

Κύκλος διαλέξεων ακουστικής

25.01.2010

Ακουστική σχολικών αιθουσών

Ηχομόνωση από εξωτερικούς θορύβους

Ηχομόνωση μεταξύ χώρων – αερόφερτη, κτυπογενής

Ακουστική χώρου



Προδιαγραφές

Ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός, άρθρο 12 - Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας

Κατηγορία Α “υψηλή ακουστική άνεση”

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης από χώρο κοιν. χρήσης		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμέρισμα) από άλλο χώρο κύριας χρήσης		Ηχομόνωση από εξωτερικούς θορύβους	Ηχομόνωση από θορύβους εγκαταστάσεων	Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας	Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων	
	(1) R'_{w} [dB]	(2) $L'_{n,w}$ [dB]	(3) R'_{w} [dB]	(4) $L'_{n,w}$ [dB]	(5) $L_{A,eq,h}$ [dB(A)]	(6) $L_{p,A}$ [dB(A)]	(7) R'_{w} [dB]	(8) R'_{w} [dB]	(9) $L'_{n,w}$ [dB]
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	57	58	58	52	30	25	---	60	45

Ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός, άρθρο 12 - Κριτήρια ηχομόνωσης - ηχοπροστασίας

Κατηγορία Β “κανονική ακουστική άνεση”

Είδος κτιρίου	Ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητικής χρήσης από χώρο κοιν. χρήσης		Ηχομόνωση κατοικίας (διαμέρισμα) από άλλο χώρο κύριας χρήσης		Ηχομόνωση από εξωτερικούς θορύβους	Ηχομόνωση από θορύβους εγκαταστάσεων	Ηχομόνωση ανάμεσα στους χώρους της ίδιας κατοικίας	Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων	
	(1) R'_{w} [dB]	(2) $L'_{n,w}$ [dB]	(3) R'_{w} [dB]	(4) $L'_{n,w}$ [dB]	(5) $L_{A,eq,h}$ [dB(A)]	(6) $L_{p,A}$ [dB(A)]	(7) R'_{w} [dB]	(8) R'_{w} [dB]	(9) $L'_{n,w}$ [dB]
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ	50	65	55	55	35	30	---	55	50

Δεν υπάρχουν προδιαγραφές για την Ακουστική Χώρου

Building Bulletin 93

ACOUSTIC DESIGN OF SCHOOLS

A DESIGN GUIDE



department for
education and skills
creating opportunity, releasing potential, achieving excellence

Specification of acoustic performance

Noise control

Sound insulation

The design of rooms for speech

The design of rooms for music

Acoustic design and equipment for pupils with
special hearing requirements

Προσοχή

erforderliche Schalldämmung [dB] bei einem Grundgeräusch [dB(A)] von	erforderliches R'_w				erforderliches $L'_{n,w}$			
	für laute Sprache		laute Musik		Gehen		Stühle- rücken	
	20	30	20	30	20	30	20	30
nicht zu hören	67	57	72	62	33	43	28	38
zu hören, aber nicht zu verstehen	57	47	63	53	43	53	38	48
gut zu hören und zu verstehen	53	43	57	47	53	63	48	58
laut wahrnehmbar und gut zu verstehen	42	32	47	37	63	73	58	48

Type of room	Room classification for the purpose of airborne sound insulation in Table 1.2		Upper limit for the indoor ambient noise level $L_{Aeq,30min}$ (dB)
	Activity noise (Source room)	Noise tolerance (Receiving room)	
Nursery school playrooms	High	Low	35 ¹
Nursery school quiet rooms	Low	Low	35 ¹
Primary school: classrooms, class bases, general teaching areas, small group rooms	Average	Low	35 ¹
Secondary school: classrooms, general teaching areas, seminar rooms, tutorial rooms, language laboratories	Average	Low	35 ¹
<i>Open-plan</i> ²			
Teaching areas	Average	Medium	40 ¹
Resource areas	Average	Medium	40 ¹
<i>Music</i>			
Music classroom	Very high	Low	35 ¹
Small practice/group room	Very high	Low	35 ¹
Ensemble room	Very high	Very low	30 ¹
Performance/recital room	Very high	Very low	30 ¹
Recording studio ³	Very high	Very low	30 ¹
Control room for recording	High	Low	35 ¹
<i>Lecture rooms</i>			
Small (fewer than 50 people)	Average	Low	35 ¹
Large (more than 50 people)	Average	Very low	30 ¹
Classrooms designed specifically for use by hearing impaired students (including speech therapy rooms)	Average	Very low	30 ¹

Study room (individual study, withdrawal, remedial work, teacher preparation)	Low	Low	35 ¹
<i>Libraries</i>			
Quiet study areas	Low	Low	35 ¹
Resource areas	Average	Medium	40
Science laboratories	Average	Medium	40
Drama studios	High	Very low	30 ¹
Design and Technology			
• Resistant materials, CAD/CAM areas	High	High	40
• Electronics/control, textiles, food, graphics, design/resource areas	Average	Medium	40
Art rooms	Average	Medium	40
Assembly halls ⁴ , multi-purpose halls ⁴ (drama, PE, audio/visual presentations, assembly, occasional music)	High	Low	35 ¹
Audio-visual, video conference rooms	Average	Low	35 ¹
Atria, circulation spaces used by students	Average	Medium	45
Indoor sports hall	High	Medium	40
Dance studio	High	Medium	40
Gymnasium	High	Medium	40
Swimming pool	High	High	50
Interviewing/counselling rooms, medical rooms	Low	Low	35 ¹
Dining rooms	High	High	45
<i>Ancillary spaces</i>			
Kitchens*	High	High	50
Offices*, staff rooms*	Average	Medium	40
Corridors*, stairwells*	Average - High	High	45
Coats and changing areas*	High	High	45
Toilets*	Average	High	50

Minimum $D_{nT} (T_{mf,max}),w$ (dB)		Activity noise in source room (see Table 1.1)			
		Low	Average	High	Very high
Noise tolerance in receiving room (see Table 1.1)	High	30	35	45	55
	Medium	35	40	50	55
	Low	40	45	55	55
	Very low	45	50	55	60

Type of room	T_{mf}^1 (seconds)
Nursery school playrooms	<0.6
Nursery school quiet rooms	<0.6
Primary school: classrooms, class bases, general teaching areas, small group rooms	<0.6
Secondary school: classrooms, general teaching areas, seminar rooms, tutorial rooms, language laboratories	<0.8
<i>Open-plan</i>	
Teaching areas	<0.8
Resource areas	<1.0
<i>Music</i>	
Music classroom	<1.0
Small practice/group room	<0.8
Ensemble room	0.6 - 1.2
Performance/recital room ³	1.0 - 1.5
Recording studio	0.6 - 1.2
Control room for recording	<0.5
<i>Lecture rooms³</i>	
Small (fewer than 50 people)	<0.8
Large (more than 50 people)	<1.0
Classrooms designed specifically for use by hearing impaired students (including speech therapy rooms)	<0.4

Study room (individual study, withdrawal, remedial work, teacher preparation)	<0.8
Libraries	<1.0
Science laboratories	<0.8
Drama studios	<1.0
Design and Technology • Resistant materials, CAD/CAM areas • Electronics/control, textiles, food, graphics, design/resource areas	<0.8 <0.8
Art rooms	<0.8
Assembly halls, multi-purpose halls (drama, PE, audio/visual presentations, assembly, occasional music) ^{2,3}	0.8 - 1.2
Audio-visual, video conference rooms	<0.8
Atria, circulation spaces used by students	<1.5
Indoor sports hall	<1.5
Gymnasium	<1.5
Dance studio	<1.2
Swimming pool	<2.0
Interviewing/counselling rooms, medical rooms	<0.8
Dining rooms	<1.0
<i>Ancillary spaces</i>	
Kitchens*	<1.5
Offices*, staff rooms*	<1.0
Corridors, stairwells	See Section 1.1.6
Coats and changing areas*	<1.5
Toilets*	<1.5

DIN 18041, 2004

Acoustical quality in small to medium-sized rooms

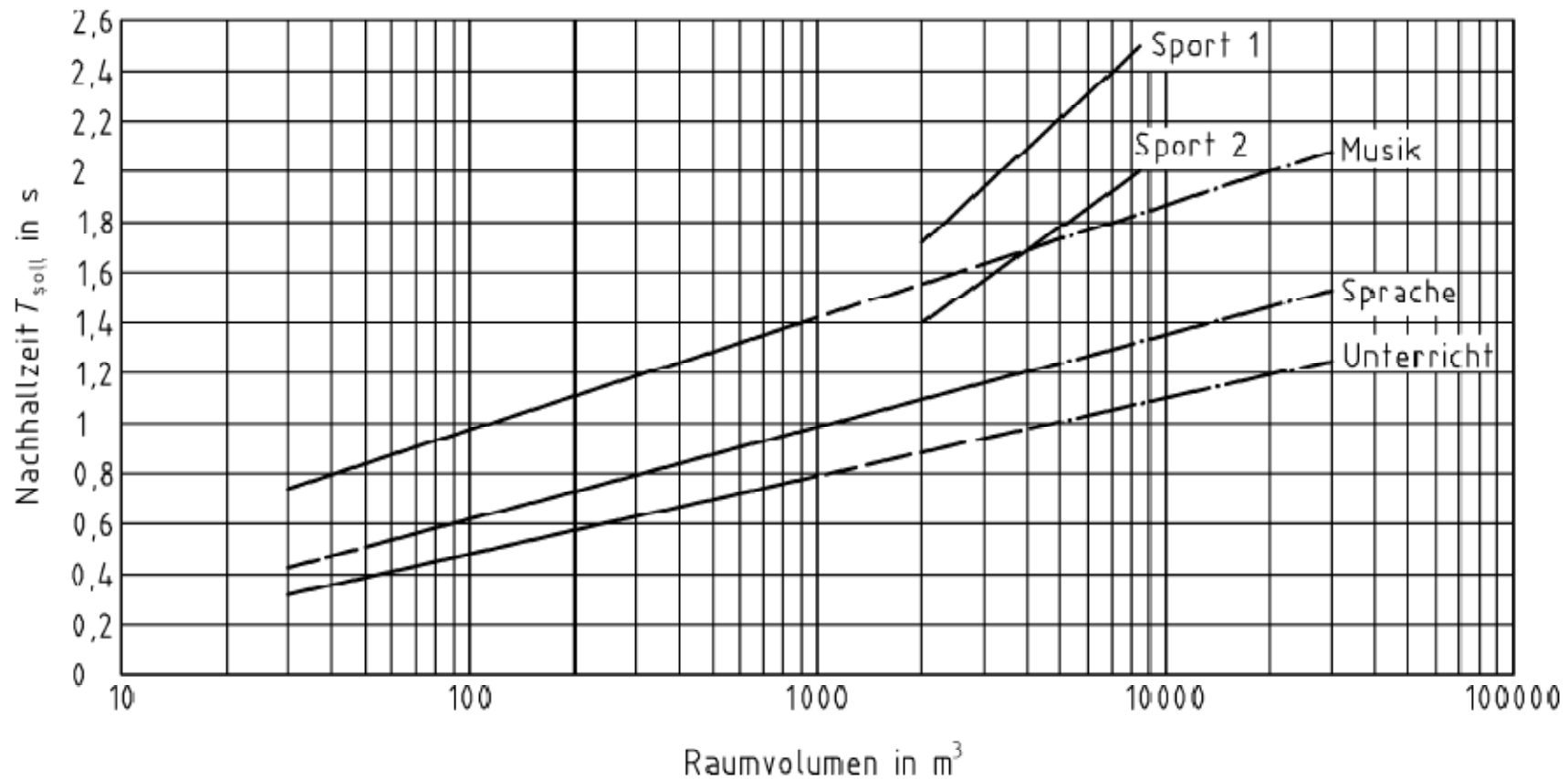


Bild 1 — Sollwert T_{soll} der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten

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

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

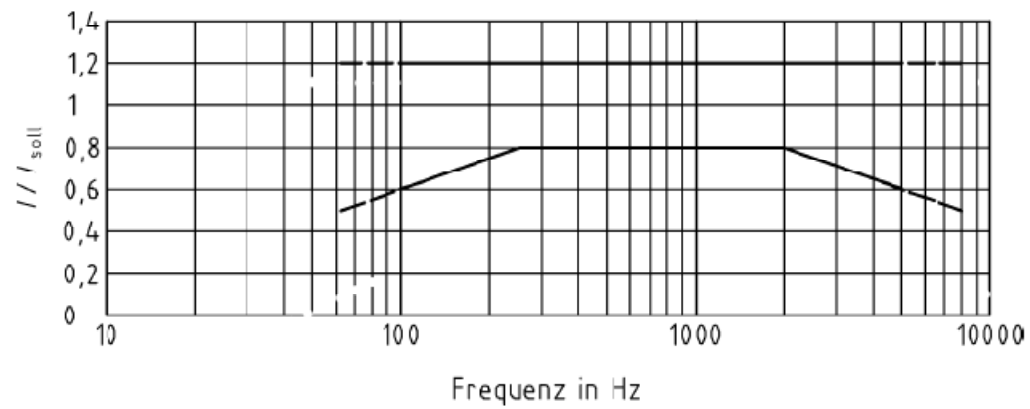
Unterricht: $T_{\text{soll}} = \left(0,32 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17 \right) \text{s}$

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

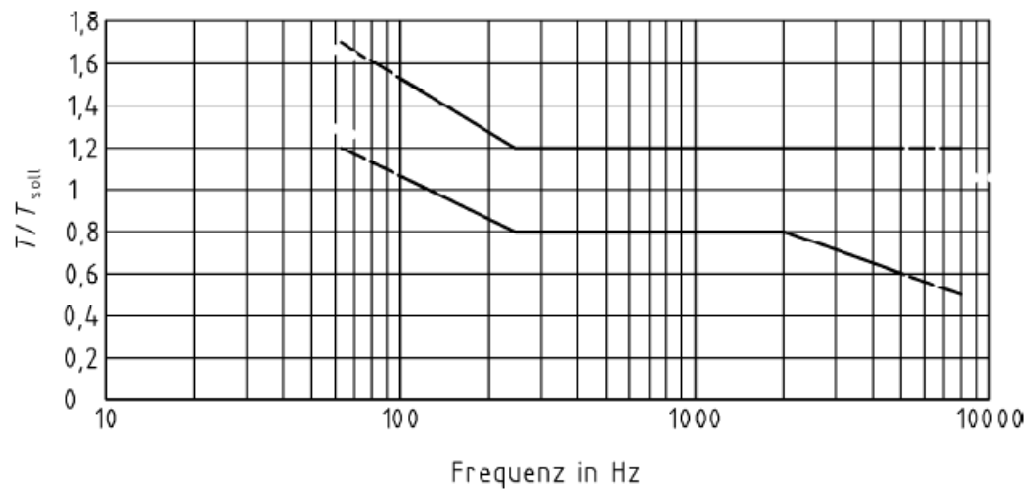
Sport 2: $T_{\text{soll}} = \left(0,95 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 1,74 \right) \text{s}$

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

Ομιλία



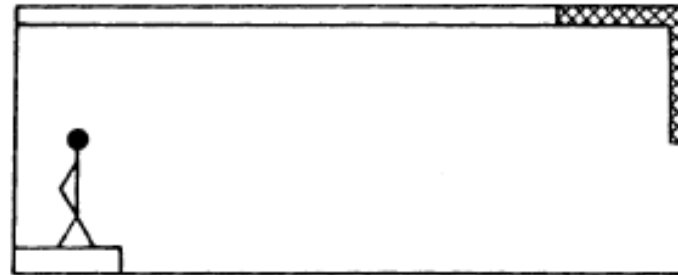
Μουσική





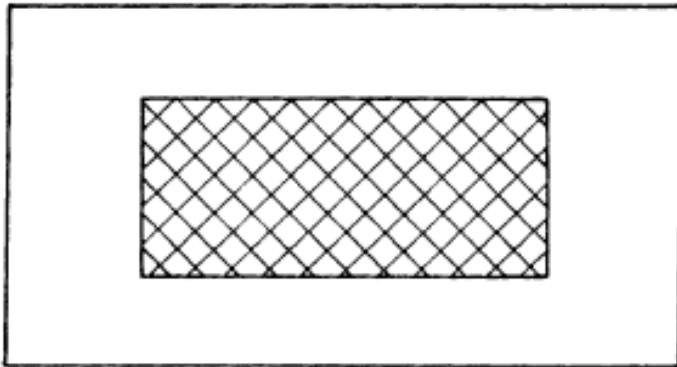
a

ungünstig

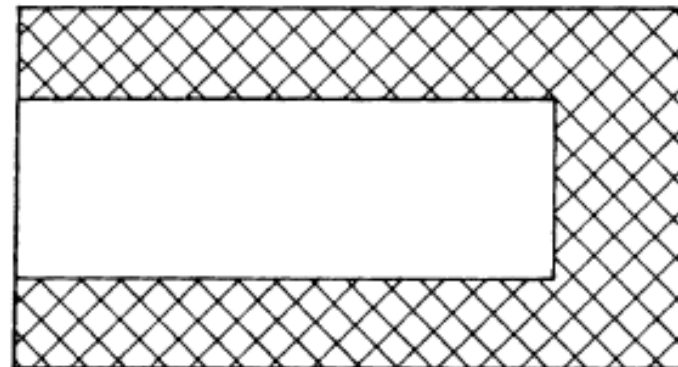


b

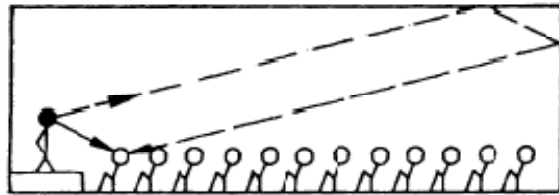
günstig



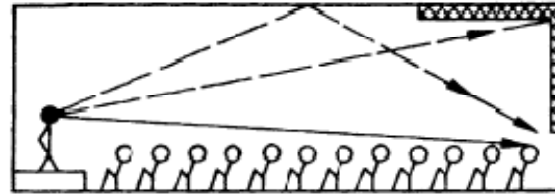
a



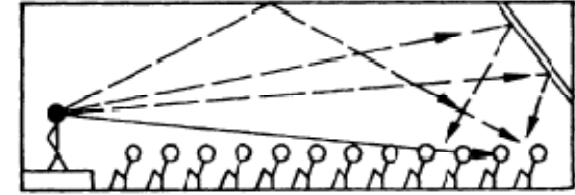
b



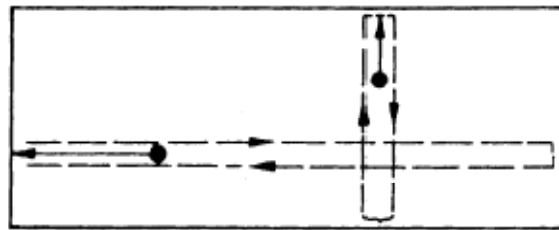
a ungünstig



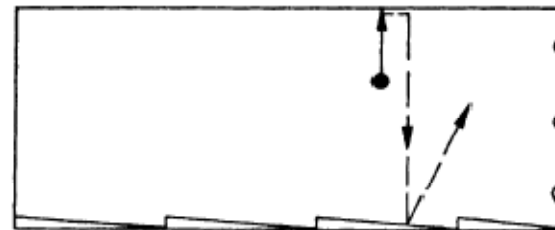
b günstig



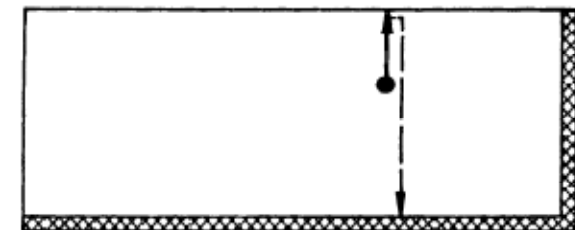
c günstig



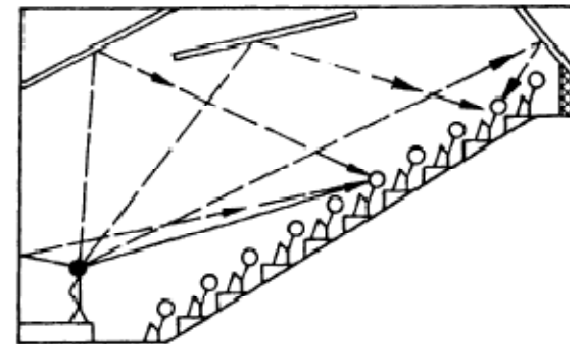
a ungünstig



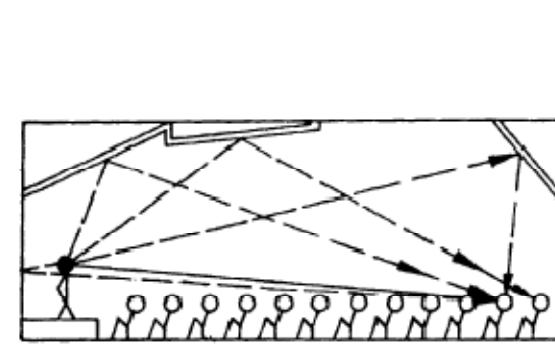
b günstig



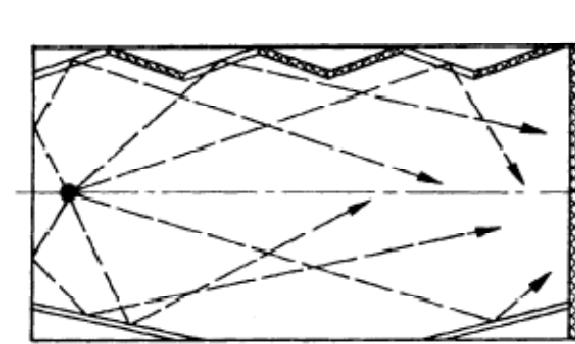
c günstig



a



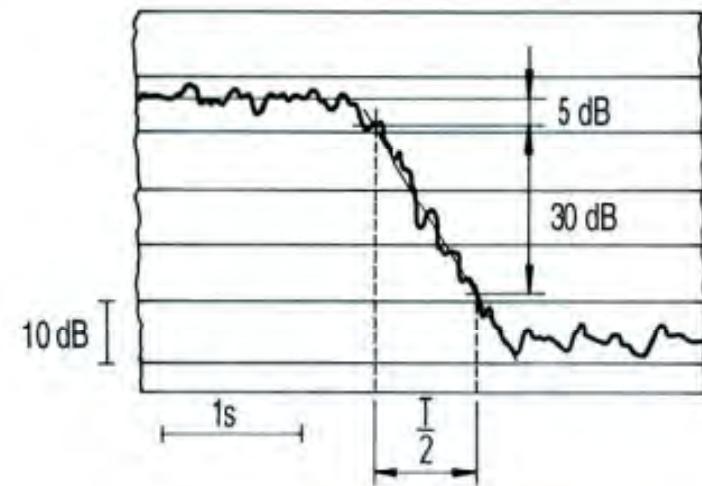
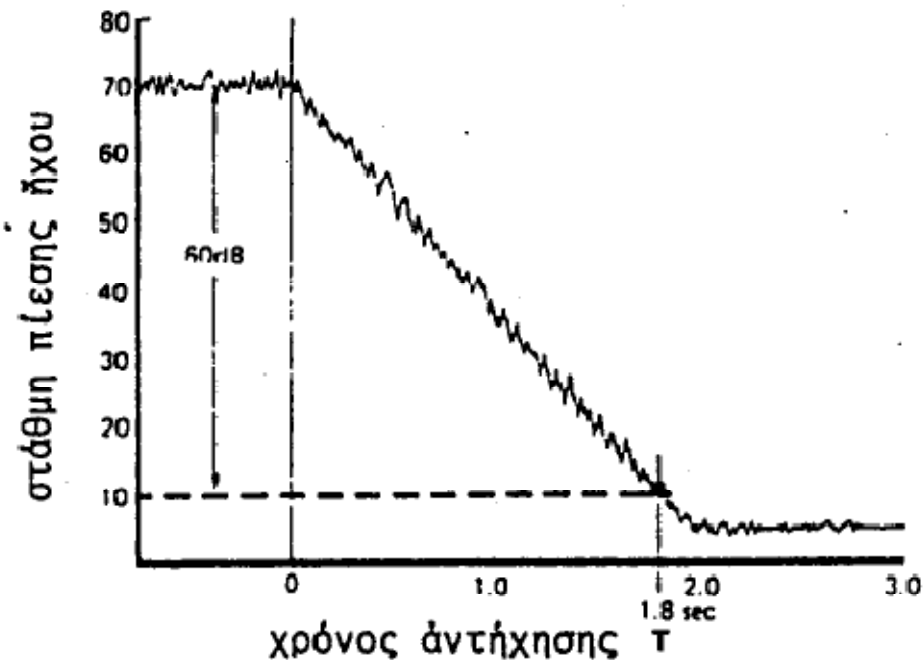
b



c

Χρόνος αντήχησης

Χρόνος αντήχησης ενός χώρου σε sec για κάθε συχνότητα ορίζεται ο χρόνος που χρειάζεται για να επιτευχθεί μείωση της ηχητικής πίεσης L_p , που δημιουργείται στο χώρο αυτό από μία ηχητική πηγή κατά 60 dB μετά την παύση της.



Ο χρόνος αντήχησης T ενός χώρου υπολογίζεται κατά **Sabine** με την ακόλουθη εξίσωση:

$$T [\text{sec}] = 0,163 \times V[\text{m}^3] / A[\text{m}^2]$$

$T[\text{sec}]$	Χρόνος αντήχησης σε sec
$V[\text{m}^3]$	Όγκος του χώρου σε m^3
$A[\text{m}^2]$	Ισοδύναμη ηχοαπορροφητική επιφάνεια σε m^2

Η ισοδύναμη ηχοαπορροφητική επιφάνεια είναι:

$$A = \sum a_i \times S_i$$

a_i	Ηχοαπορροφητική ικανότητα της επιφάνειας i
S_i	Εμβαδόν της επιφάνειας i

Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης κατά DIN 12354-6, 2003

Ισοδύναμη ηχοαπορροφητική επιφάνεια A:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{s,i} S_i + \sum_{j=1}^o A_{\text{obj},j} + \sum_{k=1}^p \alpha_{s,k} S_k + A_{\text{air}}$$

n αριθμός επιφανειών του χώρου

o αριθμός αντικειμένων

p αριθμός ομάδων αντικειμένων

$$A_{\text{air}} = 4mV(1 - \Psi)$$

m σταθερά μείωσης ισχύος ήχου στον αέρα
 V όγκος του χώρου
 Ψ ποσοστό όγκου αντικειμένων

$$\Psi = \frac{\sum_{j=1}^o V_{\text{obj},j} + \sum_{k=1}^p V_{\text{obj},k}}{V}$$

Εάν για το A_{obj} δεν υπάρχουν μετρήσεις τότε ισχύει για σκληρά αντικείμενα:

$$A_{obj} = V_{obj}^{2/3}$$

V_{obj} όγκος αντικειμένου

Χρόνος αντήχησης

$$T = \frac{55,3}{c_0} \frac{V(1-\psi)}{A}$$

Για $c_0 = 345,6 \text{ m/sec}$ $55,3/c_0 = 0,16$

Προσοχή

- Το μοντέλο ισχύει για χώρους με συγκρίσιμες διαστάσεις. Καμία διάσταση να μην είναι μεγαλύτερη από το πενταπλάσιο των άλλων.
- Ισχύει για $0,05 \leq \Psi \leq 0,2$
- Καλή κατανομή των ηχοαπορροφητικών υλικών
- Υπάρχουν κάποια αντικείμενα για διάχυση ή διαχύτες στις επιφάνειες του χώρου.
- Οι διαστάσεις των αντικειμένων πρέπει να είναι μεγαλύτερες από το μήκος κύματος του ήχου.

$$\lambda(125 \text{ Hz}) = 2,76 \text{ m}$$

$$\lambda(250 \text{ Hz}) = 1,38 \text{ m}$$

$$\lambda(500 \text{ Hz}) = 0,69 \text{ m}$$

$$\lambda(1000 \text{ Hz}) = 0,34 \text{ m}$$

$$\lambda(2000 \text{ Hz}) = 0,17 \text{ m}$$

$$\lambda(4000 \text{ Hz}) = 0,086 \text{ m}$$

Παράδειγμα

Χωρίς αντικείμενα - σκέτο Sabine

Γεωμετρία του χώρου

Μήκος 4.54 m

Πλάτος 2.73 m

Ύψος 2.4 m

Όγκος του χώρου

$V = 29.7 \text{ m}^3$

Επιφάνειες του χώρου

Οροφή 12.4 m^2

Λάπεδο 12.4 m^2

Τοίχος 1 10.9 m^2

Τοίχος 2 6.6 m^2

Τοίχος 3 10.9 m^2

Τοίχος 4 6.6 m^2

$\Sigma 59.7 \text{ m}^2$

Σκυρόδεμα

Σκυρόδεμα με σκληρό δάπεδο

Τζαμαρία

Τούβλα

Τούβλα

Τούβλα

		f[Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
Οροφή	S ₁	α ₁	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
	12.4	S ₁ x α ₁	0.12	0.12	0.12	0.25	0.25	0.37
Δαπέδο	S ₂	α ₂	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06
	12.4	S ₂ x α ₂	0.25	0.37	0.50	0.62	0.62	0.74
Τοίχος 1	S ₃	α ₃	0.12	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02
	10.9	S ₃ x α ₃	1.31	0.87	0.54	0.44	0.33	0.22
Τοίχος 2	S ₄	α ₄	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
	6.6	S ₄ x α ₄	0.13	0.13	0.20	0.26	0.33	0.46
Τοίχος 3	S ₅	α ₅	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
	10.9	S ₅ x α ₅	0.22	0.22	0.33	0.44	0.54	0.76
Τοίχος 4	S ₆	α ₆	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
	6.6	S ₆ x α ₆	0.13	0.13	0.20	0.26	0.33	0.46
Αέρας 60%, 20gradC		V	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7
		m	0.0001	0.0003	0.0006	0.001	0.0017	0.0041
		4mV	0.01	0.04	0.07	0.12	0.20	0.49
	Σ A _i		2.17	1.88	1.96	2.38	2.60	3.50
T			2.19	2.53	2.43	2.00	1.83	1.36

Με αντικείμενα

Ιραπέζι	$V_1 =$	0.15 m ³		$V_i^{(2/3)}$	0.28 m ³
Γραφείο	$V_2 =$	0.6 m ³			0.71 m ³
Καρέκλες	$V_3 =$	0.05 m ³	2 τεμ		0.14 m ³
Ντουλάπες	$V_4 =$	0.65 m ³	2 τεμ		0.75 m ³
	$V_{obj} =$	2.15 m ³	$\Sigma A_o =$		2.77 m ³
	$\psi =$	0.072			

f[Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
ΣA_i	2.17	1.88	1.96	2.38	2.60	3.50
ΣA_o	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77
Σ	4.94	4.65	4.73	5.15	5.37	6.27
T	0.89	0.95	0.93	0.86	0.82	0.70

Ηχοαπορροφητικές διατάξεις

FIGURE 7.27 Dependence of Absorption on Thickness (Ginn, 1978)

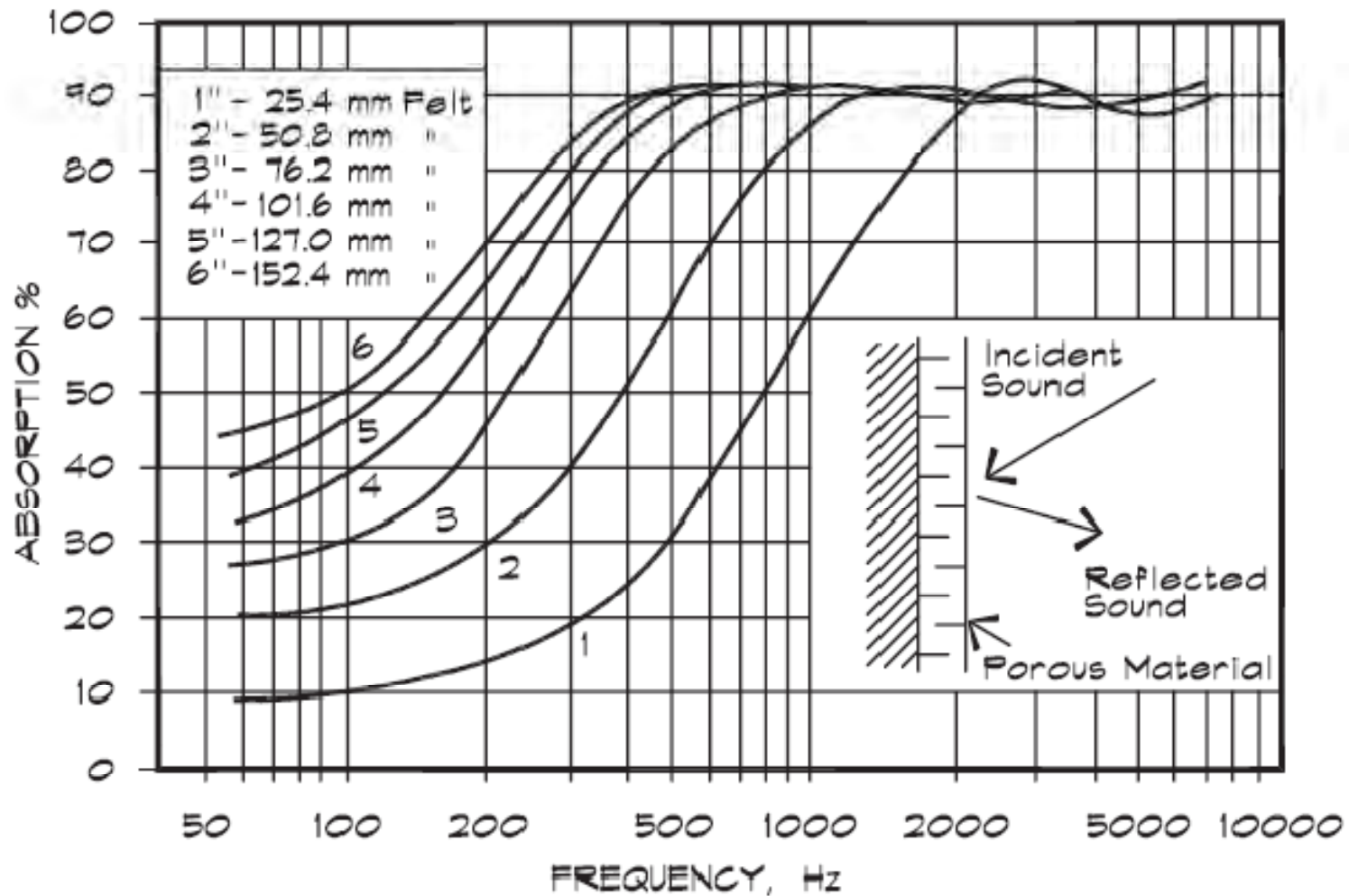


FIGURE 7.28 Absorption of Thick Materials with Air Backing (Ingard, 1994)

The absorption coefficient of a nonlocally reacting porous layer backed by an air cavity and a rigid wall. The overall thickness of the layer-cavity combination is 20 cm (8") and the different layer thicknesses are 5 cm (2"), 10 cm (4"), 15 cm (6") and 20 cm (8"). The total flow resistance in each case is $2\rho_0 c_0$.

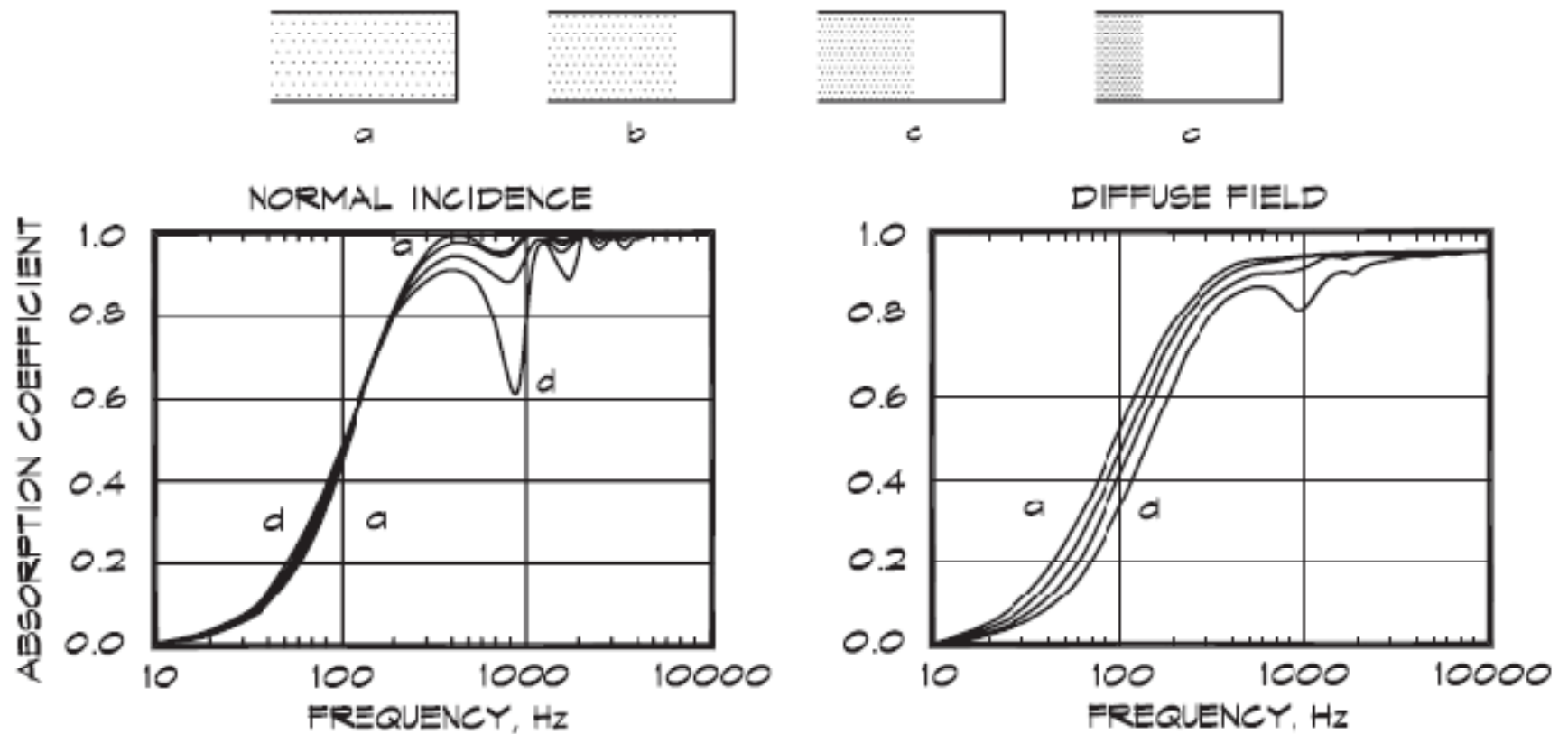


FIGURE 7.31 Sound Absorption of Perforated Panels (Doelle, 1972)

Sound absorption of perforated panel resonators with an isolation blanket in the air space. The open area (sound transparency) of the perforated facing has a considerable effect on the absorption.

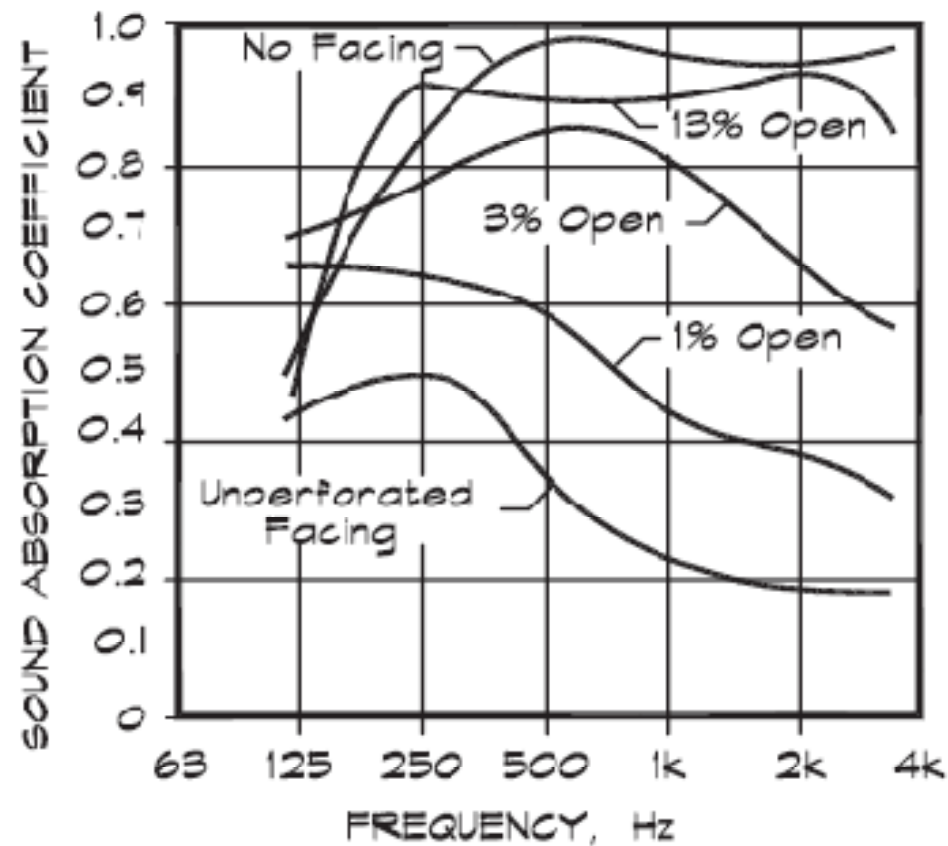


FIGURE 7.36 Sound Absorption of a Suspended Panel (Doelle, 1972)

A 1/4" (6 mm) plywood panel spaced 3 in (75 mm) from the wall (A) with or (B) without a 1" thick fiberglass blanket in the airspace.

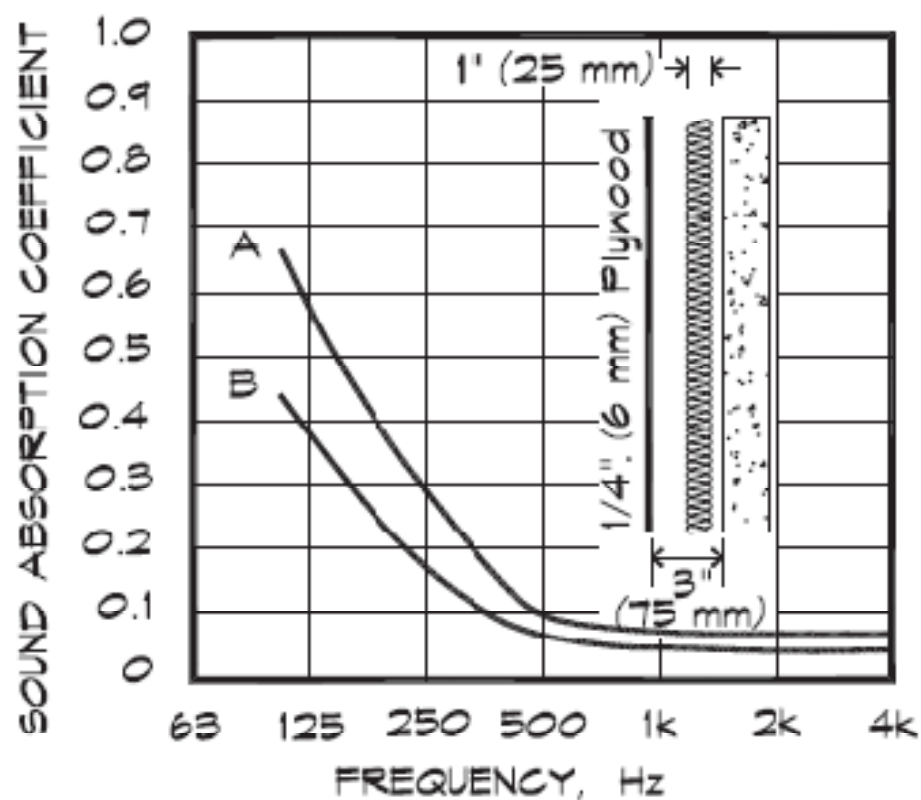
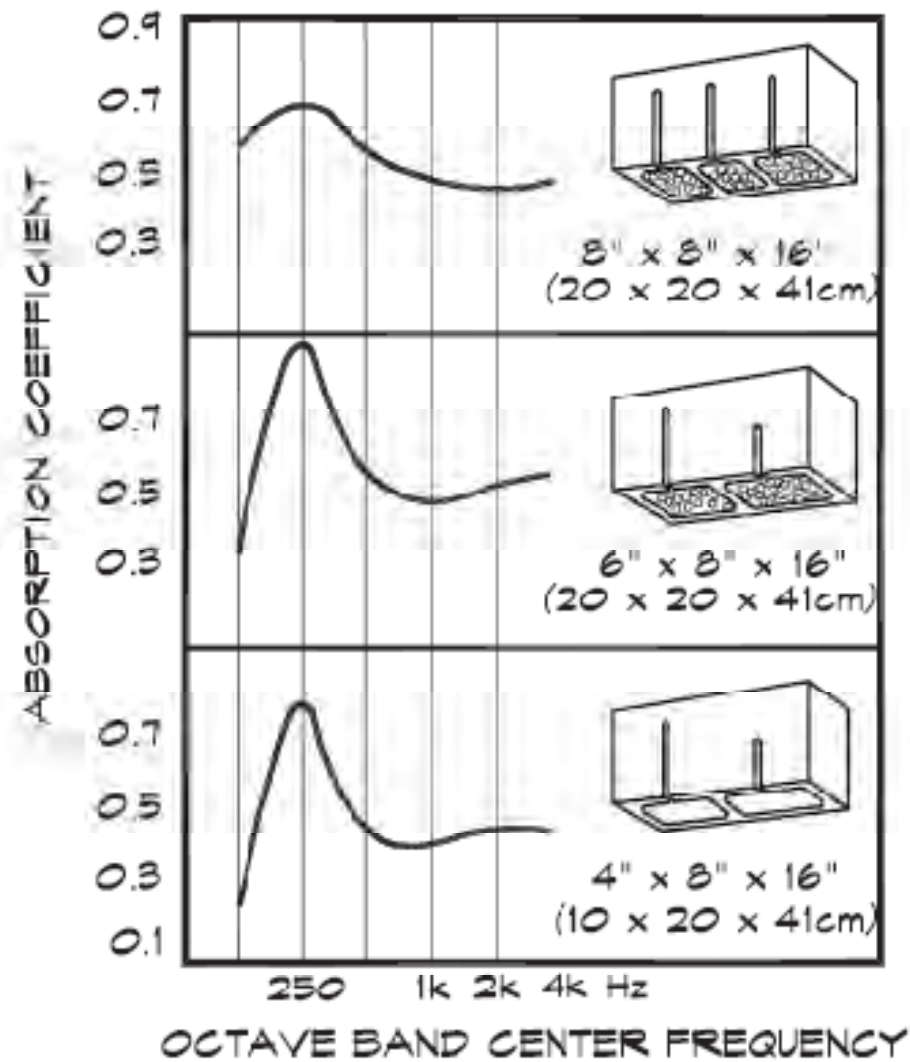


FIGURE 7.40 Helmholtz Resonator Absorbers (Doelle, 1972)



Ακουστική χώρου σχολικών αιθουσών

Μέτρηση του χρόνου αντήχησης μίας τυπικής αίθουσας διδασκαλίας 157, Γ8

Η αίθουσα έχει την ακόλουθη γεωμετρία:

Πλάτος	4,90 m
Μήκος	7,95 m
Ύψος	4,50 m
Όγκος	176 m ³

Η αίθουσα έχει τρία παράθυρα με διαστάσεις 1,50 m x 3,00 m και μία πόρτα με διαστάσεις 0,95 m x 2,70 m.

Οι τοίχοι της αίθουσας αποτελούνται από σοβατισμένη τουβλοδομή και ο πίσω τοίχος κατασκευάστηκε από ελαφρά υλικά (γυψοσανίδες).

Στην οροφή (σοβατισμένη πλάκα σκυροδέματος) τοποθετήθηκαν πλάκες ορυκτόν ινών με πάχος περίπου 15mm, χωρίς διάκενο μεταξύ των πλακών και το επίχρισμα.

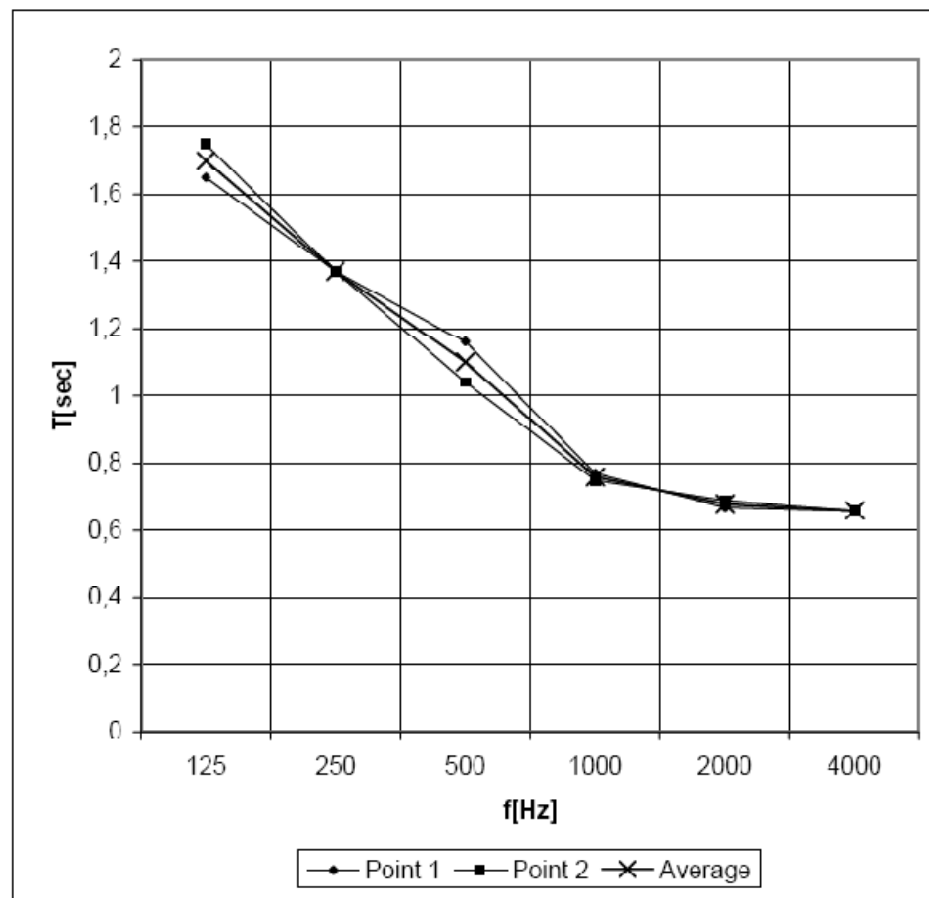




Μέτρηση του χρόνου αντήχησης της Αίθουσας Διδασκαλίας 157, Γ8

27.10.2004

f[Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
Point 1	1,65	1,37	1,16	0,77	0,67	0,66
Point 2	1,75	1,37	1,04	0,75	0,69	0,66
Average	1,70	1,37	1,10	0,76	0,68	0,66



Προτάσεις για την βελτίωση της ακουστικής χώρου της αίθουσας διδασκαλίας

Οι προτάσεις για την βελτίωση της ακουστικής χώρου συνοψίζονται όπως φαίνεται παρακάτω. Οι προτάσεις εφαρμόζονται ανάλογα και για τις υπόλοιπες αίθουσες διδασκαλίας.

Αποξήλωση της υφιστάμενης ηχοαπορροφητικής επένδυσης της οροφής.

Τοποθέτηση ηχοαπορροφητικής ψευδοροφής τύπου Herakustik F25mm σε απόσταση από την πλάκα τουλάχιστον 250mm. Επάνω στις πλάκες Herakustik τοποθετείται ορυκτοβάμβακας με πάχος 50mm και βάρος 40kg/m³.

Για την απαραίτητη μείωση του χρόνου αντήχησης στις χαμηλές συχνότητες υπάρχουν δυο εναλλακτικές λύσεις αντιμετώπισης:

A. Τοποθέτηση ξύλινης ντουλάπας με ξύλινα ή υάλινα θυρόφυλλα, με βάθος περίπου 400mm, σε όλη την επιφάνεια του πίσω τοίχου. Η ντουλάπα θα είναι χρήσιμη για την αποθήκευση εκπαιδευτικού υλικού κλπ. Σε μεγάλο ύψος, εκεί που η ντουλάπα δεν μπορεί να λειτουργήσει ουσιαστικά, προτείνω την τοποθέτηση ξύλινων ταβλάδων με πάχος 8mm. Πίσω από τις ταβλάδες τοποθετείται ορυκτοβάμβακας με πάχος 150mm και βάρος 40kg/m³.

Β. Στο επάνω μέρος των τοίχων (πλην του τοίχου της πρόσοψης) τοποθετείται μία επένδυση για την ηχοαπορρόφηση χαμηλών συχνοτήτων. Η επένδυση έχει την ακόλουθη γεωμετρία:

Τοίχος

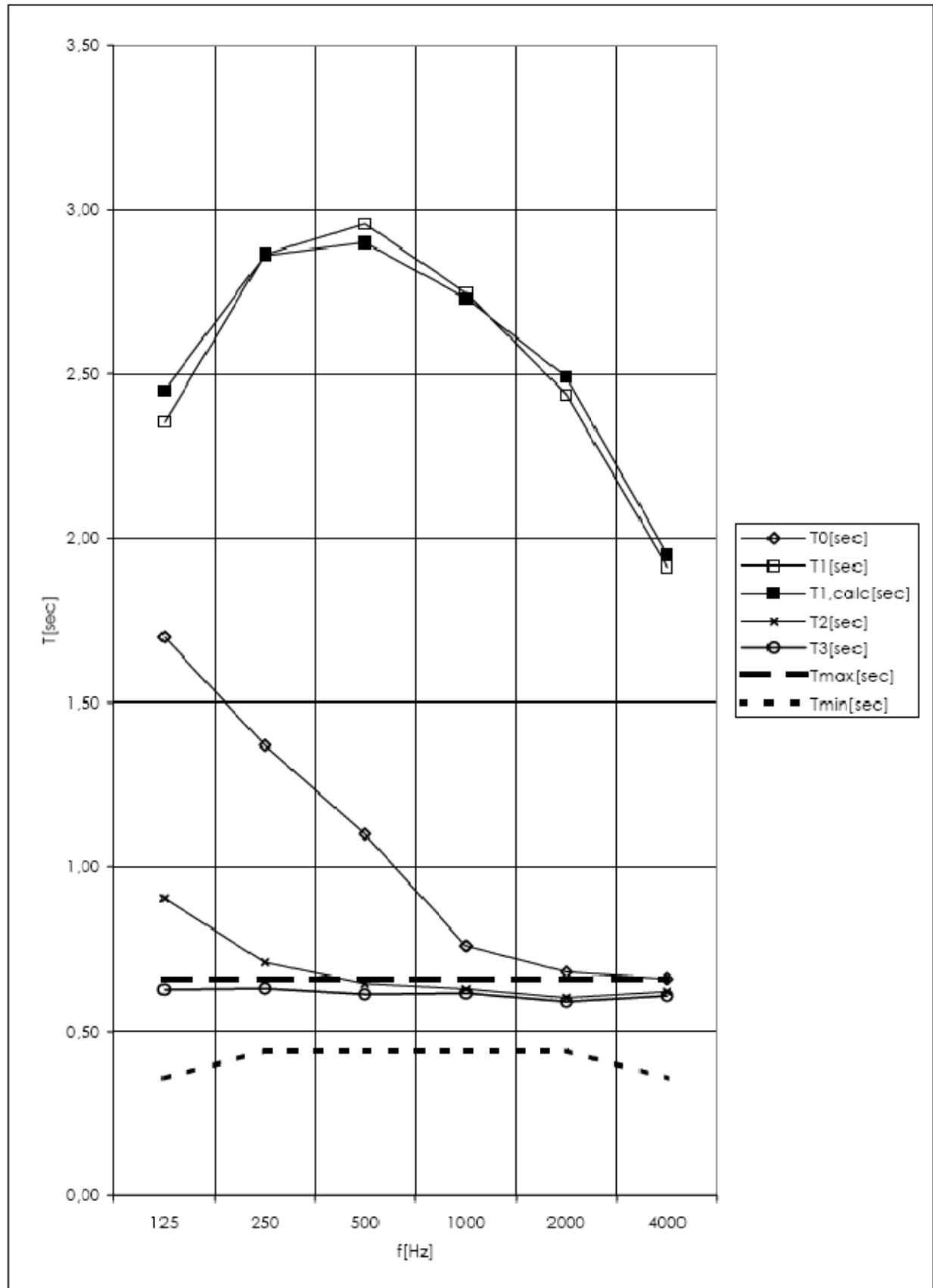
Ορυκτοβάμβακας 10kg/m^3

120mm

Κόντρα πλακέ

4mm

Το ύψος της επένδυσης είναι 1200mm.



Τι κάνουν οι άλλοι



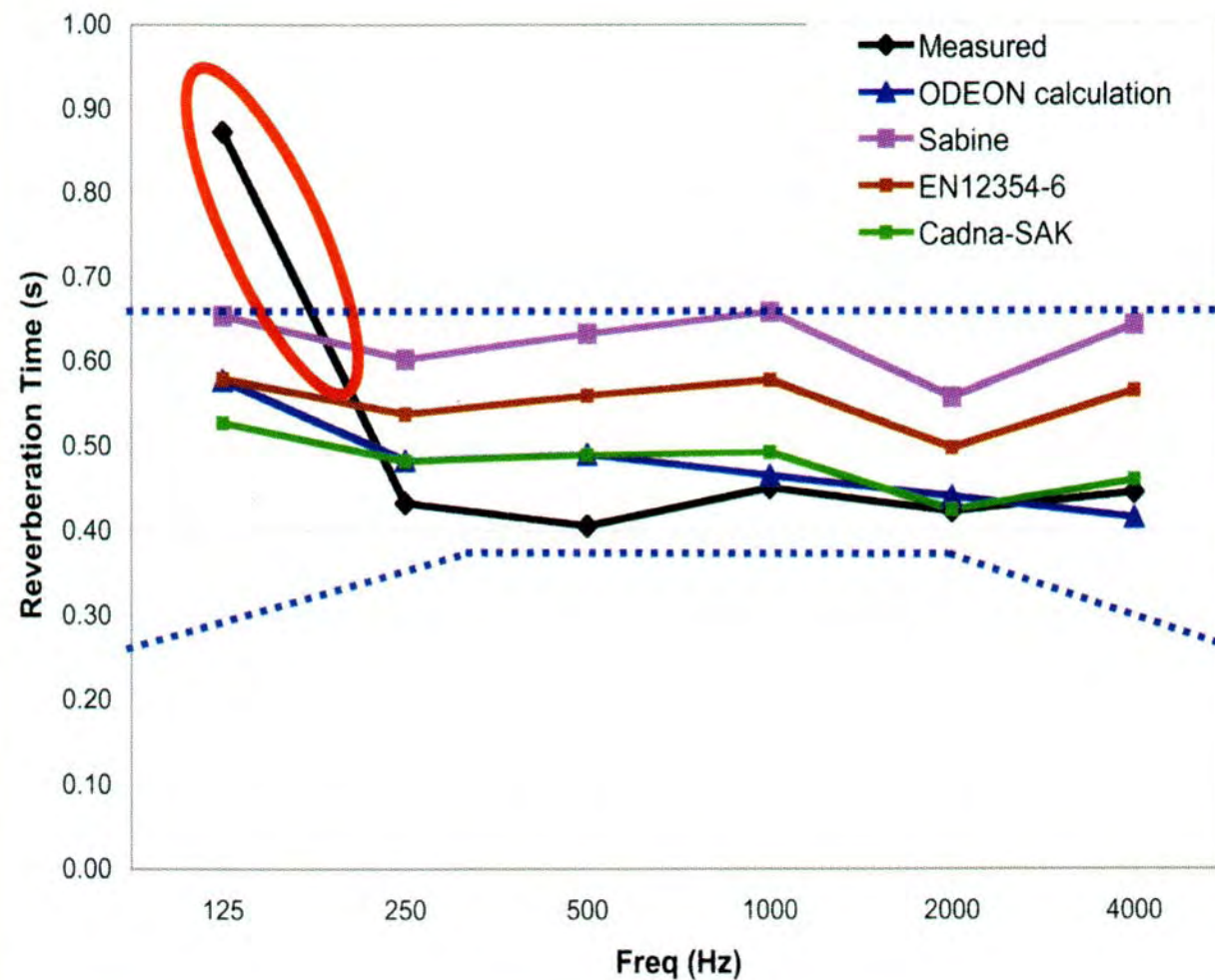
Absorption von der Wand. In einem Raum (U13) wurden auch absorbierende Wandpaneele entlang der Rückwand (1.200 mm hoch) und entlang der Flurwand (800 mm) eingesetzt. Sie erwiesen sich in jedem Fall als schalltechnisch vorteilhaft.



Abstrahlen und schlucken. Eine Versuchsanordnung (U13) legte die abgehangte weiße Decke über dem Lehrerplatz eher reflektierend aus (hier zur Demonstration blau markiert), während die übrige Deckenfläche mit hochabsorbierendem Plattenmaterial ausgelegt wurde (rot markiert).

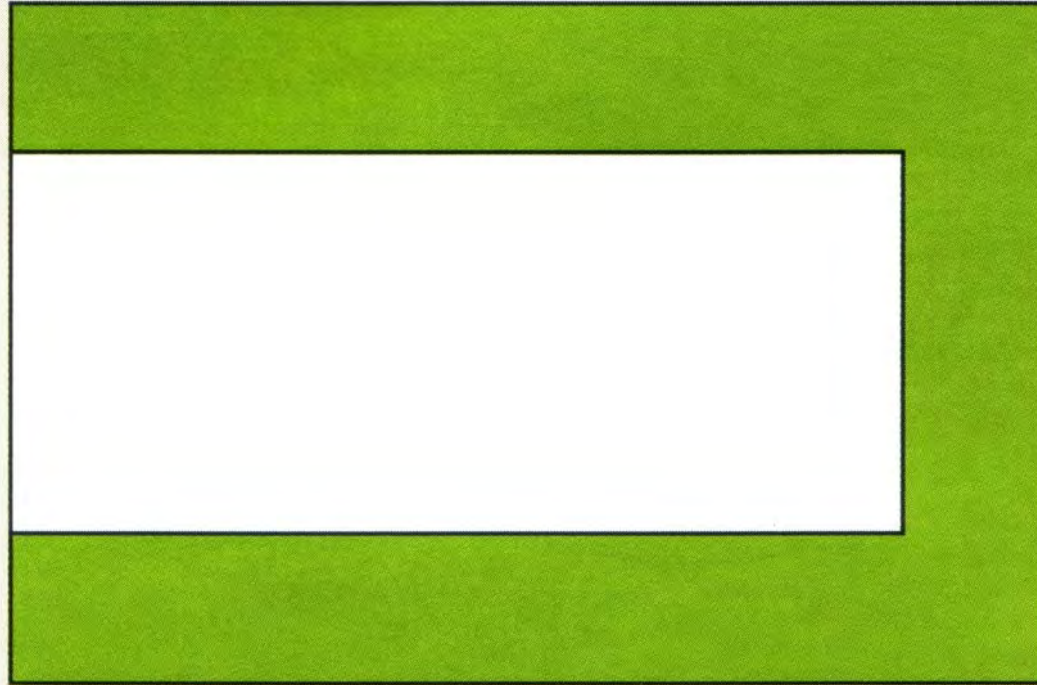
Abbildung 1: In der Prinzipzeichnung steht *R* für reflektierend, *L* für Leuchte.

ABBILDUNG 2



Im Normbereich. Nach der akustischen Sanierung zeigen Messungen der Nachhallzeit deutlich einen großen Unterschied zu den theoretischen Berechnungen auf. Insbesondere im Frequenzbereich um 125 Hz ist die Nachhallzeit meist zu hoch und liegt außerhalb der Toleranz.

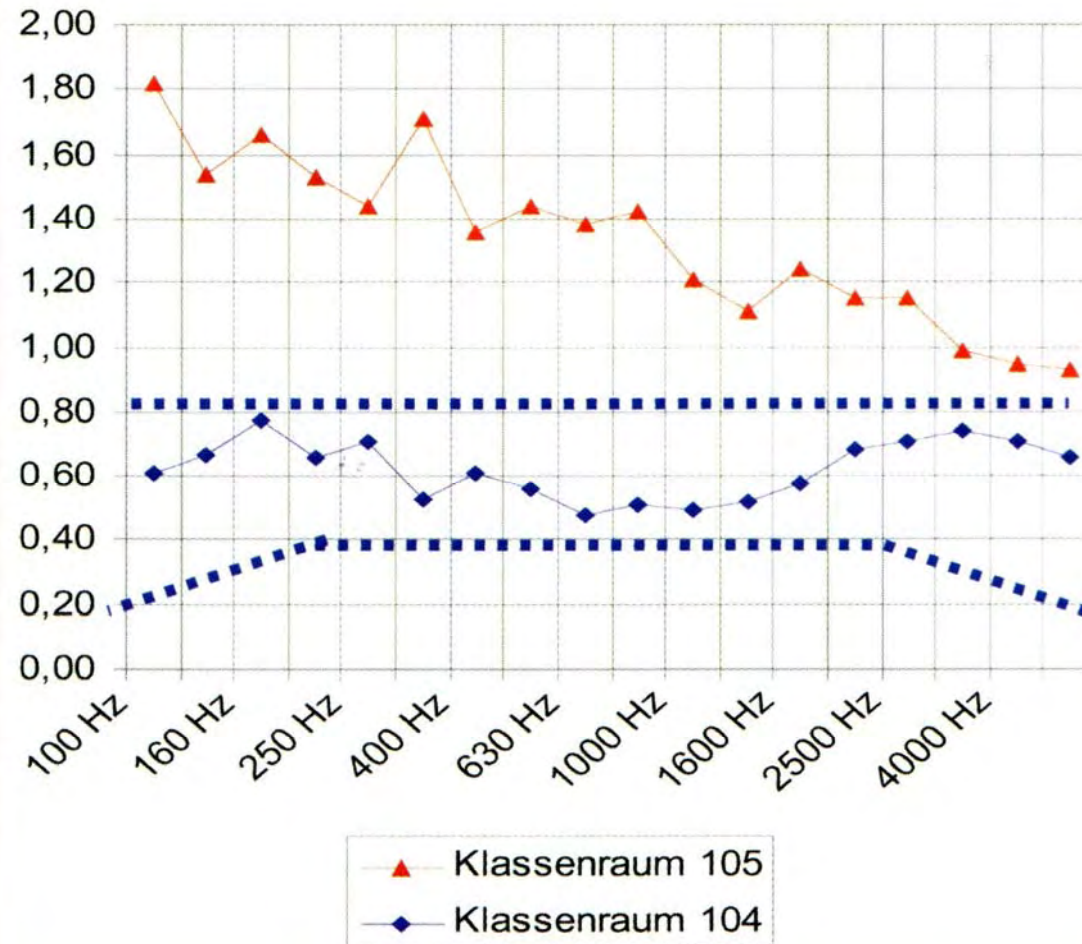
ABBILDUNG 4



Ecken-Dämpfer. Die eingefärbte Fläche zeigt den Bereich im Deckenhohlraum, wo die zusätzliche Mineralwollauflage Sonorock plus in Plattenstärke 80 mm und nur im Randbereich über 1 m (Plattenabmessung) aufgelegt wurde. Oberhalb der Tafel wurde keine Auflage aufgelegt.

ABBILDUNG 5

Volksschule, ROTT a. Inn
Klassenräume: Nachhallzeiten T (s)



Wirkungsvoll. Die Messungen [6] zeigen deutlich ihre Wirkung im tieffrequenten Bereich. Die hohen Nachhallzeiten können in diesem Bereich mit der dargestellten Maßnahme so gesenkt werden, dass bei 125 Hz keine Spitzen außerhalb der Toleranz liegen.

