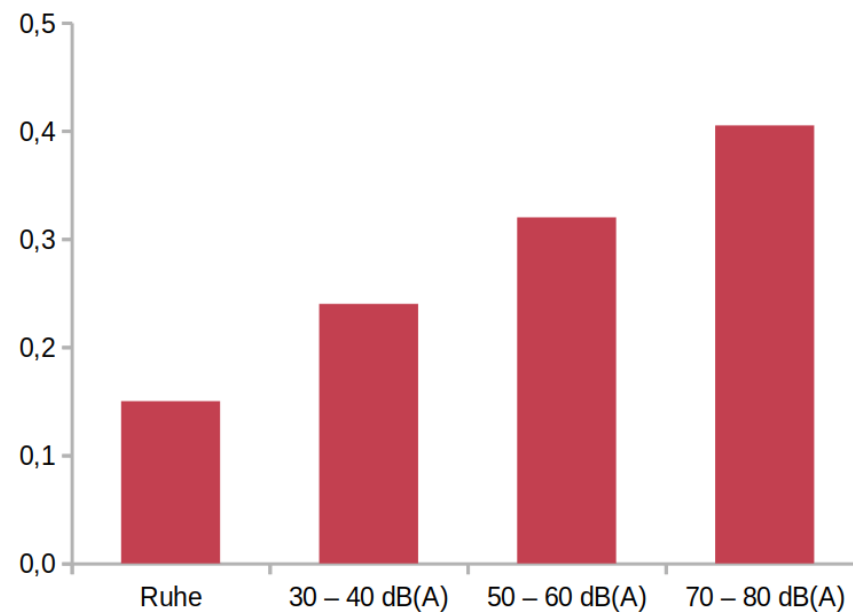


Baurechtlich

- Landesbauordnung (LBO BaWü) fordert Barrierefreiheit für öffentliche Gebäude
- Leitfaden Barrierefreies Bauen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau ...)
 - definiert DIN 18041:2016 klar als allgemein **anerkannte Regel der Technik**
- Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB)
 - Leistung ist frei von Sachmängeln, wenn sie ... den **anerkannten Regeln der Technik** entspricht

4) Raumakustik aus wirtschaftlicher Sicht

- Fehlerhäufigkeit bei der Arbeit, abhängig von Lärm
- Leistungseffizienz bei der Arbeit, abhängig von Lärm



Quelle:
Schönpflug & Schulz 1979

Die Praxis



5) Raumakustik Planung - 3 Ansätze



	Vereinfacht, Einzahlwerte	Messung / Berechnung, Oktavwerte	Simulation, Oktav-/Terzwerte
Sollwerte (T oder A/V)	Norm, ASR	Norm, ASR	Norm, ASR, Individ.
Grenzwerte	-	Norm	Norm, Individ.
Istwerte	Berechnung α_w	Messung oder Berechnung α_p nach DIN EN 12354-6	Simulation α , Klarheit, Deutlichkeit, STI ...
Differenz Soll - Ist	Absorptionsfläche	Absorptionsfläche und -Charakteristik	Absorptionsfläche und -Charakteristik
Positionierung Ak.Flächen	Manuell	Manuell	Manuell
Kontrolle Reflexionen	Manuell, grob	Geometrische Analyse	Simulat. Schallausbreitung
Raumgeometrien	-	-	L:B:H in Bolt Area Wände schräg stellen
Tieftonabsorption	-	Schroeder-Frequenz	Simulat. Schallausbreitung

Projektbeispiel Büro 1/3

1) Raumnutzung und Zielsetzung

- Büro mit 10 Arbeitsplätzen und Teeküche, hoher Anteil Telefongespräche
- Lärmentwicklung und Verständlichkeit von Kollegen-Gesprächen begrenzen

2) Anzuwendende Vorschriften und Sollwerte

Vorschrift, Nutzungsart, Beschreibung Beispiel (Vergleichbare Räume sinngemäß)	Höhe	Nachhal zeit soll	AV soll
DIN 18041, B4, Räume mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort u.a. Büroräume	3,1 m	0,71 s ¹	0,23
VDI 2569, Raumakustikklasse A		≤ 0,6 s	
ASR A3.7, Raumakustische Anforderungen an Büroräume Callcenter (Büro für kommunikationsbasierte Dienstleistungen) Mehrpersonen- und Großraumbüro		≤ 0,5 s ≤ 0,6 s	

Starke Einzelreflexionen, besonders mit langen Laufzeiten (Echos) sind zu vermeiden.


Flatterechos und Fokussierungen sind zu vermeiden.

Projektbeispiel Büro 2/3



3) Berechnung der (fehlenden) Absorptionsfläche

QRA – Quick Room Assessment
vereinfacht (eindimensional, g_{01})


Ton im Raum

Raum		05.09.25	
	Büro		
	SLG Solution GmbH & Co.KG		
Grundfläche	m ²	54	
Mittlere Höhe	m	3,1	
Raumvolumen			m ³ 168
Raumart (DIN 18041, Gruppe B)			
	A/V (h ≤ 2,5m)	h=3,5m	h=4,5m
zum kurzfristigen Verweilen	B2 ≤ 0,15	0,14	0,13
zum längerfristigen Verweilen	B3 ≤ 0,20	0,18	0,16
mit Bedarf an Lärminderung und Raumkomfort	B4 ≤ 0,25	0,21	0,19
mit besonderem Bedarf an LM und Raumkomfort	B5 ≤ 0,30	0,25	0,22
Raumart (DIN 18041, Gruppe A)			
	T		V=[Raum]
Musik (aktives Musizieren und Gesang)	A1	≤ 1.000 m ³	1,07
Sprache/Vortrag (Rats-, Gemeinde-, ...)	A2	≤ 5.000 m ³	0,68
Unterricht/Kommunikation	A3	≤ 1.000 m ³	0,54
Bzw. Sprache/Vortrag inklusiv	A4	≤ 5.000 m ³	0,44
Unterricht/Kommunikation inklusiv (Tagungs-, Bespr., Konf.raum, Video-Konf.)		≤ 500 m ³	
Ausgewählt			
angestrebtes A/V Verhältnis	m ² /m ³	0,30	
angestrebte äquivalente Absorptionsfläche ¹⁾			m ² 50
angestrebte Nachhallzeit			
Vorhandene Flächen			
Wände			
Fenster (Plissees)			
Decke gesamt incl. Sparr			
Boden			
Decke zwischen Sparren			
Decke Sparren			
Schränke, Regale, Tische			
Polstermöbel			
Publikum, Personen			
... weiteres			
vorhandene äquivalente /			
vorhandene Nachhallzeit			
fehlende äquivalente Absorptionsfläche ²⁾			
			m ² 32
Lautstärke überhöht um ca. Faktor ³⁾			
			1,8

fehlende äquivalente
Absorptionsfläche: 32 m²

Projektbeispiel Büro 3/3

4) Akustikmaterial Auswahl und Positionierung

Direkt montiert

LIGNO® Akustik light 35_33_a70g

ohne Hohlraum installiert
ohne Hohlraumfüllung

h = 0 mm

d = 0 mm

(ca. 7 mm Hohlraum im Element)

Profil	α_w	NRC	SAA	SAK	Form	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
_625-12-4	0,40	0,55	0,57	D	MH	0,05	0,10	0,40	0,90	0,90	0,75
_625-18-6	0,45	0,65	0,64	D	MH	0,05	0,15	0,55	0,95	0,90	0,75
_625-23-8	0,45	0,60	0,61	D	MH	0,10	0,20	0,40	0,85	0,95	0,85
_625-20-4	0,40	0,55	0,56	D	MH	0,05	0,10	0,45	0,95	0,70	0,55
_625-35-4	0,50	0,55	0,55	D	M	0,10	0,30	0,60	0,80	0,50	0,35
_625-44-4	0,45	0,45	0,46	D	M	0,10	0,20	0,45	0,75	0,45	0,35
_625-12n25-4	0,40	0,60	0,59	D	MH	0,05	0,10	0,50	0,95	0,85	0,65
_625-18n38-6	0,40	0,60	0,61	D	MH	0,10	0,15	0,35	0,90	1,00	0,95
_625-22n40-4	0,50	0,65	0,64	D	M	0,10	0,35	0,75	0,90	0,55	0,30

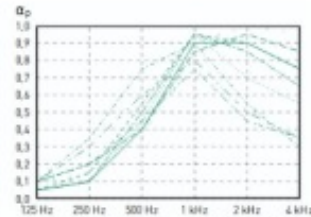


Abbildung 2: Schallabsorptionsgrade und Produktbild

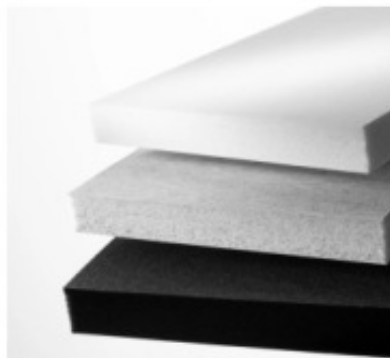
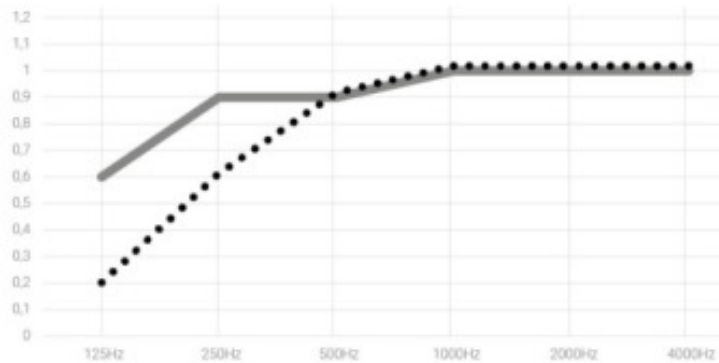
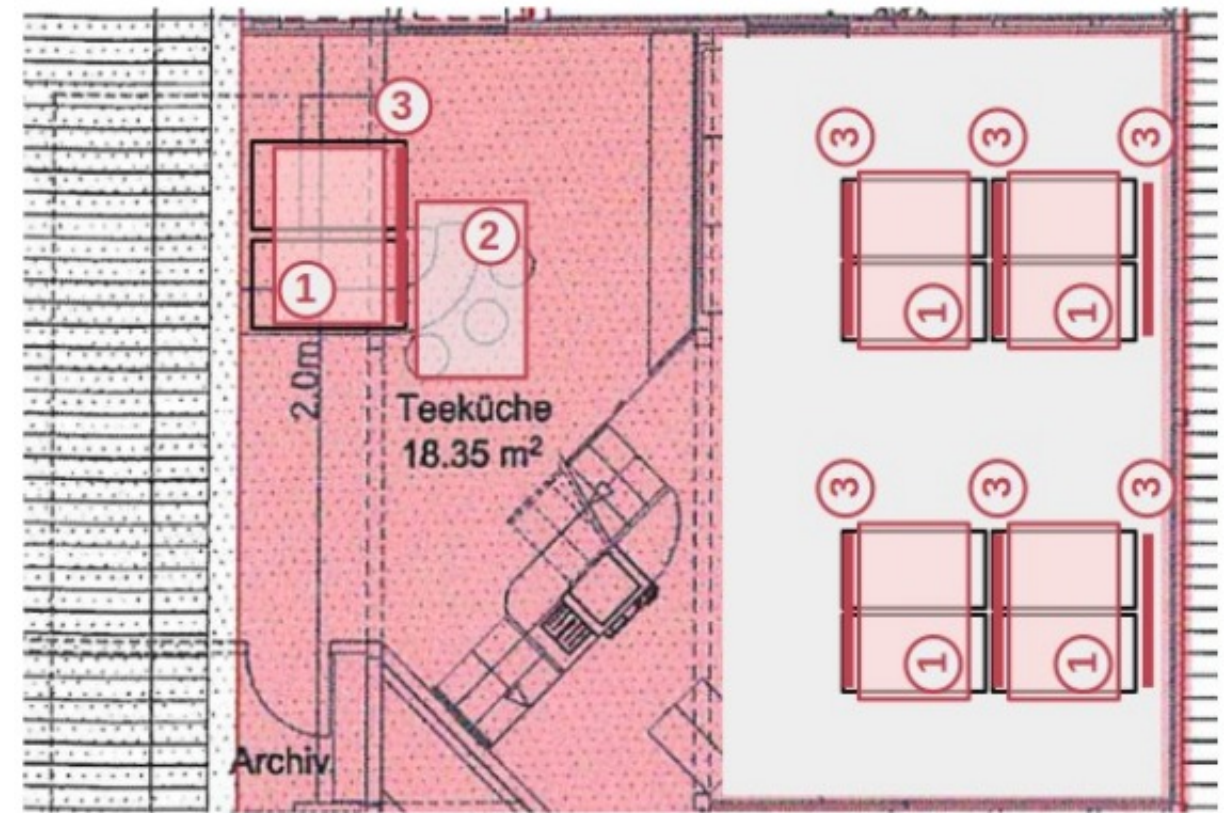
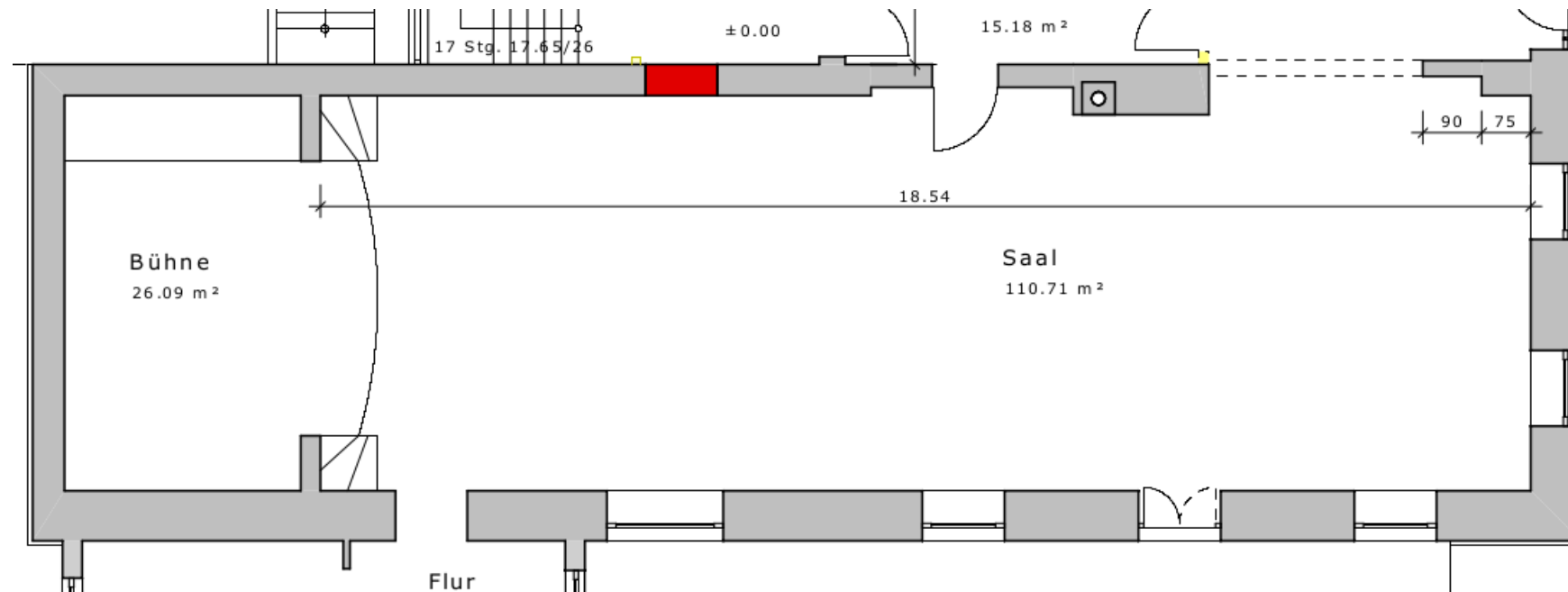


Abbildung 3: Schallabsorptionsgrade und Produktbild



1) Raumnutzung und Zielsetzung



- Gemeinderatssitzungen, Sprache unterstützt mit Lautsprechern, ca. 50 Personen
- Vorträge, Sprache bei Bedarf unterstützt mit Lautsprechern, ca. 50 Personen
- Feierlichkeiten (Hochzeiten o.ä.), Musik über Lautsprecher wiedergegeben, ca. 90 Pers.
- Tanzkurs o.ä., Musik über Lautsprecher wiedergegeben, ca. 30 Pers.
- Kaffe/Kuchen Veranstaltungen, mehrere gleichzeitige Sprecher, ca. 60 Personen
- Akustisch wiedergegebene Musik, laut (z.B. Blasmusik), ca. 60 Personen

Ziele:

- Sprachverständlichkeit verbessern
- Lärmentwicklung reduzieren

2) Anzuwendende Vorschriften und Grenzwerte

2.1 Normen, Richtlinien, Verordnungen („Vorschriften“)

Für Räume, die wie in Abschnitt 1 beschrieben genutzt werden, sind zur raumakustischen Beurteilung folgende Vorschriften anwendbar:

- DIN 18041:2016 „Hörsamkeit in Räumen“
- DIN 18040-1:2010 „Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude“ (verweist in 4.4.3 Auditiv: „Für die raumakustische Planung siehe DIN 18041“)

2.2 Soll- und Grenzwerte für Nachhallzeit bzw. A/V Verhältnis

Vorschrift, Einstufung bzw. Nutzungsart	Volumen	Nachhallzeit soll
DIN 18041, A3 Sprache / Vortrag inklusiv (u.a. Gerichts-/Ratssaal, Gemeindesaal) Unterricht / Kommunikation (u.a. Tagungsraum, Konferenzraum)	360 m ³	0,66 s
DIN 18041, A4 Unterricht / Kommunikation inkl. (u.a. Tagungsraum, Konferenzraum)	360 m ³	0,53 s

2.3 Reflexionen, Flatterechos und Fokussierungen

Starke Einzelreflexionen, besonders mit langen Laufzeiten (Echos) sind zu vermeiden.

Flatterechos und Fokussierungen sind zu vermeiden.

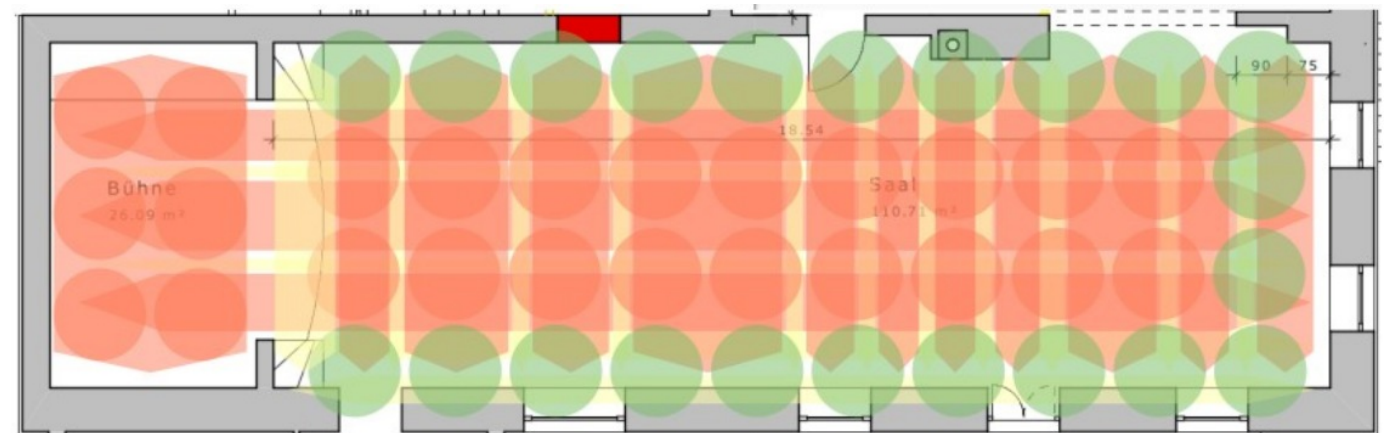
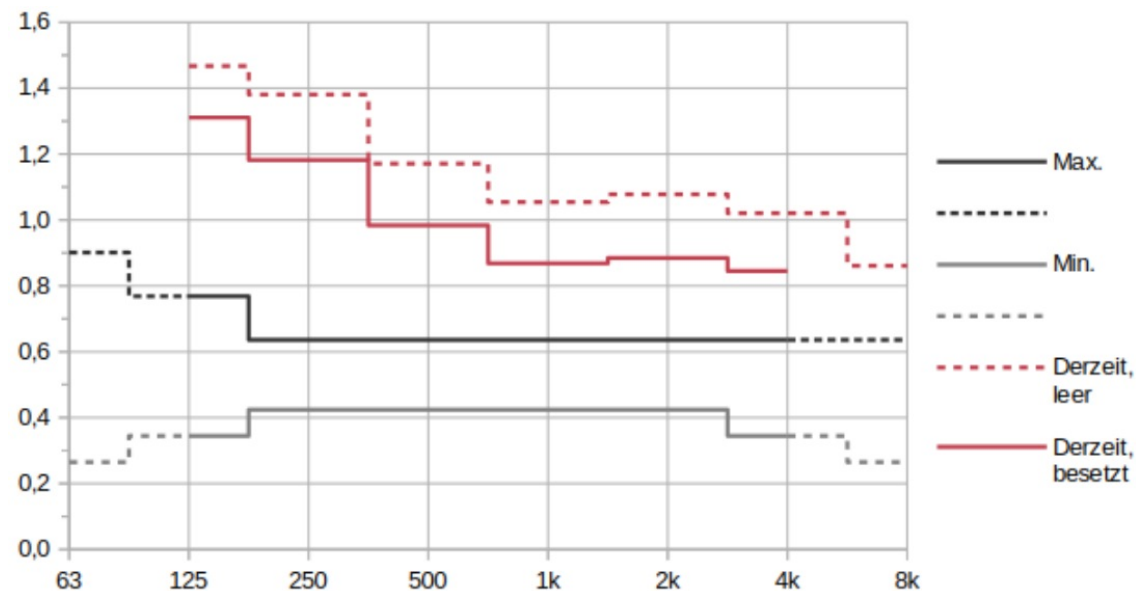
2.4 Raummoden

Raummoden („stehende Wellen“) entstehen durch Mehrfach-Reflexionen des Schalls zwischen Wänden. Entspricht die (ggf. mehrfache) Wellenlänge eines Tons dem Abstand zweier Wände, kann sich dieser Ton „aufschaukeln“ und zu Dröhneffekten und Auslöschungen in bestimmten Raumbereichen führen. Dieses Verhalten ist primär unterhalb der Schroederfrequenz wahrnehmbar; diese beträgt

$$f_s = 2000 * \sqrt{ (T / V) } \approx 77 \text{ Hz} \quad (\text{mit } T = 0,53 \text{ s und } V = 360 \text{ m}^3)$$

Die Ausbildung von Raummoden ist ausreichend zu unterbinden.

3) Nachhallzeitmessung und Analyse des Reflexionsverhaltens

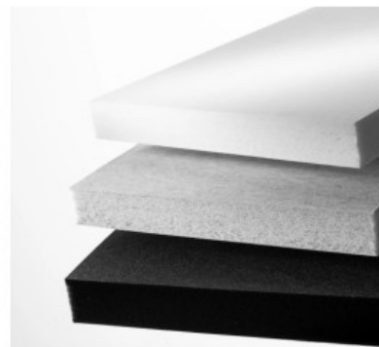
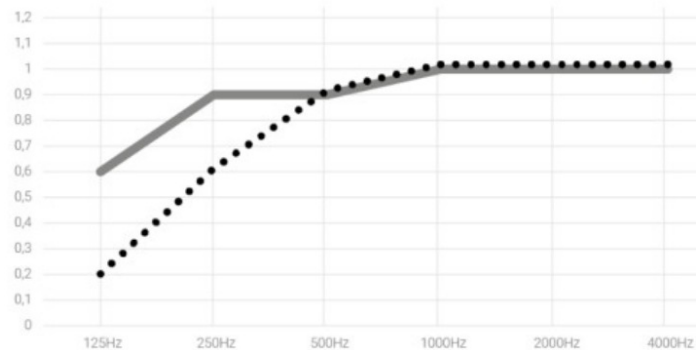


4) Akustikmaterial

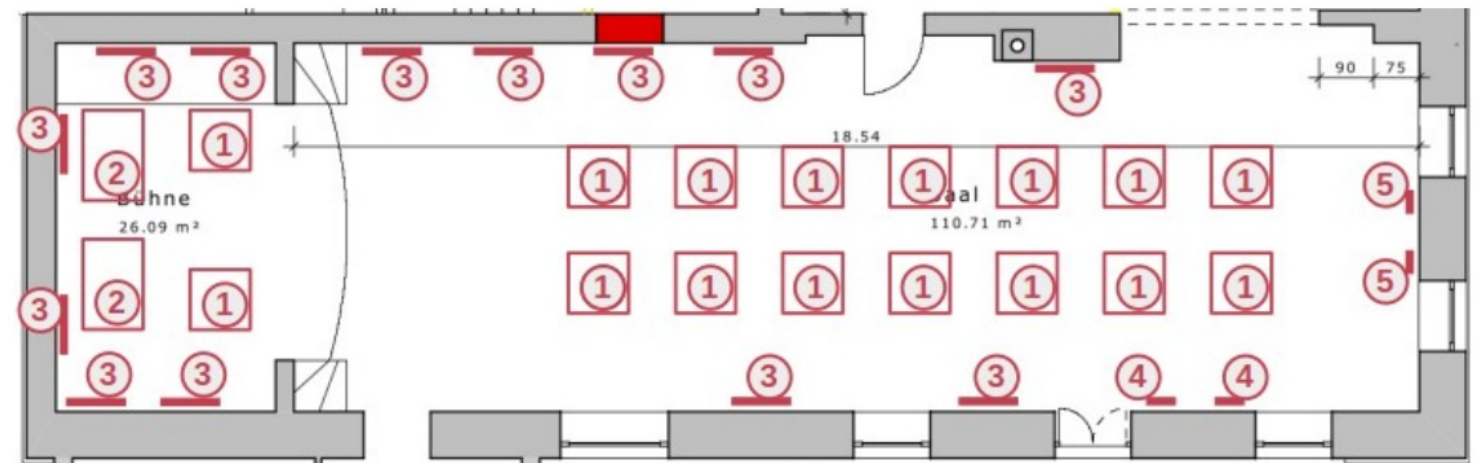
4.1 Material Auswahl

Absorber „Frameless“

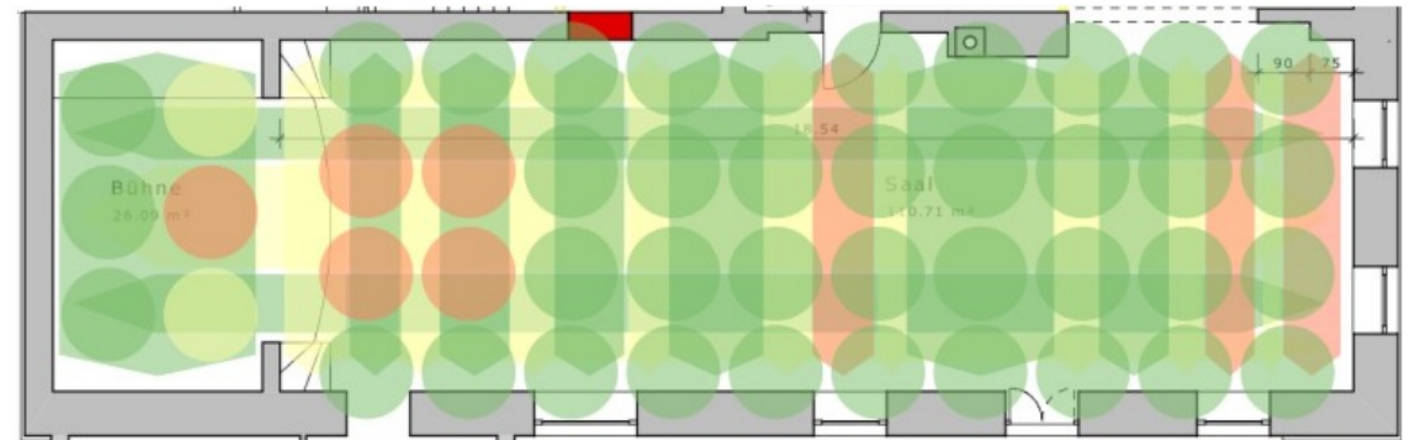
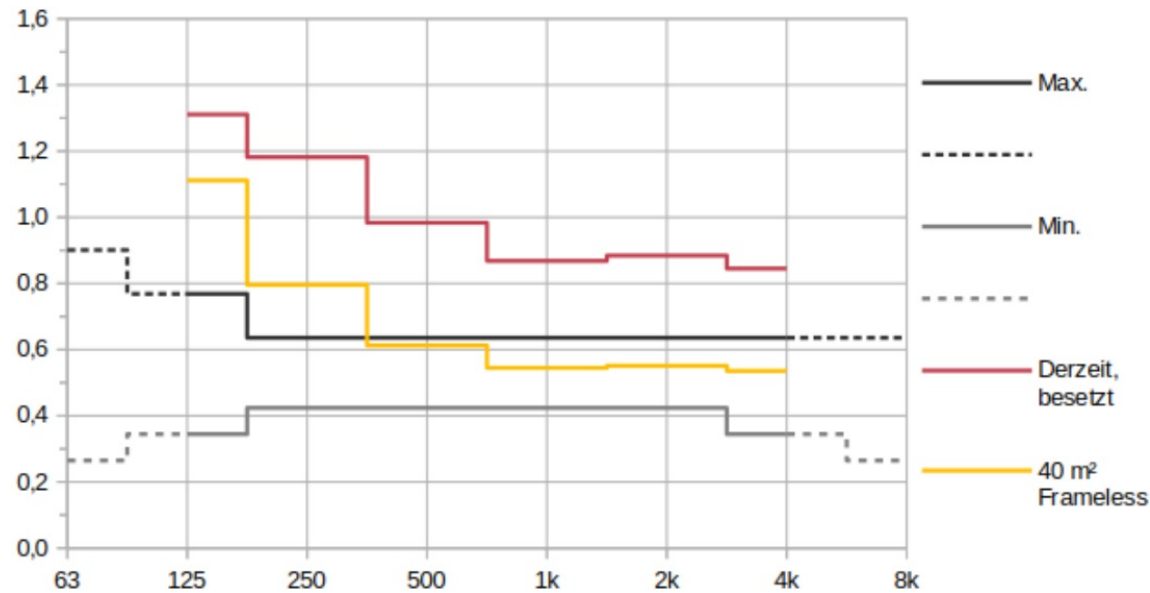
<https://www.schallsauger.de/produkte/frameless.html>



4.2 Materialpositionierung



5) Resultierende Nachhallzeiten und Reflexionsverhalten



Bleiben Sie der Akustik gewogen, denn:

**Wir können unsere Augen schließen ...
... unsere Ohren jedoch nicht**