

LIEBER LEISER LERNEN

BAUTECHNISCHE UND PÄDAGOGISCHE
MAßNAHMEN ZUR LÄRMMINDERUNG IN SCHULEN

- FACHVERANSTALTUNG UND AUSSTELLUNG -

Möglichkeiten zur Lärmvermeidung und
Lärminderung bei Neubau, Sanierung
und Raumausstattung

21. MAI 2008

Planung und Entwurf

Bauakustik

- DIN 4109 Schallschutz im Hochbau
Anforderungen und Nachweise

- DIN 4109 Beiblatt 1

Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren

- DIN 4109 Beiblatt 2

Hinweise für Ausführung und Planung

Planung und Entwurf

Raumakustik

- DIN 18041 Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen
- VDI 2569 Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro
- DIN 18032-1 Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung

Berechnung und Bewertung

- DIN EN ISO 11654

Schallabsorber für die Anwendung in
Gebäuden – Bewertung der
Schallabsorption

- DIN EN 12354-6

Berechnung der akustischen Eigenschaften
von Gebäuden aus den
Bauteileigenschaften – Teil 6:
Schallabsorption in Räumen

Messung

- DIN EN ISO 3382 Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter
- DIN EN ISO 354 Messung der Schallabsorption in Hallräumen

Planungsziele - Bauakustik

- Sicherstellung einer ausreichenden Luftschalldämmung der Wände, Decken und Türen gemäß DIN 4109
- Sicherstellung einer ausreichenden Trittschalldämmung der Decken und Treppen gemäß DIN 4109
- Sicherstellung eines ausreichenden Schutzes vor Installationsgeräuschen gemäß DIN 4109

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile		Bauteile	Anforderungen		Bemerkungen
			erf. R'_w dB	erf. $L'_{n,w}$ (erf. TSM) ') dB	
5 Schulen und vergleichbare Unterrichtsbauten					
38	Decken	Decken zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen	55	53 (10)	
39		Decken unter Fluren	–	53 (10)	Die Anforderung an die Trittschalldämmung gilt nur für die Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume, ganz gleich, ob sie in waagerechter, schräger oder senkrechter (nach oben) Richtung erfolgt.
40		Decken zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und „besonders lauten“ Räumen (z. B. Sporthallen, Musikräume, Werkräume)	55	46 (17)	Wegen der verstärkten Übertragung tiefer Frequenzen können zusätzlich Maßnahmen zur Körperschalldämmung erforderlich sein.

41	Wände	Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen	47		
42		Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und Fluren	47		
43		Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und Treppenhäusern	52		
44		Wände zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und „besonders lauten“ Räumen (z. B. Sporthallen, Musikräumen, Werkräumen)	55		
45	Türen	Türen zwischen Unterrichtsräumen oder ähnlichen Räumen und Fluren	32		Bei Türen gilt nach Tabelle 1 erf. R_w .

1) Siehe Seite 3

Planungsziele - Raumakustik

- Schaffung eines behaglichen Raumklimas
 - Sicherstellung einer optimalen Sprachverständlichkeit
 - Reduzierung der Störgeräusche
 - Sicherstellung einer optimalen Schallausbreitung
 - Sicherstellung einer optimalen Nachhallzeit
- Besondere Anforderungen bestehen an Klassenräume für Hörgeschädigte!

Störgeräusche im Gebäude

- Lärm aus den angrenzenden Fluren und Treppenhäusern
 - Geräusche von Lüftungs- und Klimaanlage
 - Stühlerücken
 - Scharren mit den Füßen
- Flüstern, Tuscheln, Husten, Rascheln



Störgeräusche außen

- Lärm des Straßenverkehrs
- Lärm des Eisenbahnverkehrs
 - Fluglärm

Je besser die Schalldämmung der Außenhülle des Gebäudes ist, um so stärker sind Geräusche im Gebäude, z.B. von Raum zu Raum wahrzunehmen!

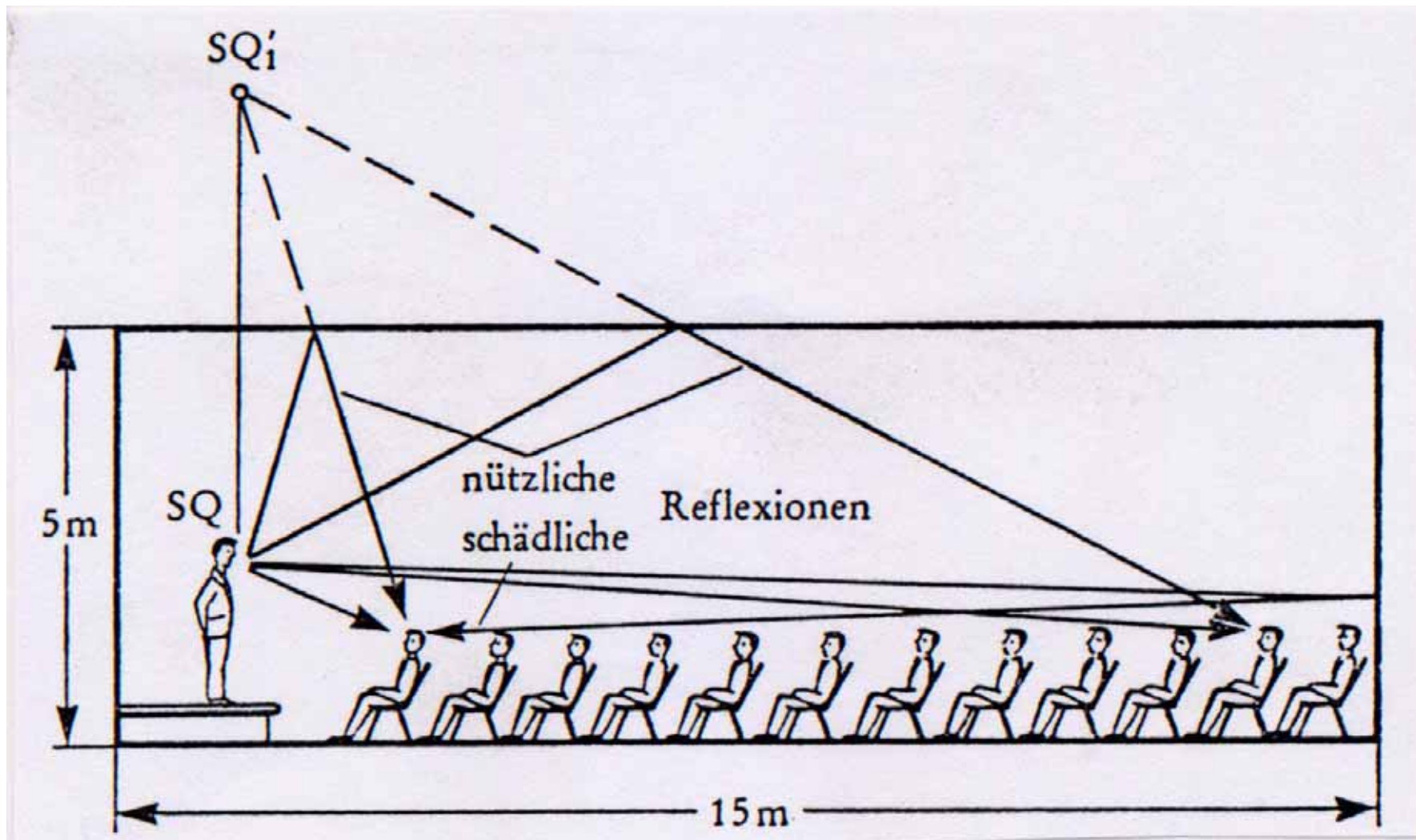
Störgeräusche und Hörgeschädigte

Während Normalhörende in der Lage sind, Sprache noch zu verstehen, wenn sie bis zu 5 dB leiser ist, als das Störgeräusch (SNR = -5 dB), so benötigen Hörgeschädigte ein circa 20 dB besseres Signal-Rausch-Verhältnis (SNR = + 15 dB). Aus diesem, für die Sprachverständlichkeit erforderlichen Signal-Rausch-Verhältnis ergibt sich die Forderung nach einer wirkungsvollen Reduzierung der Störgeräusche.

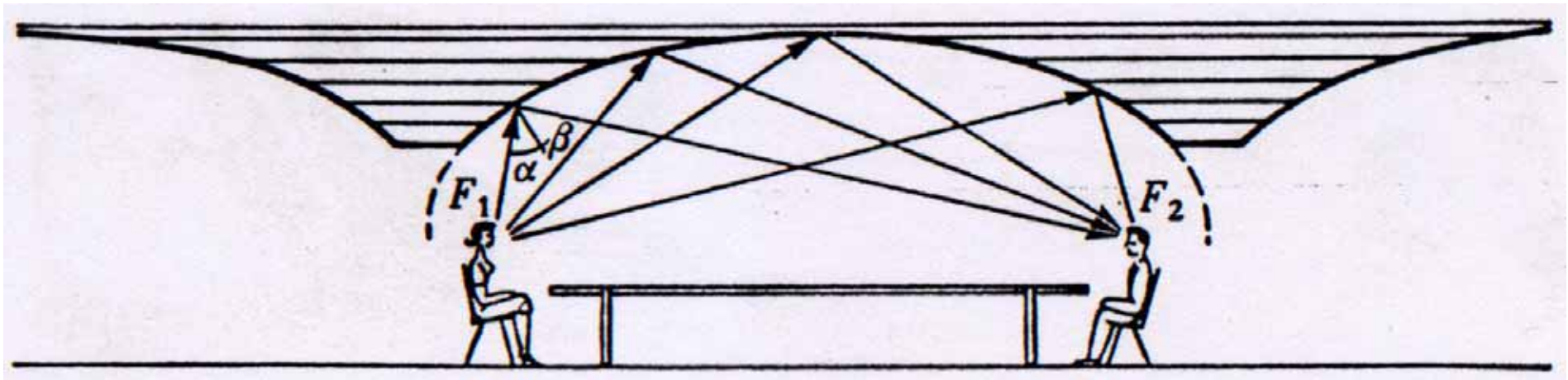
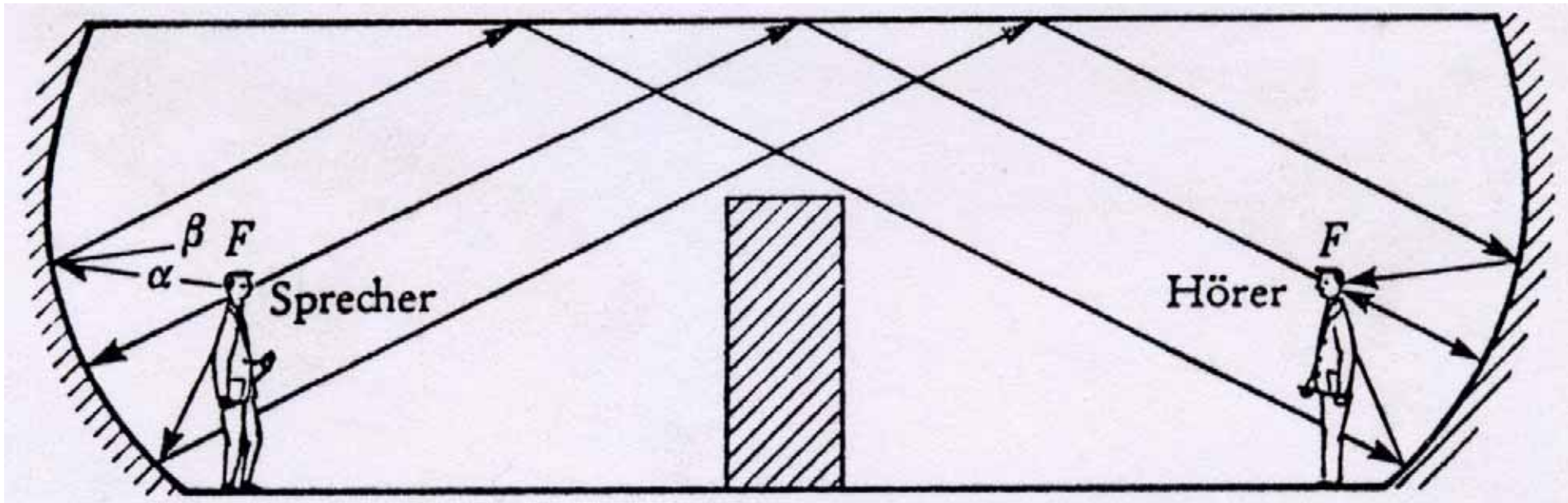
Planungskriterien

- Ausreichender Direktschall
 - Viele frühe Reflexionen
 - Keine Flatterechos
 - Optimaler Nachhall
 - Hohe Diffusität im Nachhallbereich
- Gleichmäßige Akustik auf allen Plätzen
- Geringe Abhängigkeit von der Besetzung
 - Niedriges Störgeräusch

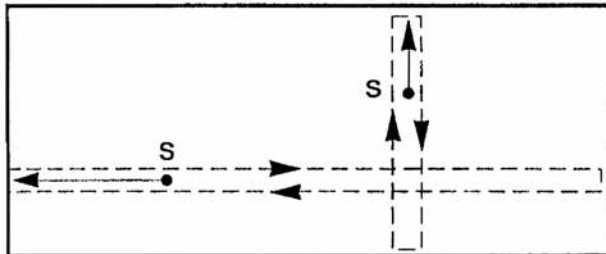
Direktschall / Reflexionen



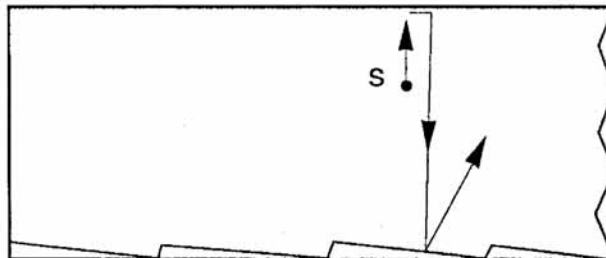
Reflexionen



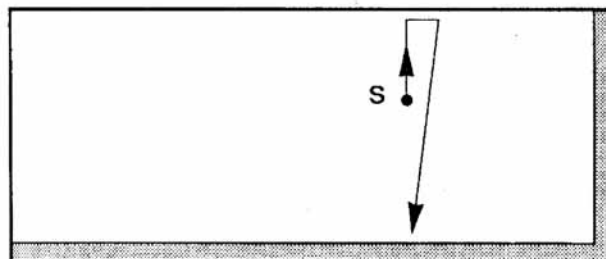
Flutterechos



a



b



■ Flutterecho

- Periodisches Hin- und Herpendeln der Schallenergie zwischen zwei schallharten parallelen Wänden bei Wandabständen von wenigen Metern bis einige 10 m
- Flutterechos treten auch in Brennpunkten von konkav gekrümmten reflektierenden Flächen auf
- Flutterechos führen zu Kammfilterstrukturen im Frequenzgang und somit zu starken Klangverfärbungen

■ Maßnahmen gegen Flutterecho

- Aufbrechen der Wandparallelitäten durch Anbringen schräger Wandverkleidungen ($> 5^\circ$)
- Erhöhung der Gesamtdiffusität

Verteilung absorbierender Flächen

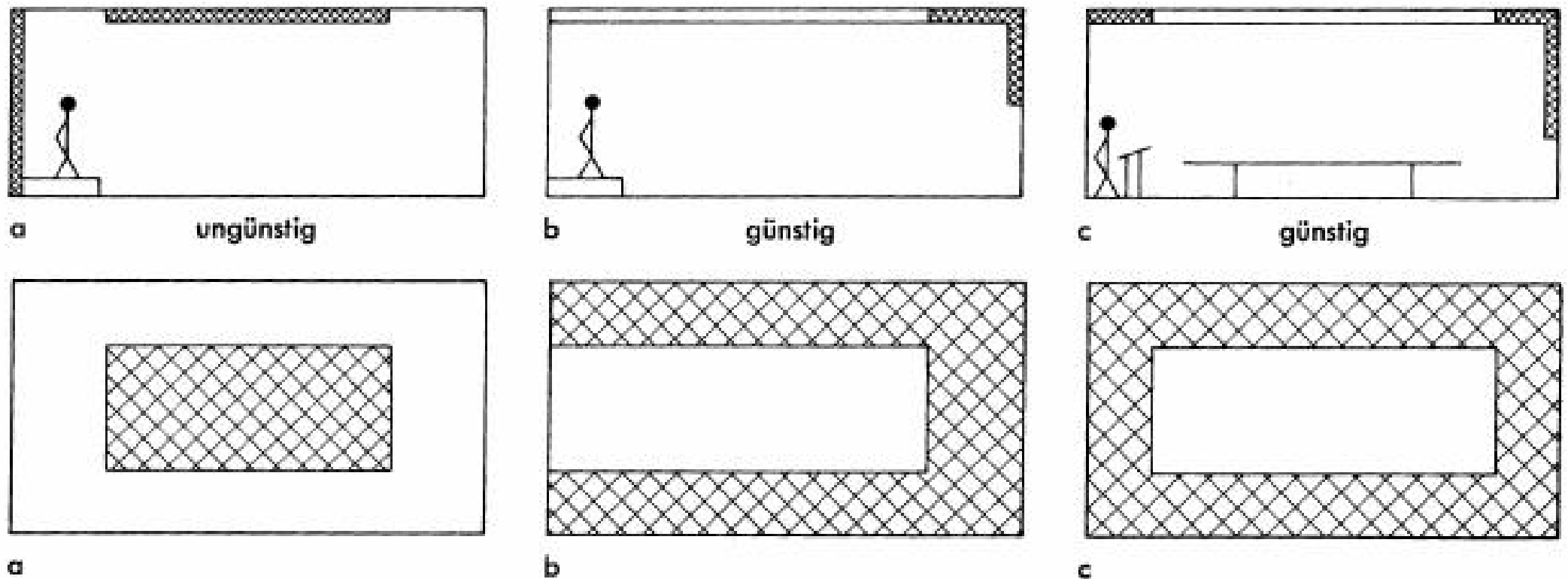


Bild 5 — Verteilung von Schallabsorptionsflächen für Räume kleiner bis mittlerer Raumgröße, z. B. Unterrichts- und Sitzungsräume (oben Aufrisse, unten Deckenuntersichten)

Anordnung absorbierender Flächen

- Fußböden bzw. Fußbodenbeläge beeinflussen die Nachhallzeit sowie die Schallpegelabnahme nur geringfügig.
- Durch einen weichfedernden Bodenbelag können allerdings Störgeräusche durch Stühlerücken, Scharren mit den Füßen und Quietschen von Sohlen um bis zu 15 dB gemindert werden.

Anordnung absorbierender Flächen

- Der Direktschall ist für die Sprachverständlichkeit entscheidend, daher sind die
- die Deckenflächen,
- die seitlichen Wandflächen, mindestens im oberen Wanddrittel und
- die Rückwand hinter den Schülern, ebenfalls mindestens im oberen Wanddrittel absorbierend auszubilden.

Anordnung absorbierender Flächen

- Fußböden bzw. Fußbodenbeläge beeinflussen die Nachhallzeit sowie die Schallpegelabnahme nur geringfügig.
- Durch einen weichfedernden Bodenbelag können allerdings Störgeräusche durch Stühlerücken, Scharren mit den Füßen und Quietschen von Sohlen um bis zu 15 dB gemindert werden.

Optimale Nachhallzeiten

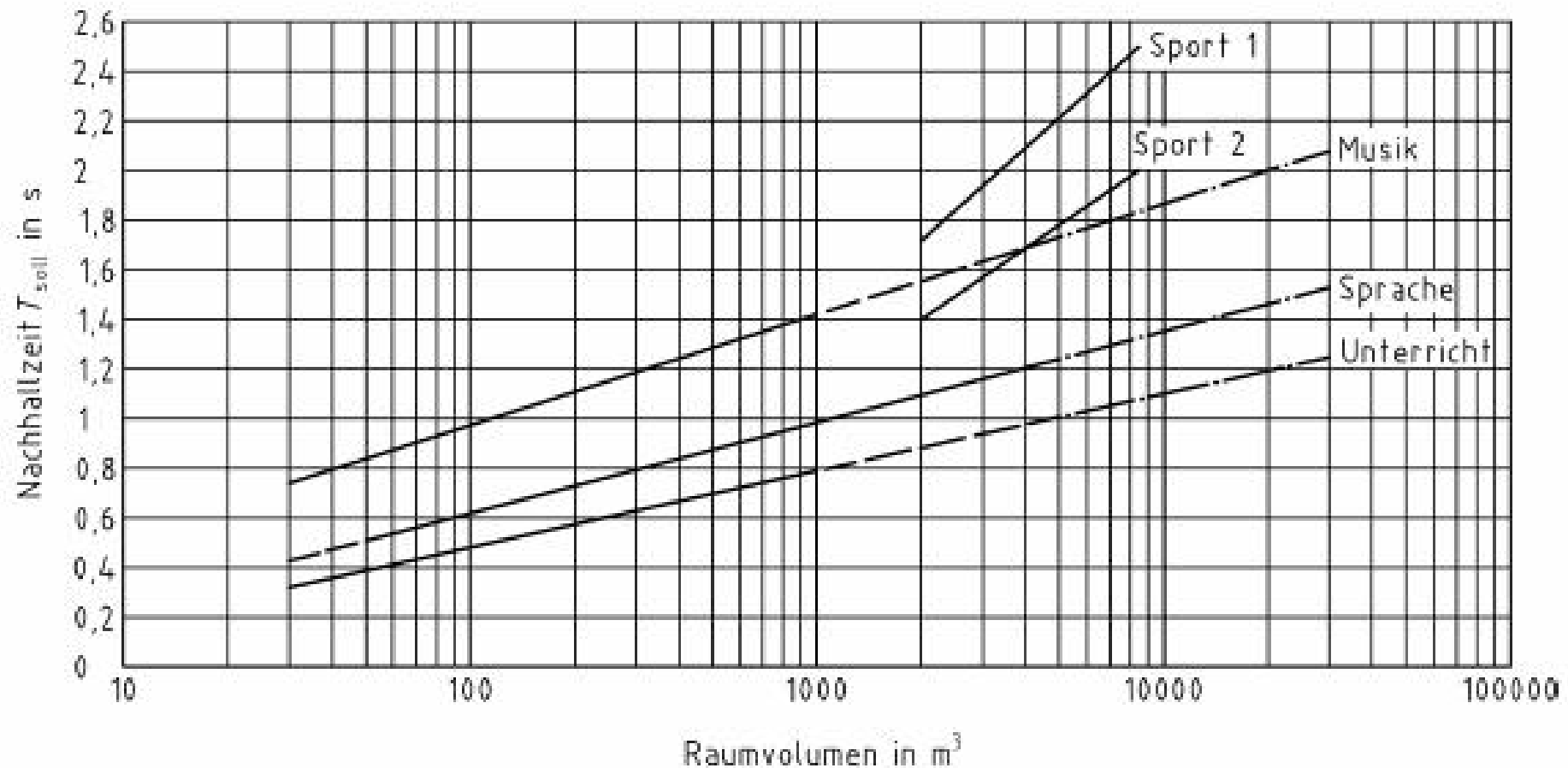


Bild 1 — Sollwert T_{soll} der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten

Optimale Nachhallzeiten

Musik: $T_{\text{soll}} = \left(0,45 \lg \frac{V}{\text{m}^3} + 0,07 \right) \text{ s}$

Sprache: $T_{\text{soll}} = \left(0,37 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,14 \right) \text{ s}$

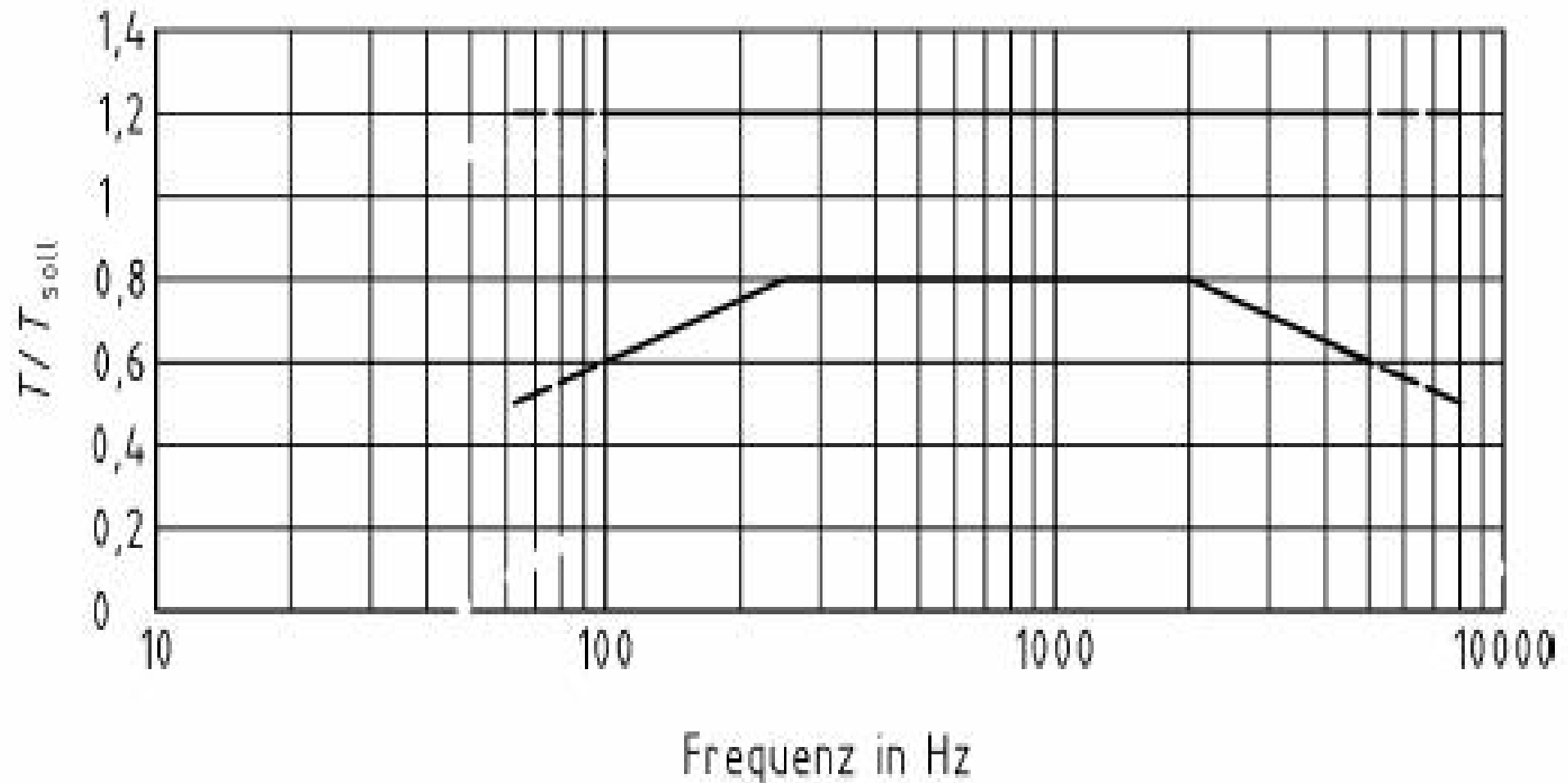
Unterricht: $T_{\text{soll}} = \left(0,32 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17 \right) \text{ s}$

Sport 1: $T_{\text{soll}} = \left(1,27 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 2,49 \right) \text{ s}$

Sport 2: $T_{\text{soll}} = \left(0,95 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 1,74 \right) \text{ s}$

für $2\,000 \text{ m}^3 \leq V \leq 8\,500 \text{ m}^3$.

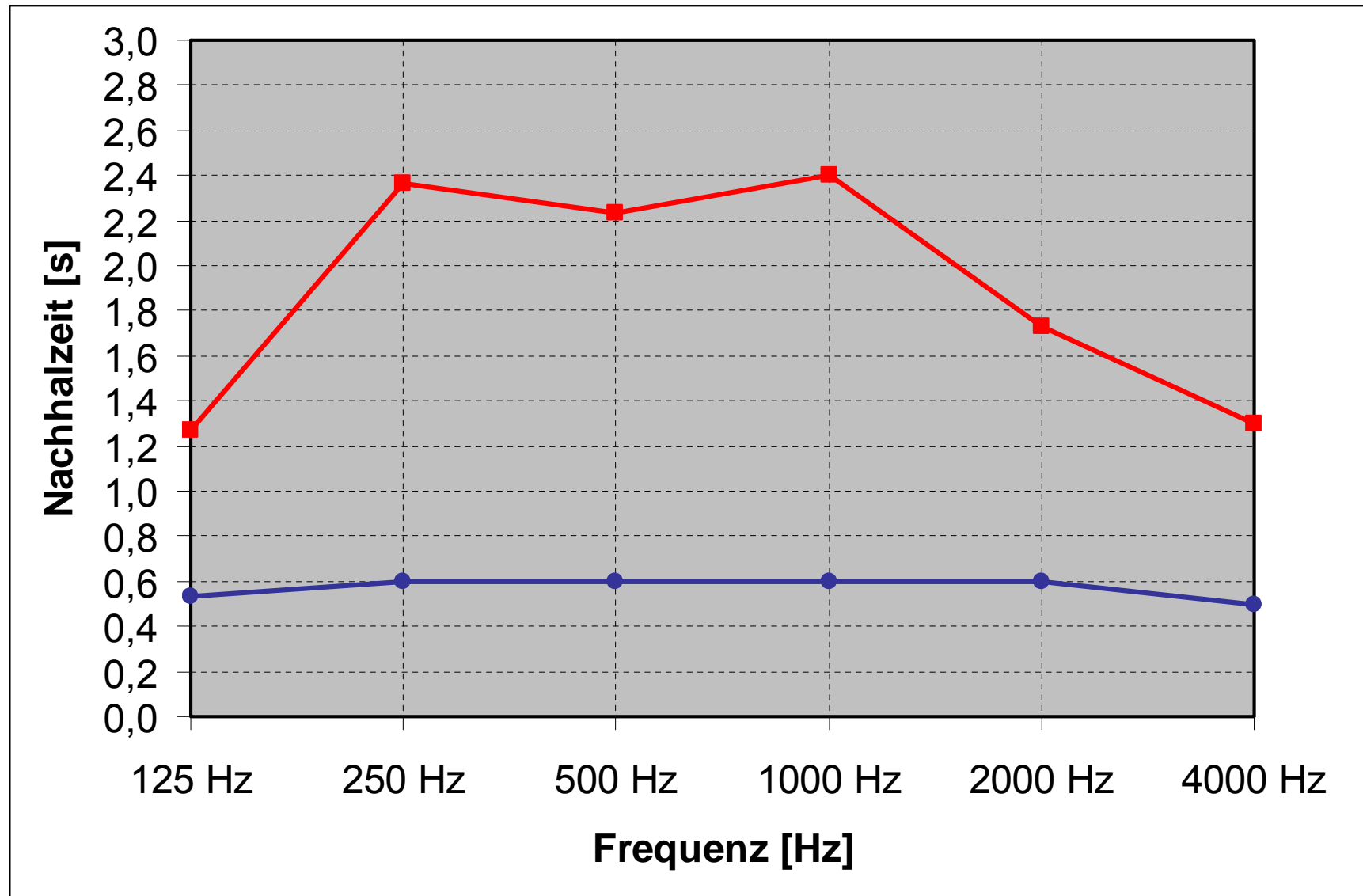
Optimale Nachhallzeiten



Nutzungsart Unterricht

- Unterrichtsraum, außer für Musik
- Musikunterrichtsraum mit audiovisueller Darbietung
 - Gruppenräume in Kindergärten und Kindertagesstätten, Seniorentagesstätten
 - Seminarraum, Interaktionsraum
 - Hörsaal
 - Raum für Teleteaching
 - Tagungsraum, Konferenzraum
- Darbietungsraum, ausschließlich für elektroakustische Nutzung

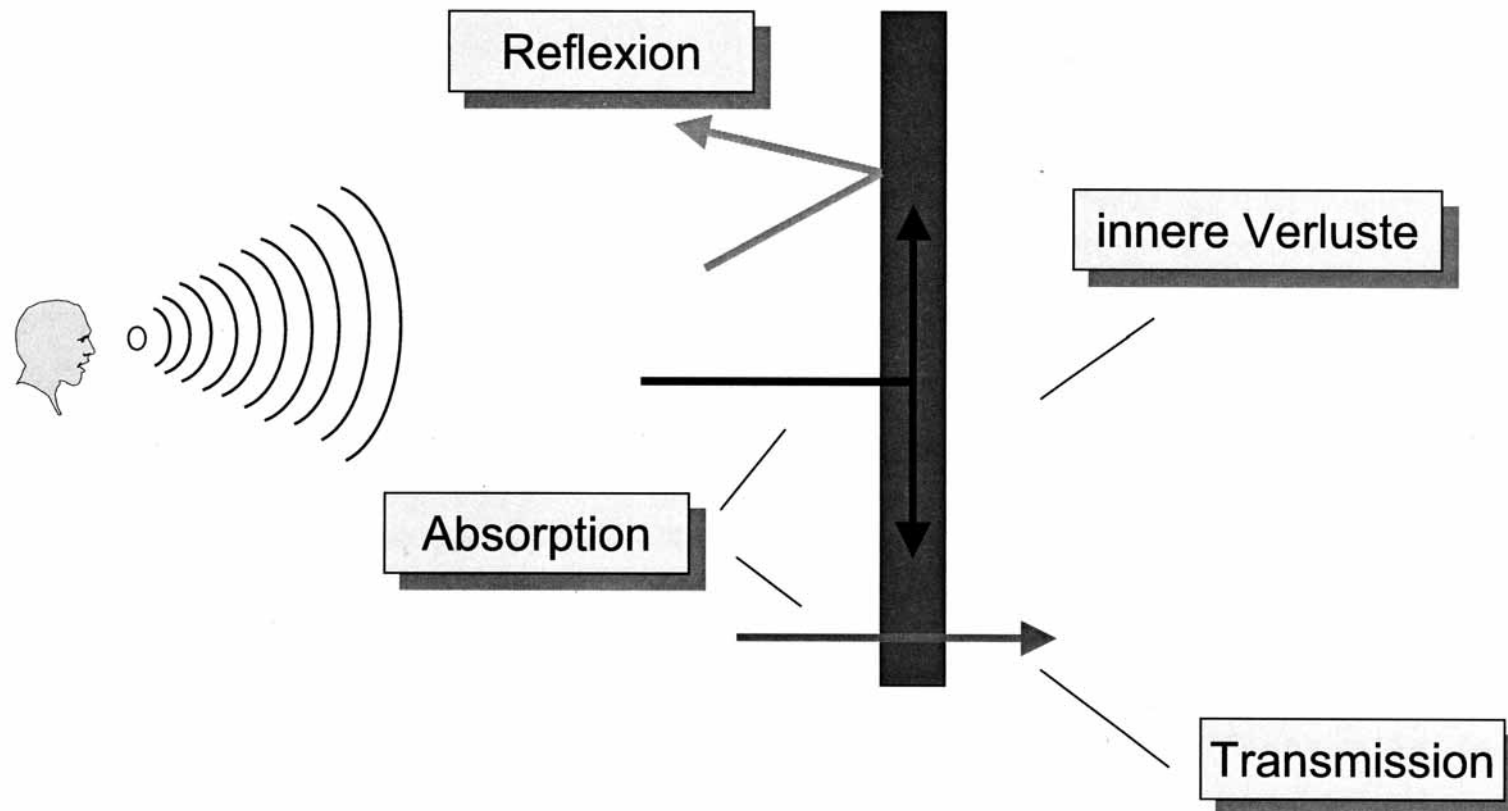
Optimale Nachhallzeiten



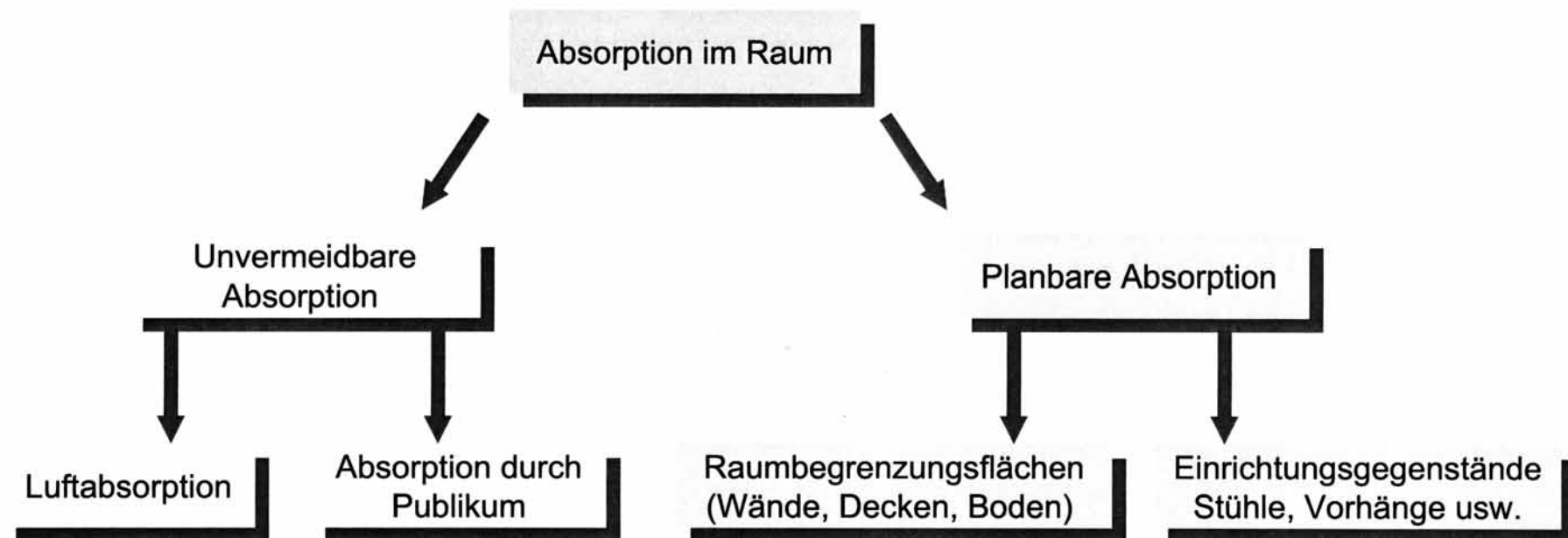
Konstruktionsparameter

- Raumvolumen
 - Raumform
- Anzahl der Sitze und deren Anordnung
- Material der Raumbegrenzungsflächen

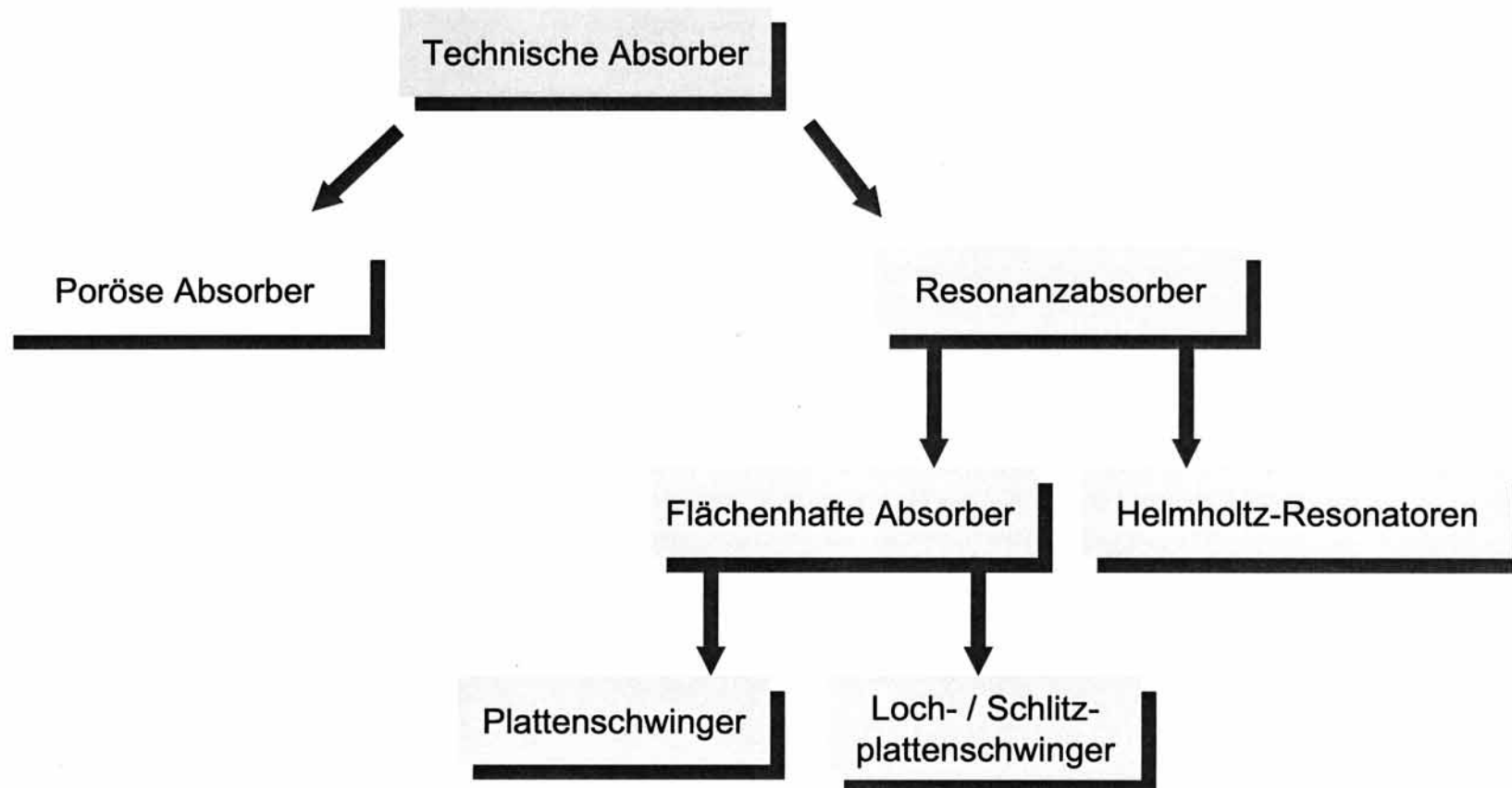
Absorption und Reflexion



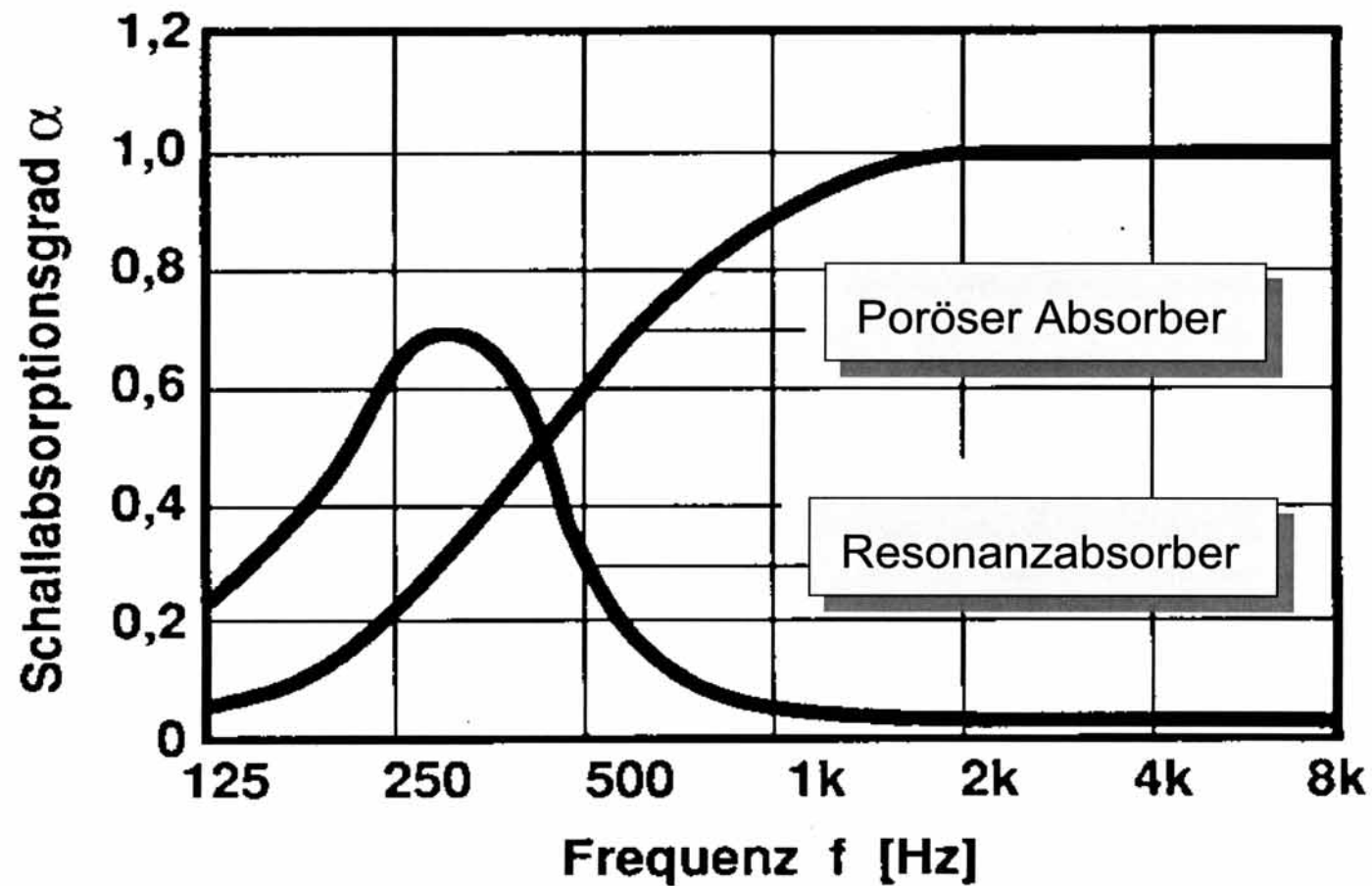
Absorption



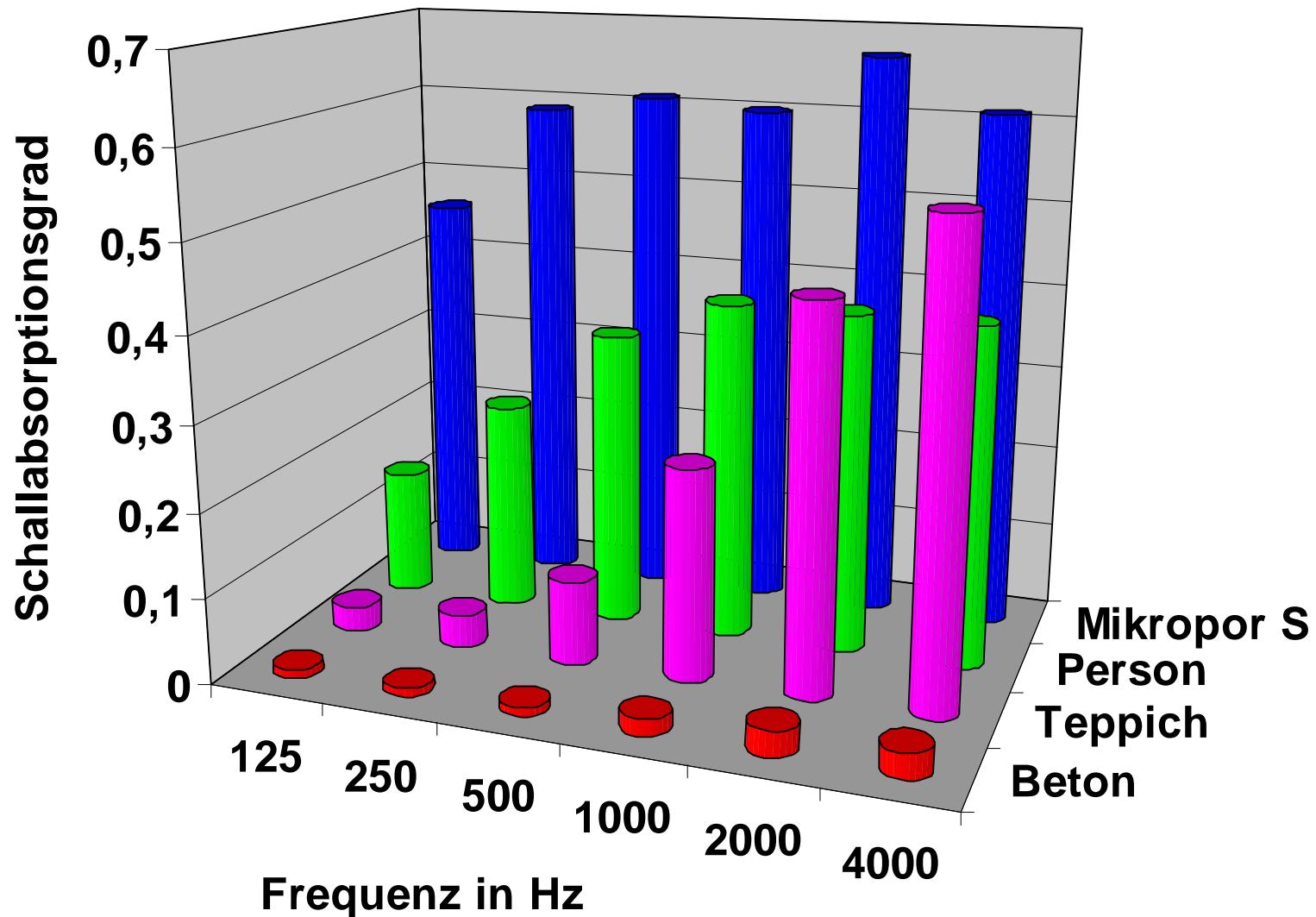
Absorbersysteme



Absorptionsverläufe



Absorptionsgrade



Absorptionsgrade

Spalte Zeile	1	2	3	4	5	6	7
	Material	α_s für die Oktavband-Mittenfrequenz in Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	Mauerziegelwand, unverputzt, Fugen aus- gestrichen	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06
2	Mauerwerk aus Hohllochziegeln, Löcher sichtbar, 6 cm vor Massivwand, Hohlraum leer	0,11	0,22	0,36	0,32	0,55	0,43
3	Kalkzementputz	0,03	0,03	0,02	0,04	0,05	0,05
4	Glattputz	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
5	Tapete auf Kalkzementputz	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08
6	Spiegel, vor der Wand	0,12	0,10	0,05	0,04	0,02	0,02
7	Tür, Holz, lackiert	0,10	0,08	0,06	0,05	0,05	0,05
8	Stuckgips, unverputzter Beton	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
9	Marmor, Fliesen, Klinker	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
10	Fenster (Isolierverglasung, Kasten- und Verbundfenster)	0,28	0,20	0,10	0,06	0,03	0,02

Absorptionsgrade

11	Parkettfußboden, aufgeklebt	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
12	Parkettfußboden, auf Blindboden	0,20	0,15	0,10	0,10	0,05	0,10
13	Parkettfußboden, hohlliegend	0,15	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
14	Teppichboden, bis 6 mm Florhöhe	0,02	0,04	0,06	0,20	0,30	0,35
15	Teppichboden, 7 mm bis 10 mm Florhöhe	0,04	0,07	0,12	0,30	0,50	0,80
16	Bühnenöffnung mit Dekoration	0,40	0,40	0,60	0,70	0,80	0,80
17	PVC-Fußbodenbelag (2,5 mm dick) auf Betonboden	0,01	0,02	0,01	0,03	0,05	0,05
18	Linoleum auf Beton	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
19	Gipskartonplatten 9,5 mm dick, 60 mm Wandabstand, Hohlraum kassettiert	0,31	0,08	0,04	0,07	0,09	0,08
20	Furnierte Holz- oder Spanplatte dicht vor festem Untergrund	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
21	4 mm Hartfaserplatte, kassettiert ohne Dämmstoff, Wandabstand 60 mm	0,22	0,19	0,14	0,07	0,05	0,05
22	4 mm Hartfaserplatte, kassettiert mit 40 mm Mineralwolleplatte, Wandabstand 60 mm	0,67	0,21	0,14	0,07	0,06	0,05

Äquivalente Schallabsorptionsflächen

Spalte Zeile	1	2	3	4	5	6	7
	Personen; Gestühl	Äquivalente Schallabsorptionsfläche A in m^2 in den Oktavband-Mittenfrequenzen in Hz					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
1	0,5 m^2 / Person, sitzend auf Holzgestühl	0,12	0,20	0,39	0,49	0,48	0,40
2	1,0 m^2 / Person, sitzend auf Holzgestühl	0,18	0,26	0,55	0,68	0,78	0,78
3	6 m^2 / Person, sitzend	0,12	0,18	0,35	0,56	0,68	0,74
4	6 m^2 / Person, stehend	0,12	0,19	0,42	0,66	0,86	0,94
5	Klappstuhl aus Holz, unbesetzt	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03
6	Einfacher Polsterstuhl mit Textilbezug	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	0,40
7	Einfacher Polsterstuhl mit Lederbezug	0,05	0,15	0,20	0,10	0,03	0,03
8	Gepolsterter Theaterklappstuhl	0,25	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30

Äquivalente Schallabsorptionsflächen

9	Musiker mit Instrument: 1,1 m ² / Person	0,16	0,42	0,87	1,07	1,04	0,94
10	Musiker mit Instrument: 2,3 m ² / Person	0,03	0,13	0,43	0,70	0,86	0,99
11	Chorsänger: ≤ 0,5 m ² / Person	0,15	0,25	0,40	0,50	0,60	0,60
12	Schüler in Unterrichts- räumen an Holztischen: 3 m ² / Person	0,05	0,33	0,43	0,32	0,38	0,37
13	Kinder in Vorschul- einrichtungen, sitzend 2 m ² / Person	—	0,14	0,17	0,20	0,30	0,23

Äquivalente Schallabsorptionsflächen

Die Schallabsorptionsfläche A ist die theoretische Fläche in m^2 mit einem Schallabsorptionsgrad $\alpha = 1$ ($\alpha = 1$ bedeutet vollständige Absorption der auftreffenden Schallwellen, $\alpha = 0$ bedeutet völlige Reflexion), die die gleiche Schallabsorption aufweist, wie die Begrenzungsflächen des Raumes sowie der im Raum befindlichen Gegenstände und Personen. A ist frequenzabhängig und berechnet sich wie folgt:

Äquivalente Schallabsorptionsfläche A

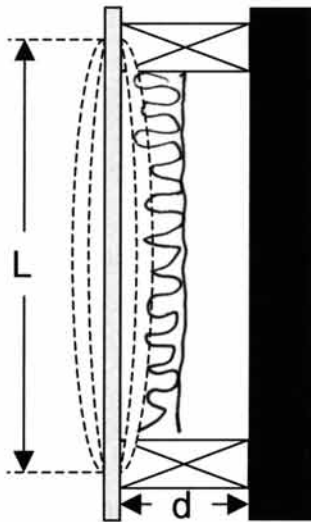
- $A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_i S_i + n_1 A_1 + n_2 A_2 + \dots + n_j A_j \quad [\text{m}^2]$
- α_i = Absorptionsgrad der Teilfläche i
- S_i = Teilfläche i
- n_j = Anzahl der Gegenstände oder Personen
- A_j = Schallabsorptionfläche der Gegenstände oder Personen

Äquivalente Schallabsorptionsfläche A

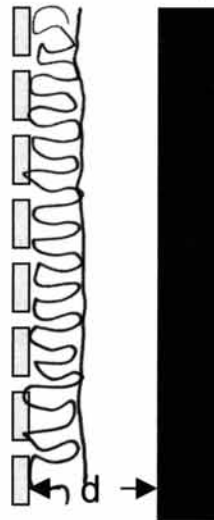
- Um die erforderliche äquivalente Schallabsorptionsfläche für eine Nachhallzeit berechnen zu können, ist die Anwendung der Nachhallformel des amerikanischen Physikers Sabine erforderlich.
- Für A gilt: $A = 0,163 \cdot V/T$
- Hierbei bedeuten:
 - A äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2
 - V Volumen des Raumes in m^3
 - T Nachhallzeit in s

Resonanzabsorber

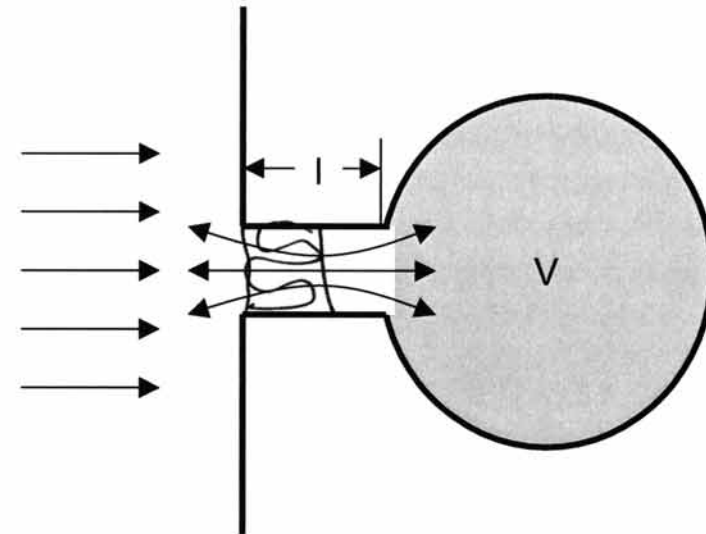
Plattenschwinger



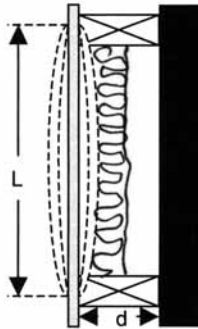
Perforierte Platte
(Loch- / Schlitzabsorber)



Helmholtz Resonator

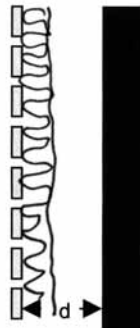


Resonanzabsorber - Funktionsweise



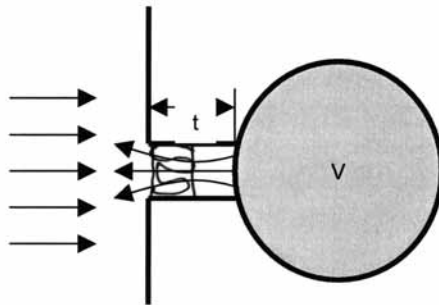
■ Plattenresonator

- Luftschicht hinter Platte wirkt als Feder
- schwingende Platte wirkt als Masse
- eingelegtes Dämmmaterial bewirkt die Resonanzbedämpfung



■ Loch- / Schlitzabsorber

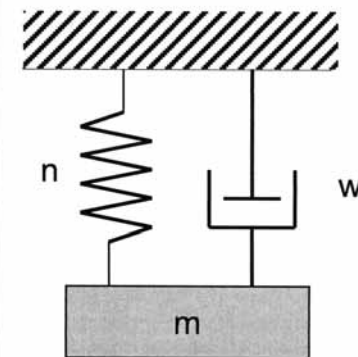
- Luftschicht hinter Platte wirkt als Feder
- Luft in den Öffnungen wirkt als Masse
- eingelegtes Dämmmaterial oder Hinterlegung der Öffnungen mit einem Vlies bewirkt die Resonanzbedämpfung



■ Helmholtz-Resonator

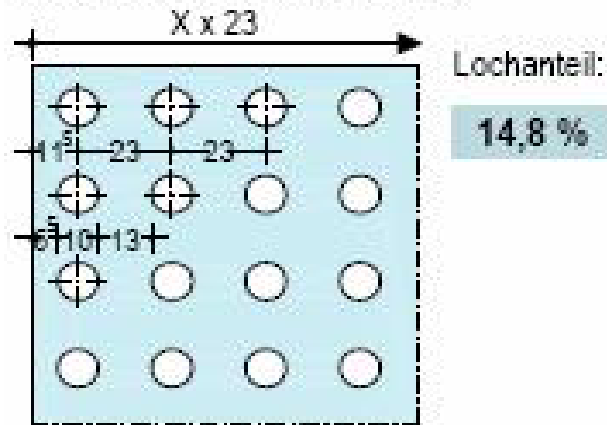
- Luft im Volumen wirkt als Feder
- Luft in der Halsöffnung wirkt als Masse
- Dämmmaterial oder Vlies im Resonator-Halsbereich wirkt als Resonanzdämpfung

Ersatzmodell



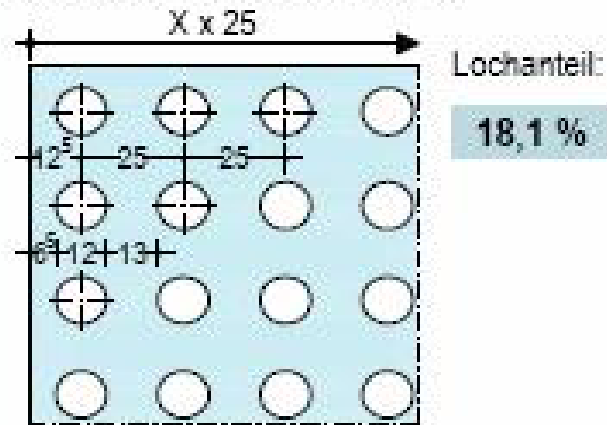
Plattendesign Ausführung A - durchlaufende Lochung

Gerade Rundlochung 10/23 R



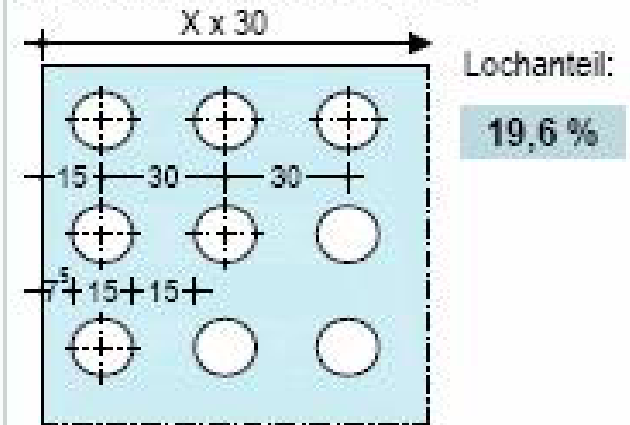
Standardmaße: Breite: 1196 mm
Länge: 2001 mm

Gerade Rundlochung 12/25 R



Standardmaße: Breite: 1200 mm
Länge: 2000 mm

Gerade Rundlochung 15/30 R

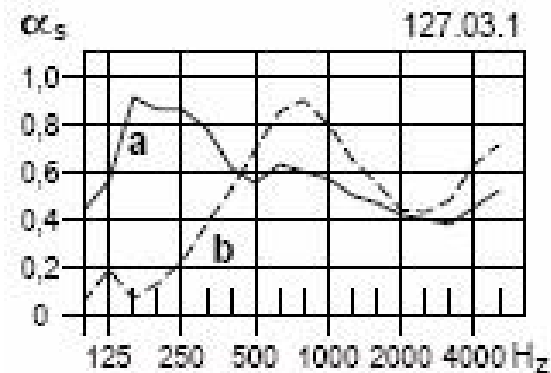


Standardmaße: Breite: 1200 mm
Länge: 1980 mm

Schallabsorptionsgrade

Nachweis: Knauf Prüfbericht Nr. SH 99 118

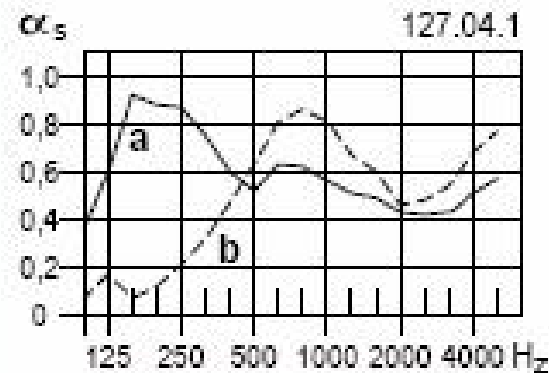
Standardvlies ohne Mineralfaser



α_s	0,56	0,86	0,55	0,57	0,42	0,45	a
α_s	0,19	0,22	0,69	0,80	0,44	0,63	b

a — $\alpha = 0,60$ absorbierend
b - - $\alpha = 0,60$ absorbierend

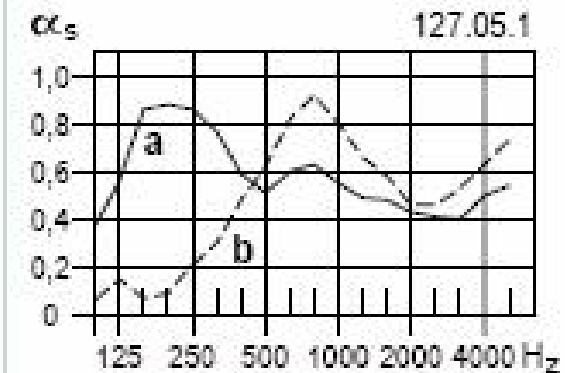
Standardvlies ohne Mineralfaser



α_s	0,60	0,87	0,52	0,56	0,43	0,51	a
α_s	0,17	0,21	0,63	0,81	0,46	0,68	b

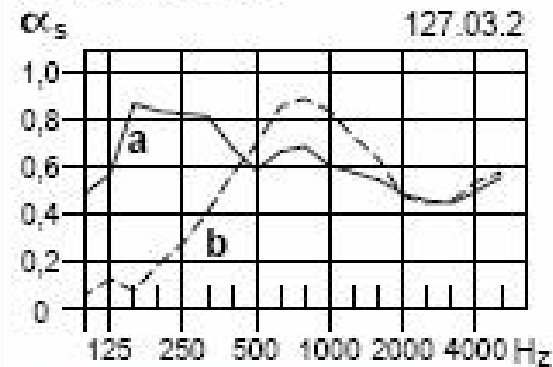
a — $\alpha = 0,60$ absorbierend
b - - $\alpha = 0,58$ absorbierend

Standardvlies ohne Mineralfaser



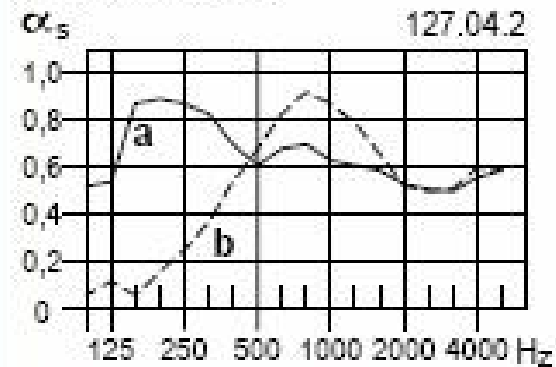
α_s	0,56	0,86	0,51	0,55	0,43	0,50	a
α_s	0,15	0,21	0,62	0,80	0,46	0,63	b

a — $\alpha = 0,59$ absorbierend
b - - $\alpha = 0,59$ absorbierend

**Akustikvlies
ohne Mineralfaser**


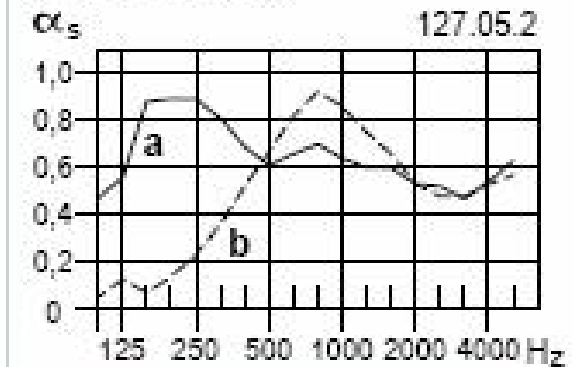
α_s	0,57	0,83	0,59	0,61	0,49	0,50	a
	0,13	0,28	0,70	0,84	0,48	0,54	b

a — $\alpha = 0,65$ absorbierend
b - - - $\alpha = 0,64$ absorbierend

**Akustikvlies
ohne Mineralfaser**


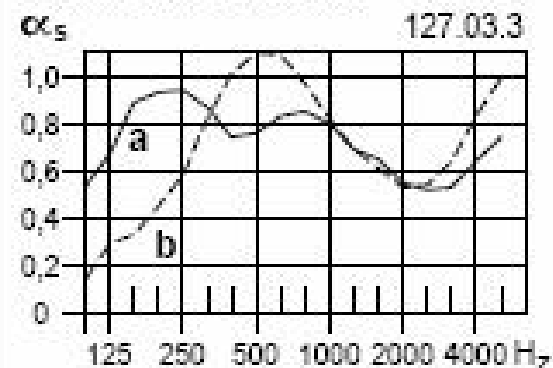
α_s	0,54	0,87	0,61	0,63	0,53	0,56	a
	0,12	0,25	0,68	0,87	0,52	0,60	b

a — $\alpha = 0,68$ absorbierend
b - - - $\alpha = 0,64$ absorbierend

**Akustikvlies
ohne Mineralfaser**


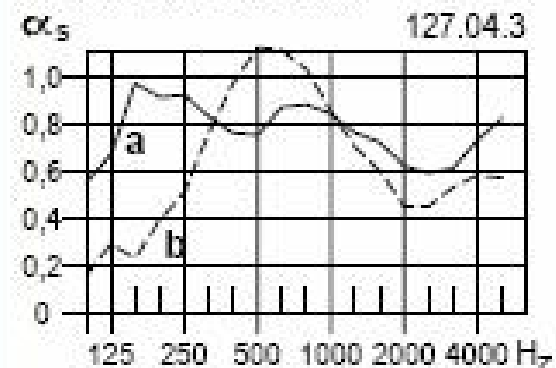
α_s	0,56	0,89	0,61	0,64	0,53	0,54	a
	0,13	0,23	0,67	0,86	0,53	0,53	b

a — $\alpha = 0,67$ absorbierend
b - - - $\alpha = 0,63$ absorbierend

**Standardvlies
mit Mineralfaser 20 mm**


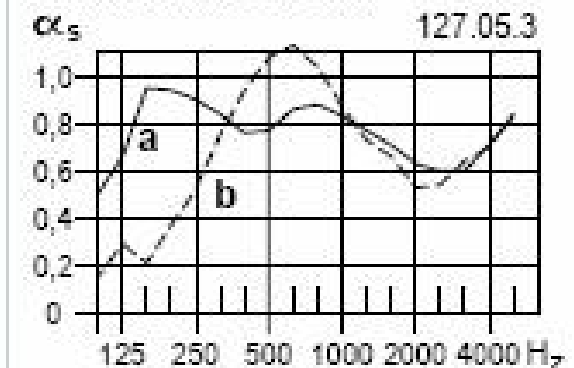
α_s	0,67	0,94	0,76	0,80	0,55	0,64	a
	0,29	0,58	1,10	0,82	0,53	0,83	b

a — $\alpha = 0,77$ hochabsorbierend
b - - - $\alpha = 0,82$ hochabsorbierend

**Standardvlies
mit Mineralfaser 20 mm**


α_s	0,67	0,92	0,75	0,84	0,62	0,73	a
	0,29	0,51	1,12	0,85	0,45	0,58	b

a — $\alpha = 0,80$ hochabsorbierend
b - - - $\alpha = 0,81$ hochabsorbierend

**Standardvlies
mit Mineralfaser 20 mm**


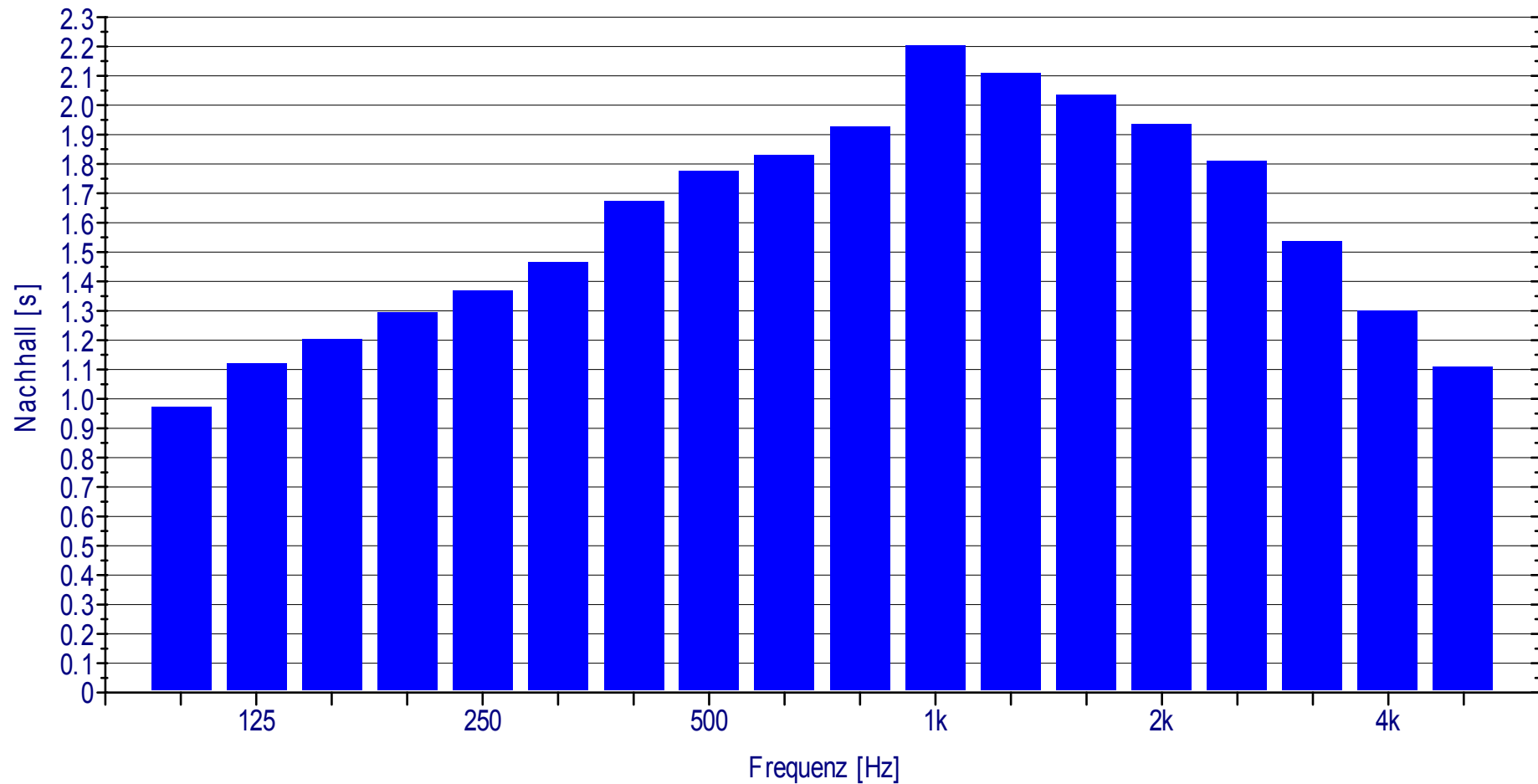
α_s	0,66	0,90	0,77	0,83	0,63	0,71	a
	0,29	0,52	1,08	0,87	0,53	0,70	b

a — $\alpha = 0,80$ hochabsorbierend
b - - - $\alpha = 0,83$ hochabsorbierend



Nachhallzeit

Mittelwert Nachhall



Absorptionsgrade – Woher?

- PTB Projekt „Raumakustische Simulation“
 - größte verfügbare Absorptionsdatenbank
 - über 1600 Datensätze
 - Vereinheitlichung verwendeter Absorptionsgrade
 - <http://www.ptb.de/de/org/1/14/1401/datenbank.htm>

- Angaben des Herstellers
 - Qualität der Angaben und Daten prüfen
 - Bezeichnungen und Beschreibungen
 - Verweisung auf Normen
 - Prüfzeugnisse, wenn ja – woher?

Ausschreibung - Absorptionsgrade

■ Vollständige Angaben

- für jede Oktave den Soll-Absorptionsgrad mit zulässiger Toleranz angeben
- sofern nur Absorberklasse ausreicht, diese nach DIN EN ISO 11654 angeben
- Angaben zur Herkunft der Daten
- evtl. Prüfzeugnis fordern

■ Häufige Fehler

- es wird nur α_w oder die Schallabsorberklasse angegeben
- Herkunft bzw. Messmethode zur Erlangung der Daten wird nicht geprüft
- die Verantwortung für die Einhaltung der α_S - Werte seitens des Lieferanten wird nicht eingefordert

Ausschreibung - Konstruktion

- **Vollständige Angaben z.B. Plattenschwinger**
 - flächenbezogene Masse der Platte
 - maximale Dicke der Platte
 - evtl. Werkstoff der Platte
 - Mindestabstand der Befestigungspunkte
 - genaue Angabe der Hohlraumtiefe
 - genaue Beschreibung des Dämmmaterials
 - Strömungswiderstand / Dichte
 - Dicke
 - Ort der Anbringung
 - evtl. dichte Versiegelung der Stossstellen und der Randanschlüsse

Ausschreibung - Konstruktion

■ Häufige Fehler

- entscheidende akustische Konstruktionsdetails werden nicht angegeben
- liefert der Hersteller abweichende Varianten von der ausgeschriebenen Konstruktion wird die akustische Veränderung oft nicht nachgerechnet bzw. überprüft
- es wird nicht berücksichtigt, dass bei Ausschreibung der reinen Konstruktion der Planer die Verantwortung für die Einhaltung von α_S hat!!

Ausschreibung „ α und Konstruktion“

■ Vollständige Angaben

- für jede Oktave den Soll-Absorptionsgrad mit zulässiger Toleranz angeben
- sofern Absorberklasse ausreicht, diese nach DIN EN ISO 11654 angeben
- Angaben zur Herkunft der Daten
- evtl. Prüfzeugnis fordern

■ Grobe bzw. einschränkende Konstruktionsvorgaben

- max. Hohlraumtiefe
- Ansicht (Lochmuster, Schlitzmuster)
- verwendete Materialien (Holz, Metall)
-

■ Häufige Fehler

- Weder bei der Angabe des Absorptionsgrades noch bei den Konstruktionsvorgaben wird der Absorber hinreichend beschrieben
- Die Verantwortung des Herstellers bzw. Lieferanten für α_S wird nicht eingefordert

Planungsprozess - 1

- Klärung aller Randbedingungen mit dem Architekten – welche grundsätzlichen akustischen Maßnahmen sind denkbar?
- Volumenkenzahl bzw. Sollabsorption prüfen
- Erforderliche Absorption für ausgeglichene Nachhallkurve bestimmen
- Absorberart und Absorberverteilung festlegen
- Direktschallkriterien prüfen – Raumform, Anzahl und Anordnung der Sitze

Planungsprozess - 2

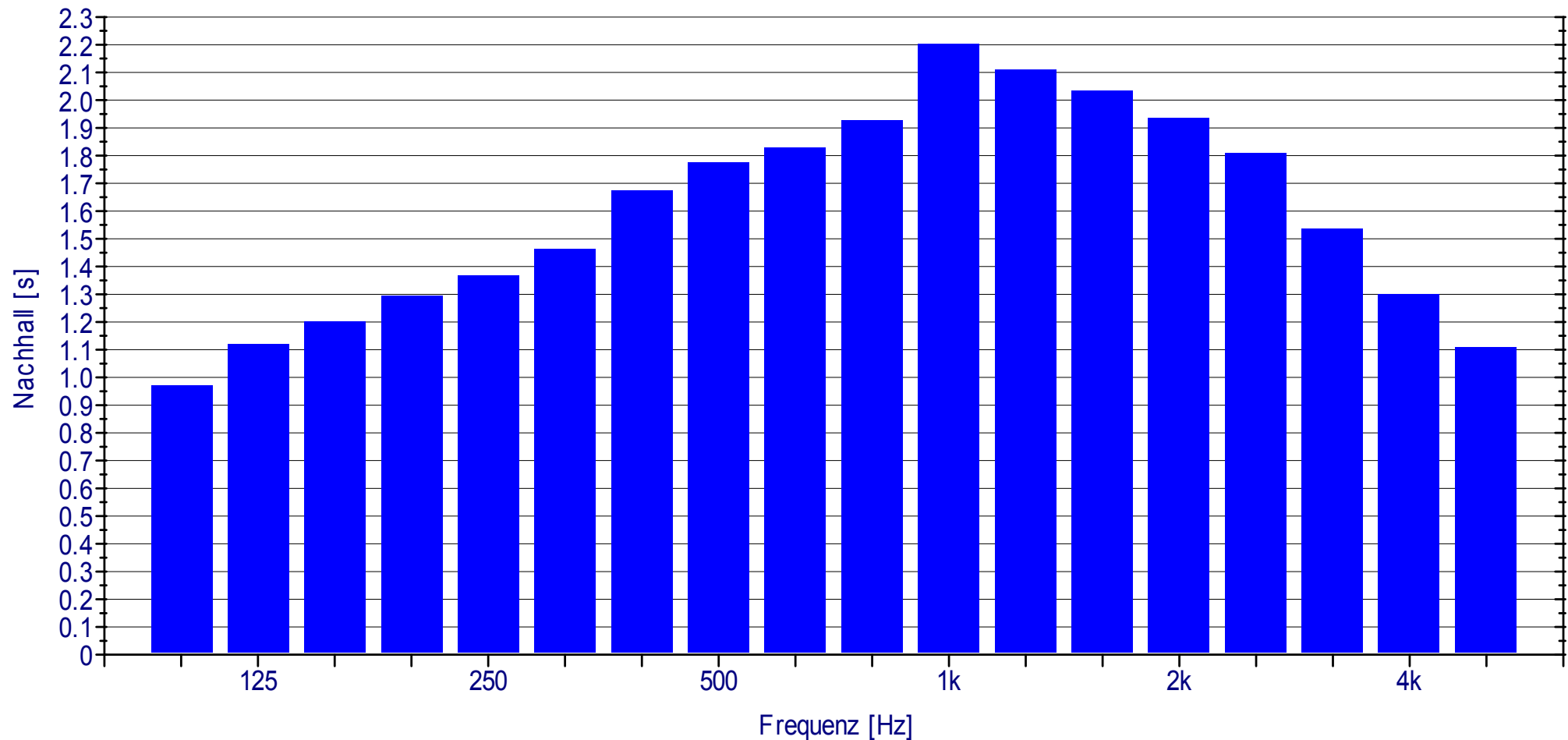
- Alle Möglichkeiten für frühe Reflexionen ausnutzen – Deckensegel, Variation der Neigung von Teilflächen etc.
- Echogefährdung prüfen
- Mit dem Architekten alle kritischen Punkte besprechen

Sanierung bestehender Gebäude

- Messung der Nachhallzeiten
- Raumakustische Bestandsaufnahme an Hand der vorliegenden Unterlagen und Messergebnisse
 - Ermittlung möglicher Ursachen der raumakustischen Schwachpunkte
 - Maßnahmen zur Verbesserung der raumakustischen Bedingungen

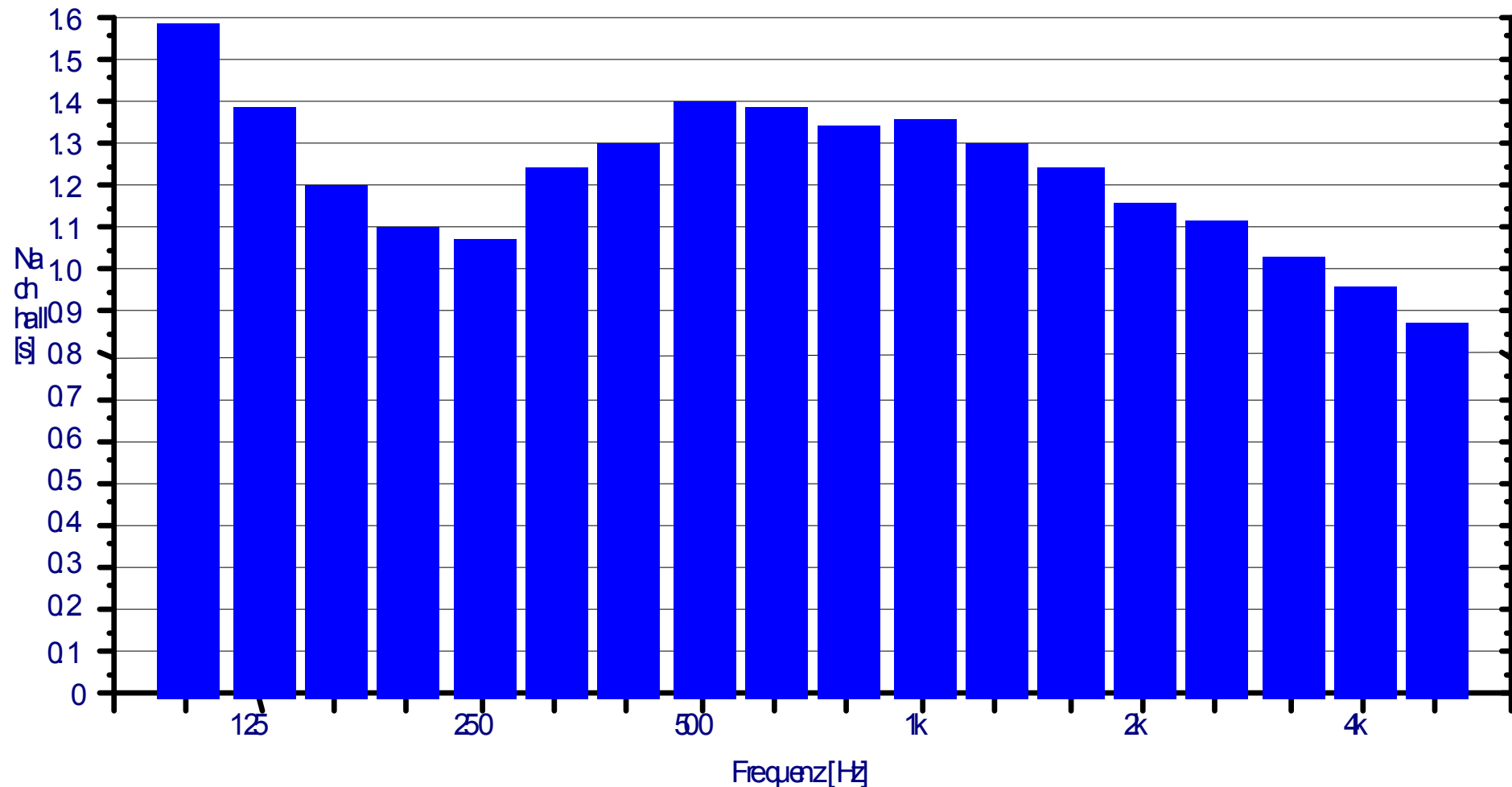
Sanierung - Alsfeld

Mittelwert Nachhall



Sanierung – Gießen vor Sanierung

Mittelwert Bezugs-Nachhall



Frequenz [Hz]	Nacharbeit [T]	Nacharbeit [T]
100	1,59	0,95
125	1,39	0,79
160	1,20	0,68
200	1,10	0,52
250	1,07	0,46
315	1,25	0,50
400	1,30	0,47
500	1,40	0,44
630	1,38	0,41
800	1,34	0,42
1000	1,35	0,41
1250	1,30	0,39
1600	1,24	0,39
2000	1,16	0,37
2500	1,12	0,34
3150	1,04	0,46
4000	0,97	0,44
5000	0,88	0,40

11