OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

AKOESTIEK:

ONTWERP EN REALISATIE

LENTE 2020

Reverberatie en geluidsabsorptie
Praktijkoplossingen en materialen

Manuel VAN DAMME
Acoustical Expert – www.buildsilence

bruxelles environnement leefmilieu brussel .brussels

Build Silence
Acoustical Experts & Engineers

Doelstelling(en) van de presentatie

- De verschillende types van geluidsabsorptie begrijpen en correct toepassen

Plan van de uiteenzetting

- Mechanismen van akoestische absorptie
- Poreuze absorptiematerialen
- Membranen
- Resonatoren
- Gemengde systemen
- Zaalakoestiek

Gebouwakoestiek – Akoestische correctie van zalen



De akoestische correctie van zalen in de praktijk



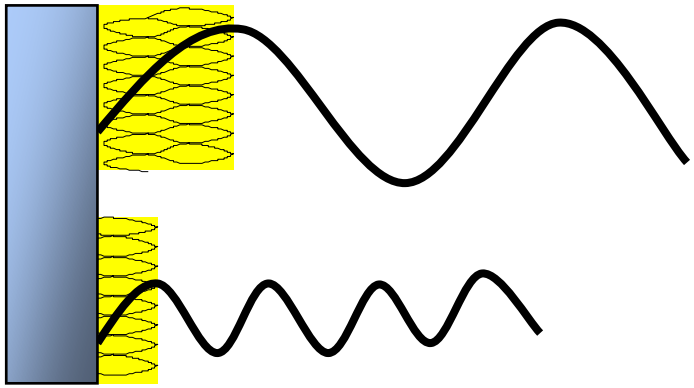
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

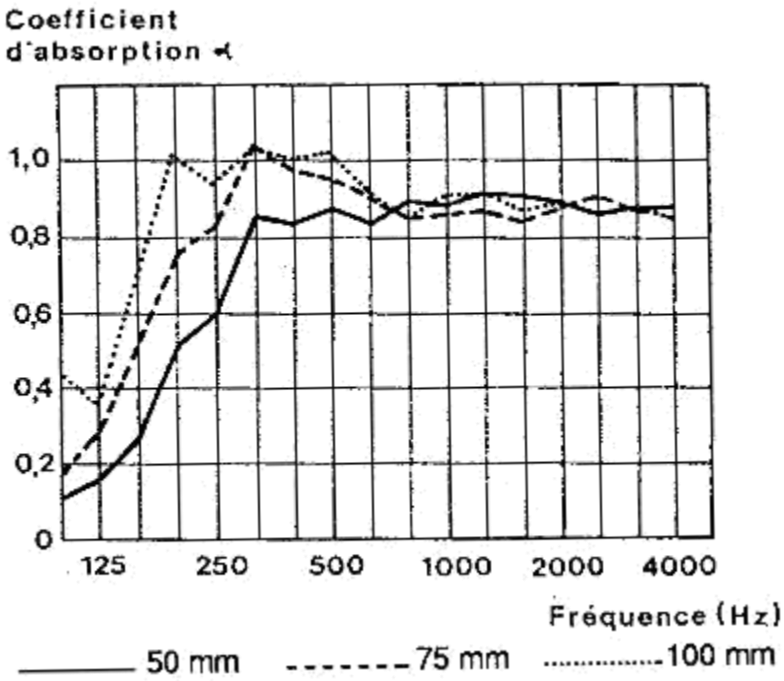
Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen – principes van de absorptie

Om doeltreffend te zijn, moet de laag poreus materiaal minstens gelijk zijn aan een kwart van de golflengte λ (λ = 340/f).

Zeer doeltreffend voor hoge frequenties

Probleem voor de lage frequenties: bij 100 Hz is absorptiemateriaal van 85 cm dik nodig





→ Hoe dikker het materiaal, hoe doeltreffender bij lage frequenties

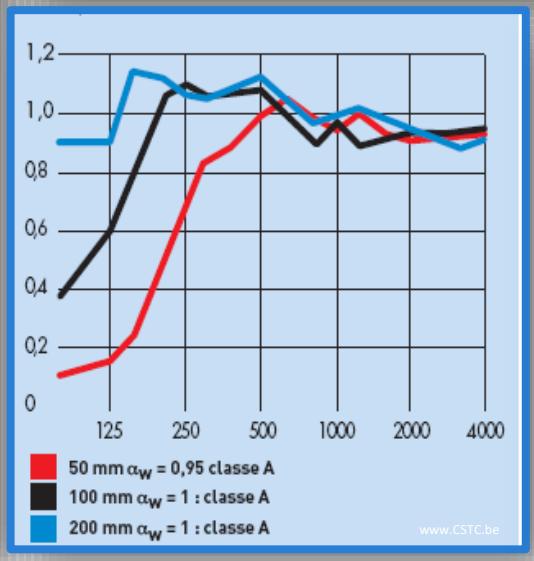
→ Boven de 5.000 Hz: absorptie mogelijk door poreuze vloerbekleding (mat, kamerbreed tapijt, …), bekleding, behang, …

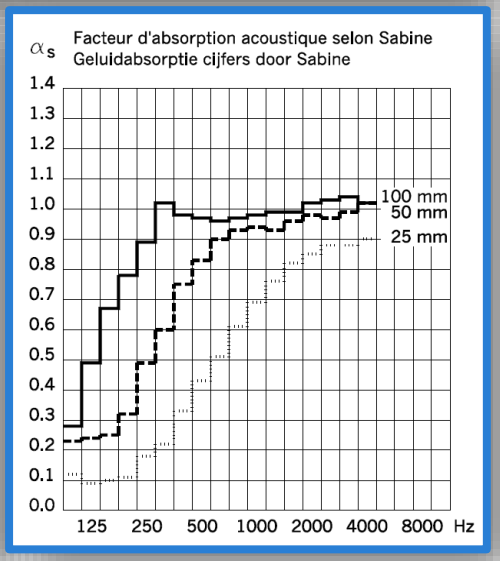
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen – minerale wol







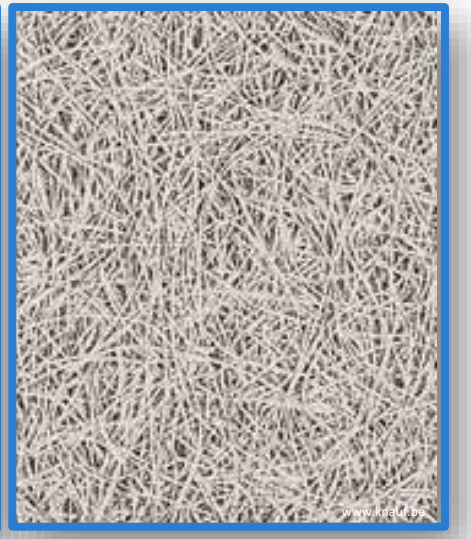


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen – gecombineerde types van houtwol





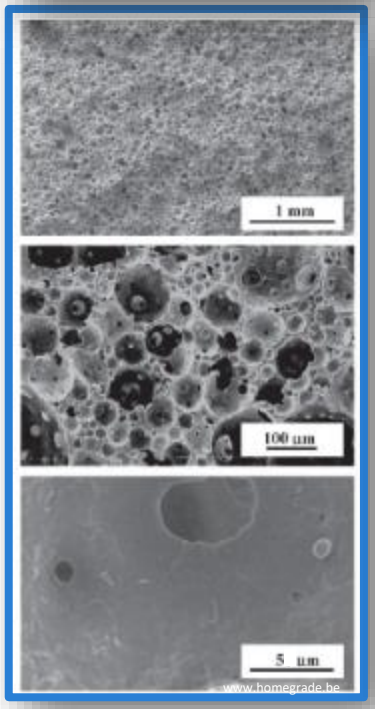


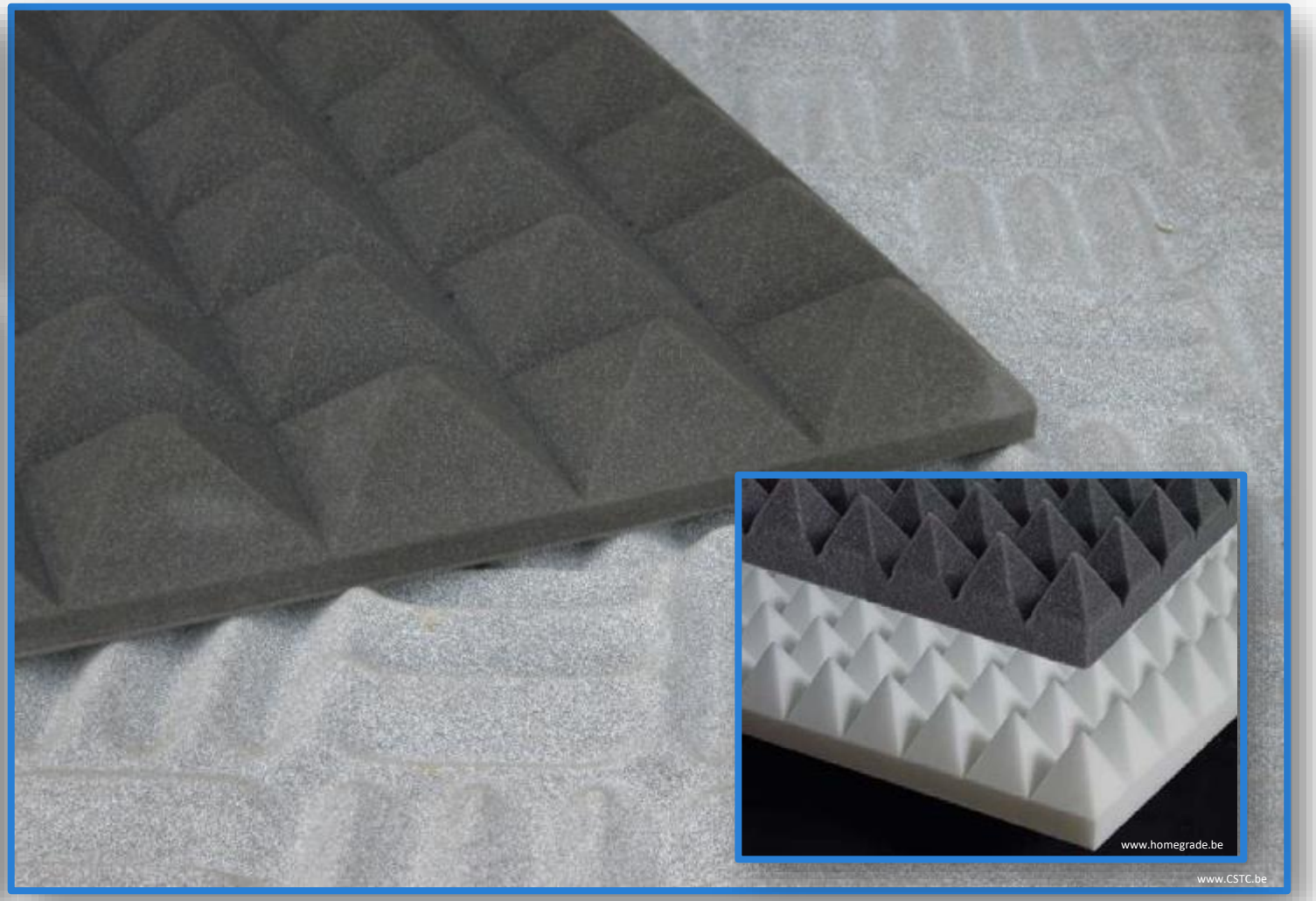
Type de construction	Fréquence (hertz)							
	Rapport	125	250	500	1000	2000	4000	α_s moyen
béton, 25 mm de laine de bois Fine	A 192	0,07	0,12	0,28	0,57	0,82	0,61	0,41
béton, lame d'air de 20 mm, 25 mm de laine de bois Fine	MA 178-1	0,01	0,16	0,26	0,55	0,55	0,52	0,34
béton, lame d'air de 400 mm, 25 mm de laine de bois Fine	MA 178-1	0,13	0,38	0,30	0,40	0,50	0,71	0,40
béton, 50 mm de laine minérale / 25 mm de laine de bois Fine	A 192	0,42	0,79	1,13	0,76	0,73	0,88	0,79
béton, 50 mm de laine de bois Fine	A 192	0,13	0,25	0,70	0,87	0,75	0,86	0,59
béton, 100 mm de laine de bois Fine avec laine de roche	A 659-2	0,55	0,65	0,80	0,92	0,94	0,81	0,78
béton, 50 mm de laine de bois Fine avec laine de roche	A 1215-1	0,31	0,67	0,81	0,82	0,85	0,94	0,73
béton, lame d'air de 20 mm, 50 mm de laine de bois Fine avec laine de roche	A 1251-1	0,37	0,64	0,81	0,82	0,86	0,94	0,74
béton, 125 mm de laine de bois Fine avec EPS	A 1350-3	0,10	0,30	0,24	0,29	0,52	0,78	0,37
béton, 70 mm de laine de bois Fine avec Resol	AA 345	0,06	0,15	0,34	0,43	0,80	0,80	0,43
Heraklith combi laine de roche 85 mm	P.V.5408	0,62	0,89	0,97	0,94	0,78	0,76	0,85
Heraklith combi laine de roche155 mm	P.V.5409	0,76	0,71	0,89	0,98	0,84	0,79	0,90
Heraklith combi plus 95 mm	P.V.5410	0,26	0,61	0,96	0,89	0,72	0,87	0,80
Heraklith combi plus 145 mm	P.V.5411	0,30	0,67	0,96	0,88	0,72	0,87	0,80

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen – schuimen met open cellen





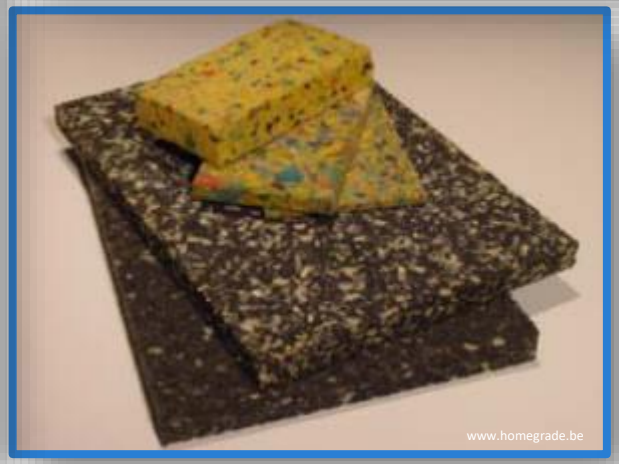


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen – schuimen met open cellen









De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen – ecologische alternatieven

Platen van gras, hennep, kenaf, vlas, schapenwol, cellulose, houtvezels, dons, …









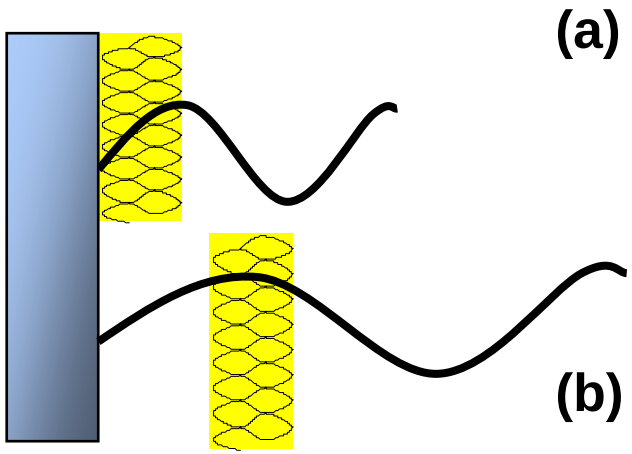


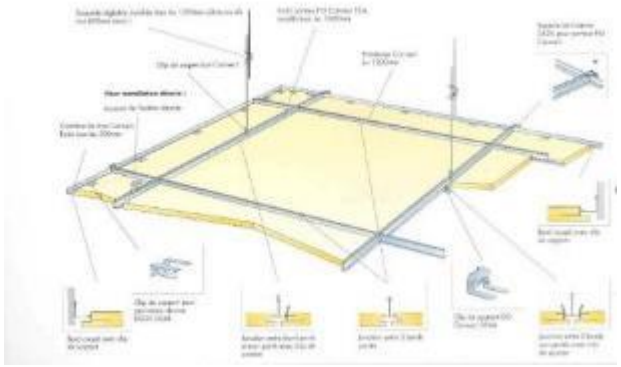


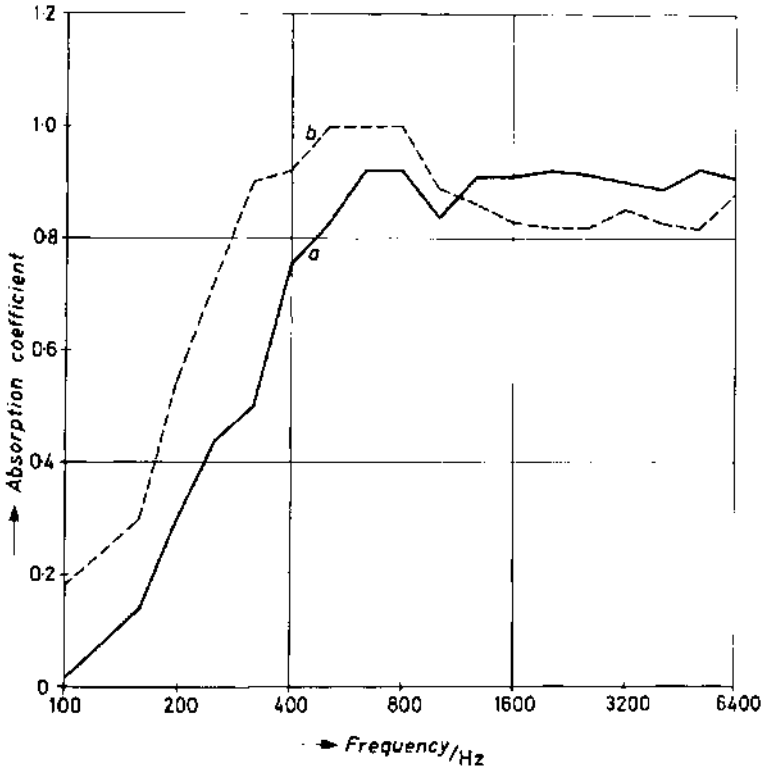


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen – absorptieprincipes







Verlaagde plafonds in poreuze materialen: voor een betere absorptie van de lage frequenties is het belangrijk dat hier een plenum achter zit.

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: absorberende verlaagde plafonds in beklede minerale wol







De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: absorberende verlaagde plafonds in beklede minerale wol

PRODUITS	Epaisseurs Panneaux (en mm)	Details de Bord, Perforations	α_w	Classe	Fréquence Hz 125	250	500	1000	2000	4000	Hauteur de plénum (mm)
Économique											
Minerval®	12	Bord A	0,80	B	-	-	-	-	-	-	200
	15	Bord A	0,90	A	0,25	0,66	0,87	0,79	0,90	0,96	200
		Bord E	0,90	A	0,65	0,80	0,90	0,85	0,95	1	200
Plus performant tout simplement											
Tonga®	20	Bord E	0,95	A	0,55	0,80	0,90	0,90	1	1	200
	22	Bord A	1	A	0,55	0,90	1	0,95	1	1	200
	40	Bord A	1	A	0,45	0,90	1	1	1	1	200
Samoa®	25	Bord A	0,95	A	0,45	0,80	0,90	0,95	1	1	200
	20	Bord E	0,90	A	0,50	0,75	0,85	0,85	0,95	1,00	200
Aréa®	15	Bord A	0,90	A	0,40	0,80	0,85	0,85	1	1	200
Ermes®	15	Bord E	0,90	A	0,40	0,80	0,90	0,85	1	1	200
Equation®	20	Bord E	0,90	A	0,50	0,75	0,85	0,85	1	1	200
Altes®	25	Bord A	0,95	A	0,45	0,80	0,90	0,90	1	1	200
Orchestra®	40	Bord A	1	A	0,50	0,85	1	1	1	1	200
Solutions spécifiques											
Santé-Hygiène											
Clini'Care®	20	Bord A	0,85 H	B	0,30	0,65	0,75	0,80	0,85	0,85	200
Clini'Clean®	25	Bord A	0,25 L	E	0,30	0,30	0,20	0,20	0,40	0,30	200
Clini'Safe®	15	Bord A	0,90	A	0,40	0,80	0,85	0,85	1	1	200
Résistance aux chocs											
Acoustichoc®	25	Bord A	0,95	A	0,50	0,85	0,95	0,90	1,00	1,05	200
	40	Bord A	1	A	0,55	0,85	0,95	1	1	1	200
	50	Bord A	1	A	0,55	0,85	0,95	1	1	1	200

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: absorberende verlaagde plafonds in beklede minerale wol

Produits	Page	Bords	Dimensions*	Surface	Classe d'absorption	α_w
MONOLITHIC						
Mono Acoustic TE	40	Mono TE	1200 - 1200	Structurée	A	0,80 - 0,90
DESIGN WHITE						
Finition lisse						
Fibral Blanc	40	A	600 - 2400	Lisse	A	1,00
Krios	44	A, D, Dnzl/A, E, X	300 - 2400	Lisse	A	1,00
Krios Bas	48	A	600 - 1200	Lisse	E	0,25
Krios O2	50	A	600 - 1200	Lisse	A	1,00
Krios dB 35	56	A, E	600 - 1800	Lisse	B	0,80
Krios dB 40	58	A, D, Dnzl/A, E	300 - 1800	Lisse	A	0,90
Krios dB 42	60	A, D, Dnzl/A, E	300 - 1800	Lisse	A	0,90
Krios dB 44	62	A, D, Dnzl/A, E	300 - 1800	Lisse	A	0,90
Finition structurée						
Sonar	64	A, D, Dznl/A, E, G, M, X	300 - 2400	Structurée	A	1,00**
Sonar Activity	68	B	600 - 1200	Structurée	A	0,95
Sonar Bas	70	A	600 - 1200	Structurée	E	0,20
Sonar dB 35	74	A, E	600 - 1800	Structurée	B	0,80
Sonar dB 40	76	A, D, Dznl/A, E	300 - 1800	Structurée	A	0,90
Sonar dB 42	78	A, D, Dnzl/A, E	300 - 1800	Structurée	A	0,90
Sonar dB 44	80	A, D, Dznl/A, E	300 - 1800	Structurée	A	0,90
DESIGN DECO						
Rockfon Color-all	82	A, D, E, X	600 - 2400	Lisse	A	1,00
Ligna	88	A, E	600 - 1200	Lisse	B	0,85

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

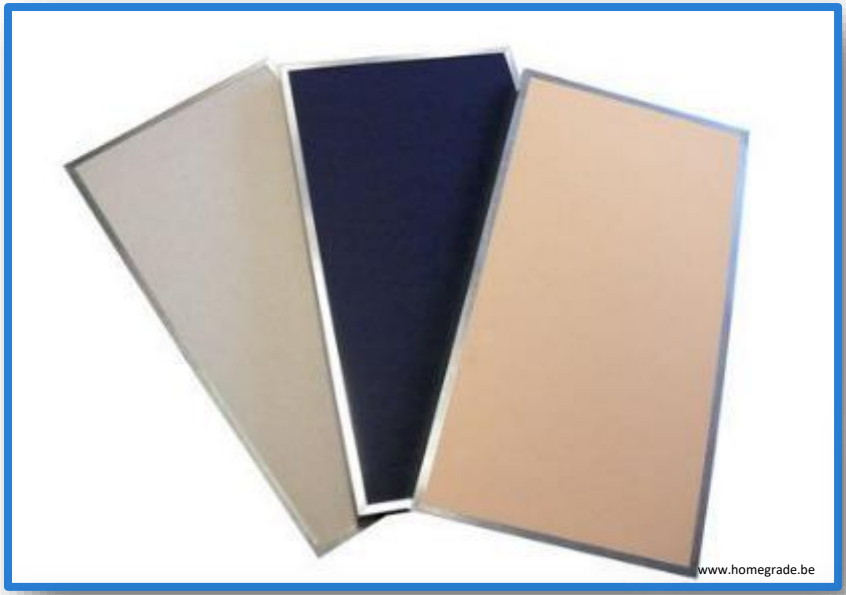
Materialen voor akoestische correctie: absorberende verlaagde plafonds in beklede minerale wol + MW plenum





De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: absorberende akoestische schermen







Rij-afstand tussen Baffles 587	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
450 mm	0,33	0,42	0,77	0,93	0,88	0,84
600 mm	0,25	0,44	0,71	0,91	0,85	0,81
900 mm	0,31	0,38	0,69	0,83	0,81	0,74



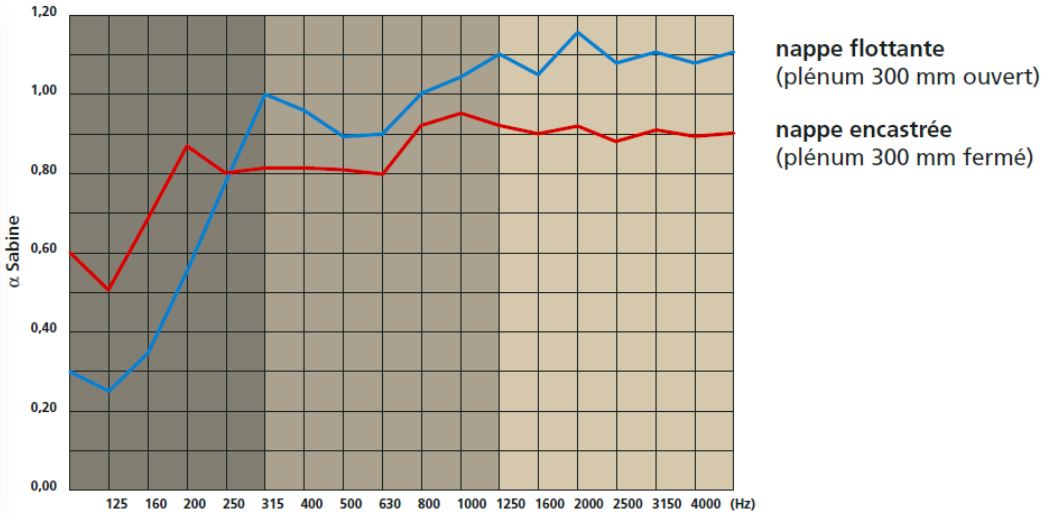




De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: akoestische plafonds





Fréquences (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	α_w
nappe flottante	**0.26**	**0.77**	**0.88**	**1.04**	**1.15**	**1.08**	**1**
nappe encastrée	**0.48**	**0.81**	**0.82**	**0.96**	**0.92**	**0.89**	**0.9**





De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: akoestische eilanden







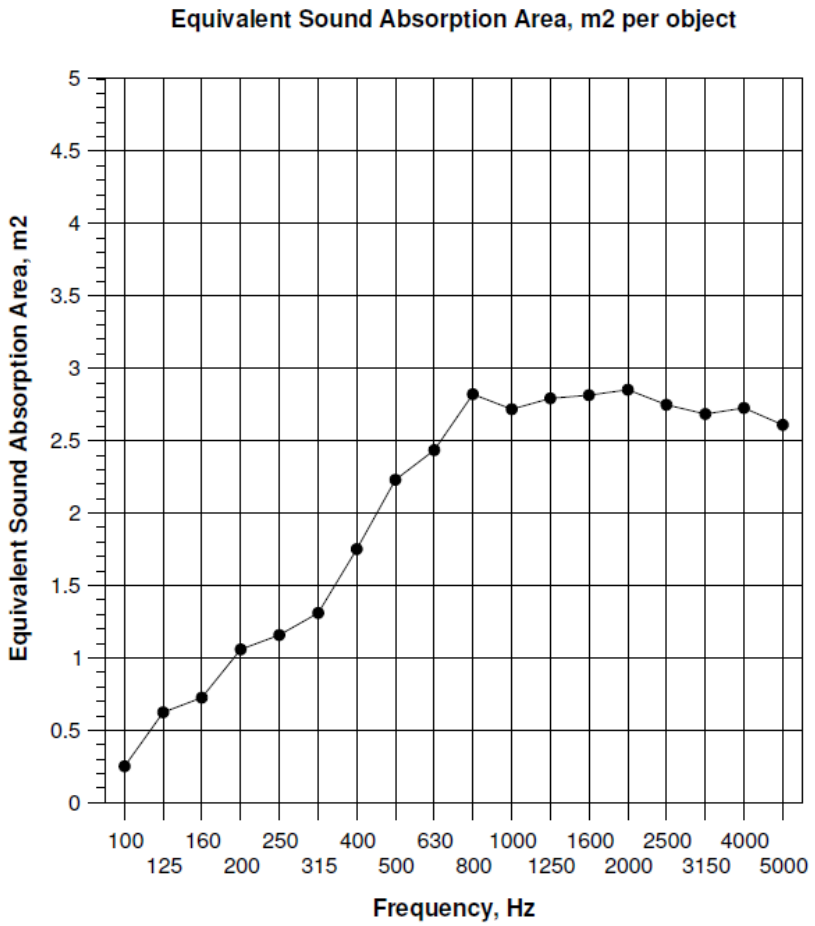






De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: akoestische eilanden





Test object	Equivalent sound absorption area in octave bands, (A_{obj} m^2)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Master Solo S 1200x1200 - 200 Single panel	0,5	1,1	1,9	2,2	2,2	1,9
Master Solo S 1200x1200 - 600 Single panel	0,5	0,8	1,7	2,6	2,7	2,5
Master Solo S 2400x1200 - 200 Single panel	0,9	2,4	3,4	4,0	4,1	3,8
Master Solo S 2400x1200 - 600 Single panel	1,1	1,9	3,5	4,9	5,1	4,9
Master Solo S 1800x1000 - 200 Single panel	0,7	1,3	2,2	2,8	2,9	2,5

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: akoestische eilanden









De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: akoestische wandschermen











De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: akoestische wandschermen















De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: stores en meubilair met absorberende eigenschappen



Fréquences (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	αw	Class
lames 133 mm ouvertes	0.13	0.15	0.22	0.21	0.27	0.43	0.25	D (H)
lames 133 mm fermées	0.02	0.08	0.18	0.31	0.27	0.41	0.30	D

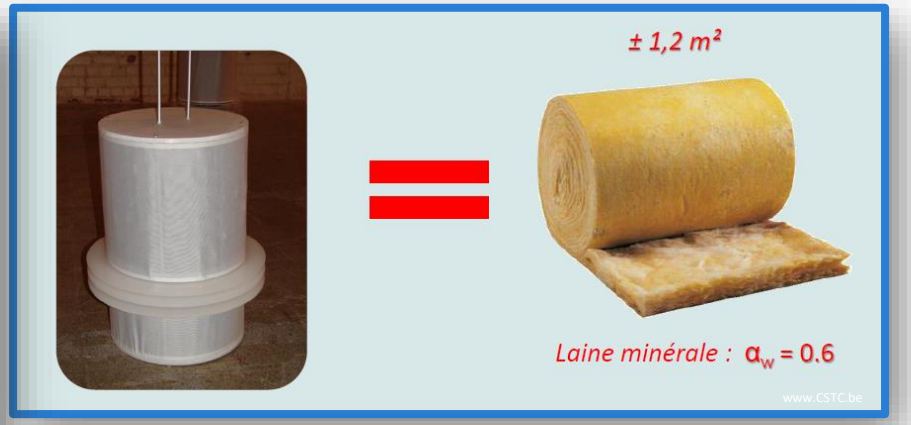
PV essais disponibles sur demande.
Les performances sont proches entre stores ouverts et fermés.



De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: stores en meubilair met absorberende eigenschappen





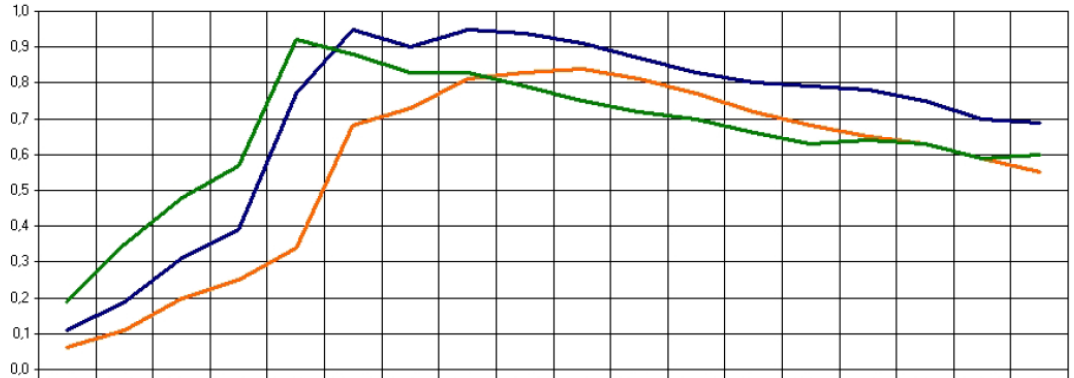






De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen bekleed met een akoestische bepleistering



	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
30 mm	0,06	0,11	0,20	0,25	0,34	0,68	0,73	0,81	0,83	0,84	0,81	0,77	0,72	0,68	0,65	0,63	0,59	0,55
50 mm	0,11	0,19	0,31	0,39	0,77	0,95	0,90	0,95	0,94	0,91	0,87	0,83	0,80	0,79	0,78	0,75	0,70	0,69
70 mm	0,19	0,35	0,48	0,57	0,92	0,88	0,83	0,83	0,79	0,75	0,72	0,70	0,66	0,63	0,64	0,63	0,59	0,60

α_w
0,70
0,85
0,70





De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen bekleed met een akoestische bepleistering











De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen bekleed met een akoestische bepleistering



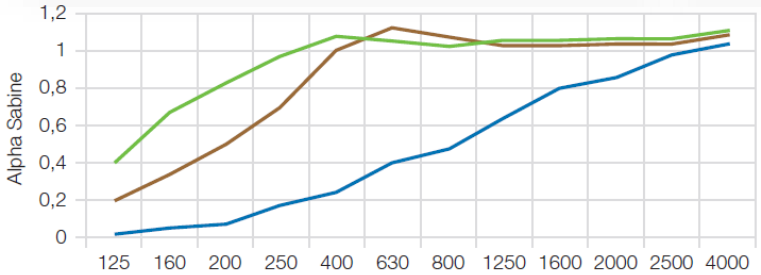
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: absorberende projecties









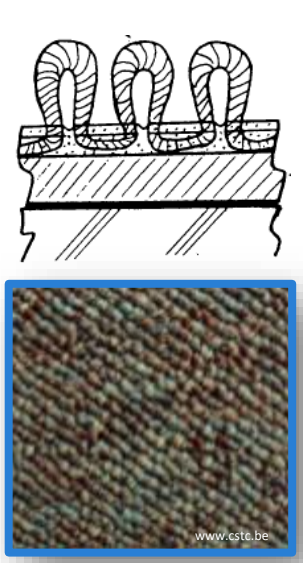


Épaisseur PROMASPRAY® P300	Support	Fréquence en hertz						NRC	α_w
		125	250	500	1000	2000	4000		
		Coefficient d'absorption α_p							
15 mm	Solide	0,05	0,20	0,45	0,70	0,75	0,40	0,53	0,45 (M, H)
25 mm		0,10	0,40	0,80	0,90	0,90	0,90	0,75	0,70 (H)

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

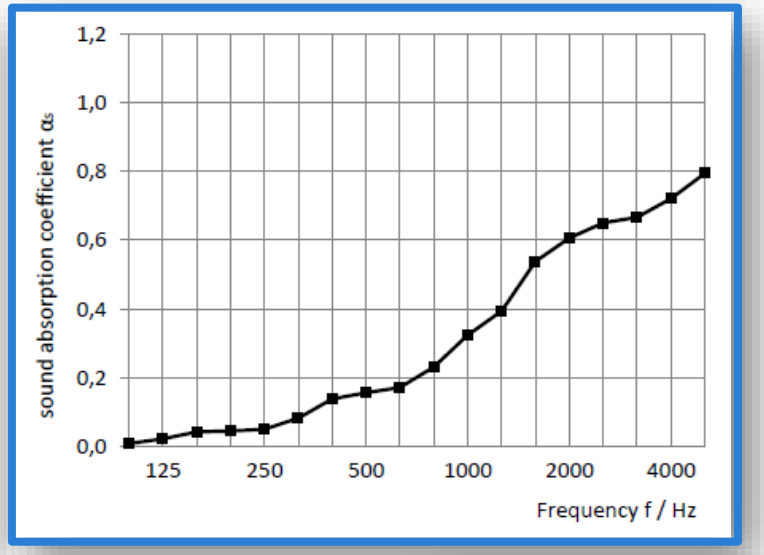
Materialen voor akoestische correctie: poreuze absorptiematerialen – matten en kamerbrede tapijten

Hoe dikker de mat, met lange haren, hoe beter ze absorbeert (maar beperkt: α_w 0,15 tot 0,35).









	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	α_w
Min. wol. 20 kg/m³ - 100 mm	0.38	0.76	0.96	0.93	0.96	1.04	0.85
Kamerbreed tapijt– courante waarden	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37	0.25



De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: Helmholtz-resonatoren

Helmholtz-resonator = element gevormd uit een hals en een holle ruimte
(voorbeeld: fles)



Geluidstrillingen → trilling op eigen frequentie → twee gevolgen:
- Versterking op korte afstand,
- Verzwakking op een langere afstand.

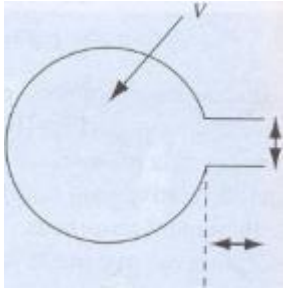
Principe: hij “neemt” energie uit de zaal op om de versterking dichtbij de hals te realiseren. Totale energiebalans van de zaal: minder energie op deze frequentie in de rest van de zaal.

Dit kan men combineren met een poreus absorberend materiaal.

→ Actiedomein: EIGEN FREQUENTIE VAN HET SYSTEEM:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\gamma P_0 S}{\rho_0 l V}}$$

Waarbij:
- S: oppervlakte van de hals,
- l: lengte van de hals,
- P_0: statische luchtdruk (101 325 Pa),
- V: volume van de holle ruimte (buiten hals),
- ρ_0: volumieke massa van de lucht (1.2 kg/m³ bij 20°C),
- γ: thermodynamische constante = 1.4.



.

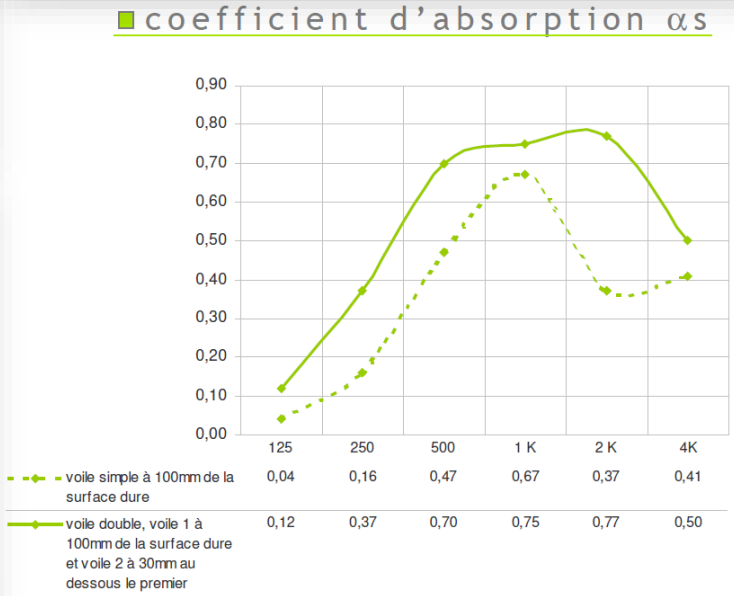
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: Helmholtz-resonatoren





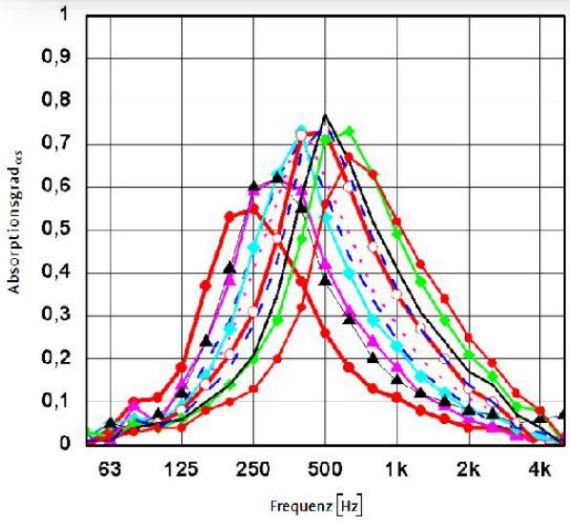




De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: Helmholtz-resonatoren







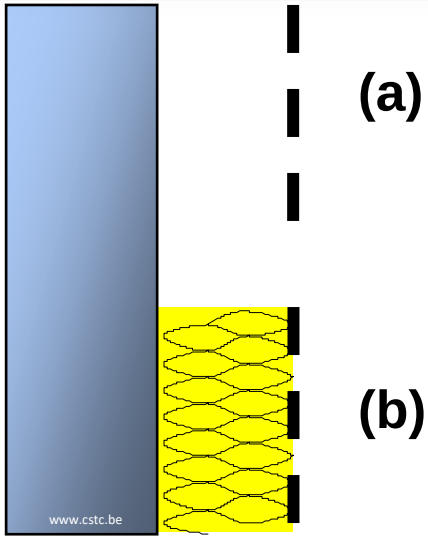


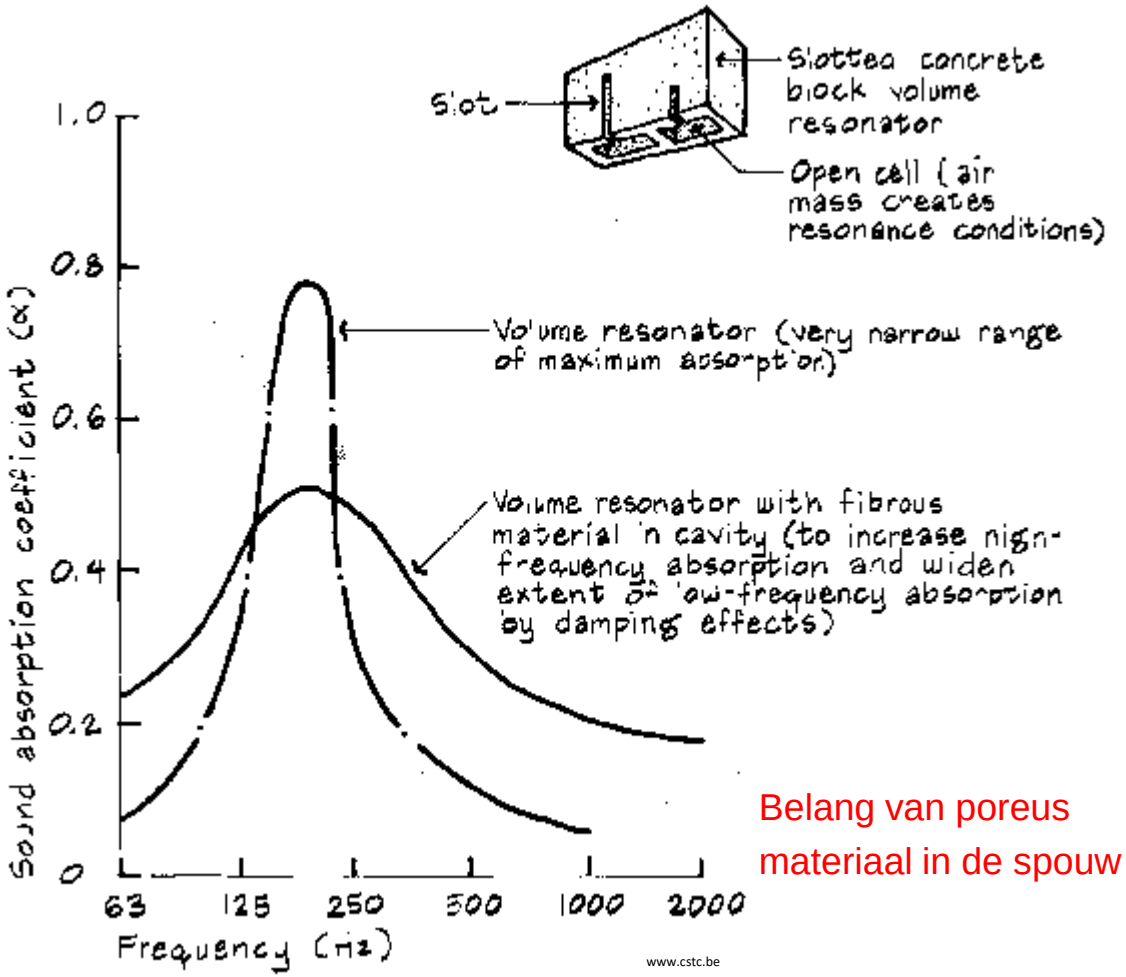


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: resonatoren gecombineerd met poreuze materialen







Belang van poreus materiaal in de spouw

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: resonatoren gecombineerd met poreuze materialen







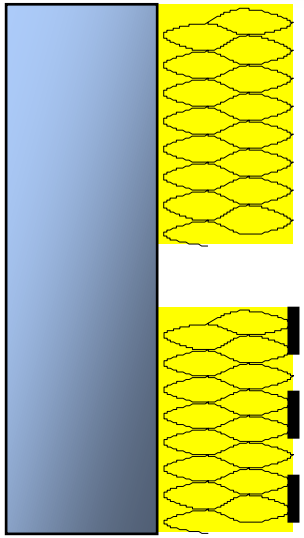




De akoestische correctie van zalen in de praktijk

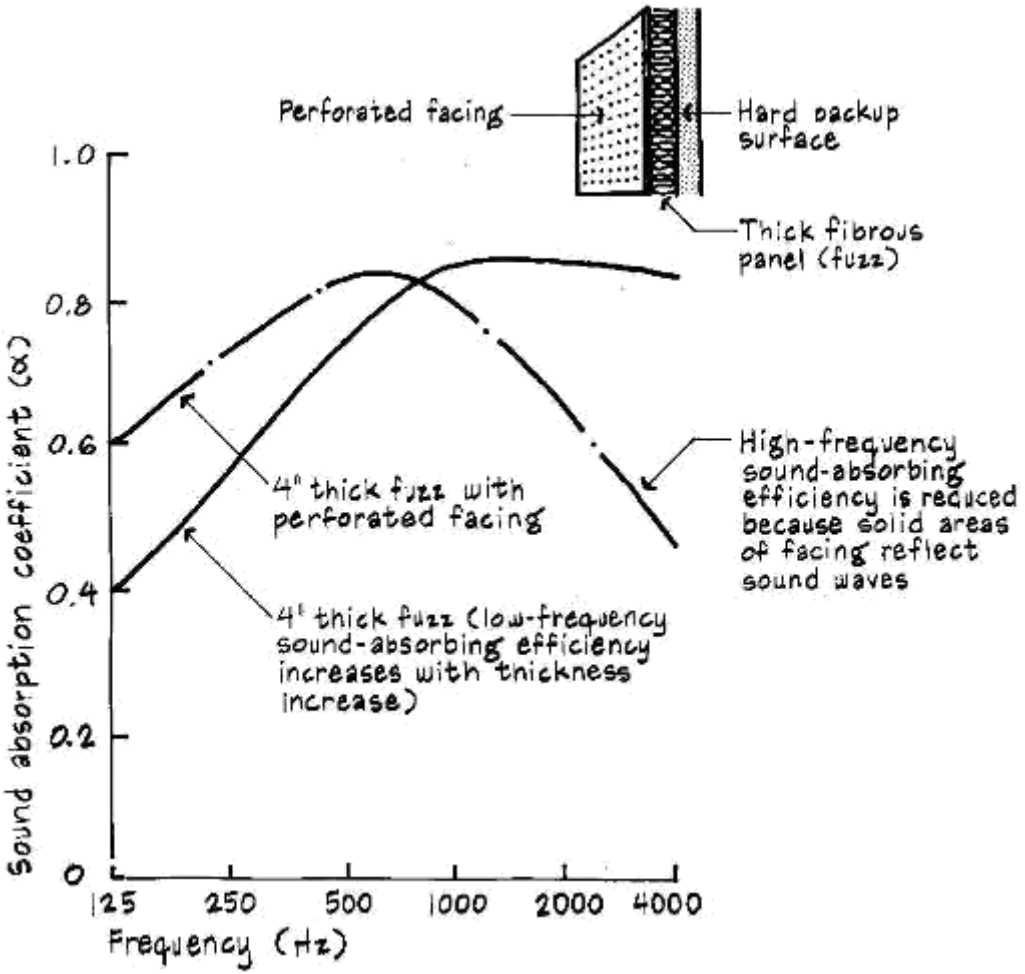
Materialen voor akoestische correctie: resonatoren gecombineerd met poreuze materialen





(a)

(b)



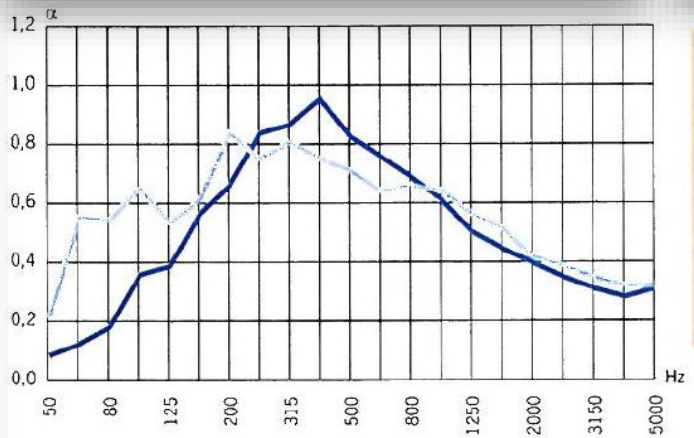
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: geperforeerde houten panelen (zonder/met poreus absorberend materiaal)

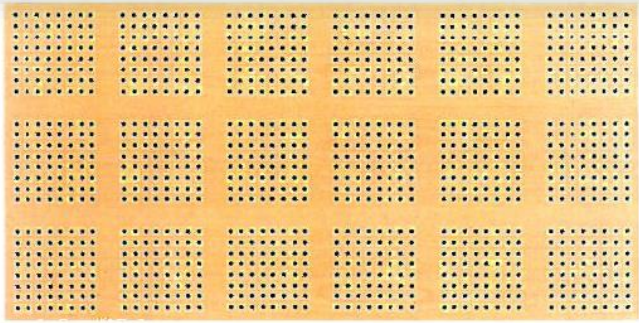








www.CSTC.be



A = 20 mm, *B = 30 mm, **C = 30 mm, E = 20 mm,
Ø = 8 mm. Module measurement 200 x 200 mm.
Absorption class D. Open area 8%.

www.CSTC.be

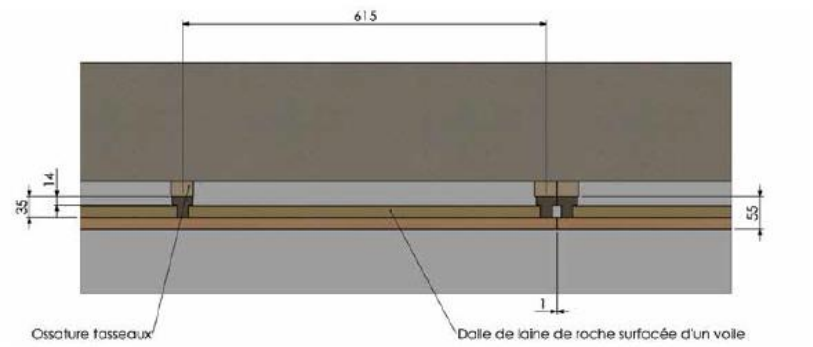

www.vkgroup.be

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: poreuze materialen achter een houten latwerk



Mise en oeuvre vue de coupe

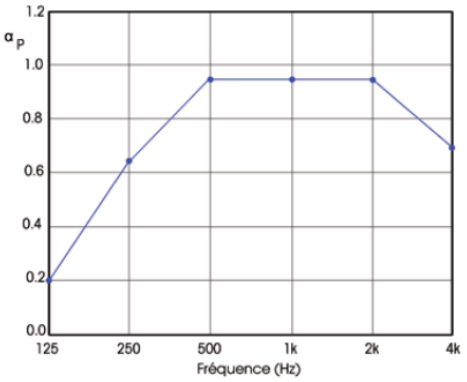


Lauder LINEA mur 4.2.4
+ LR 20 MM sur plénum
E50 mm

F(Hz)	αp
125	0,20
250	0,65
500	0,95
1000	0,95
2000	0,95
4000	0,70

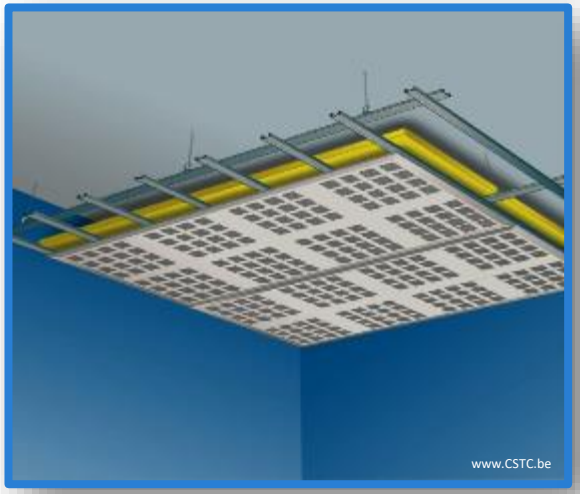
Indice pondéré :

αw = 0,85



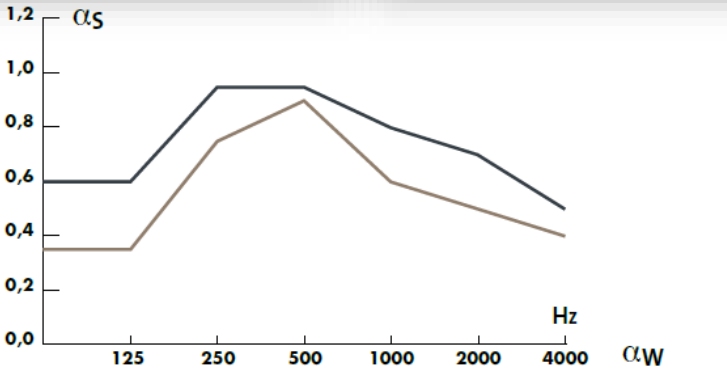
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: geperforeerde gipsplaten (met/zonder poreus absorberend materiaal)





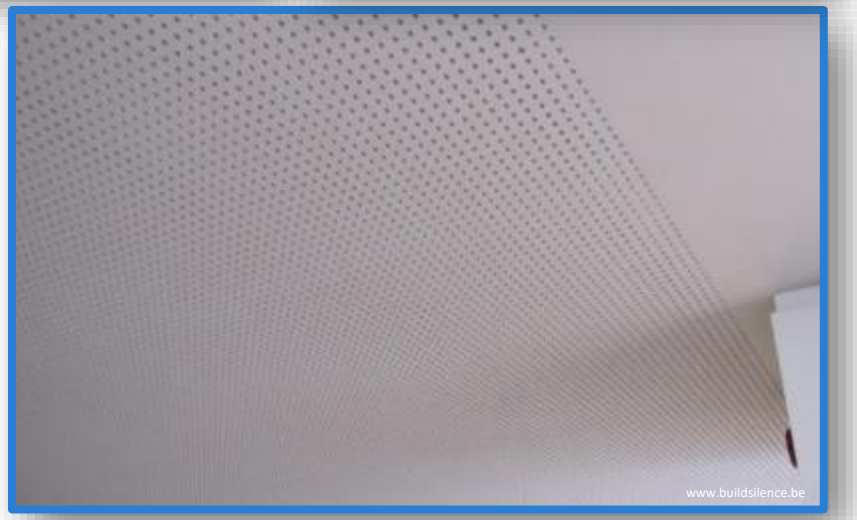




Plénum 200 mm / laine 50 mm	0,60	0,95	0,95	0,80	0,70	0,50	0,70 (LM)
Plénum 200 mm / sans laine	0,35	0,75	0,90	0,60	0,50	0,40	0,55 (LM)

PV Accon GmbH n° ACB-0399-1845/3 - PV Accon GmbH n° ACB-0399-1845/2

www.knauf.be



De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: geperforeerde gipsplaten (met/zonder poreus absorberend materiaal)

Bij deze panelen wordt gewoonlijk een minerale wol gebruikt, maar achter de perforaties zou een ecologisch absorberend materiaal (zoals hiervoor beschreven) een vrijwel gelijk resultaat moeten bieden als de minerale wol.





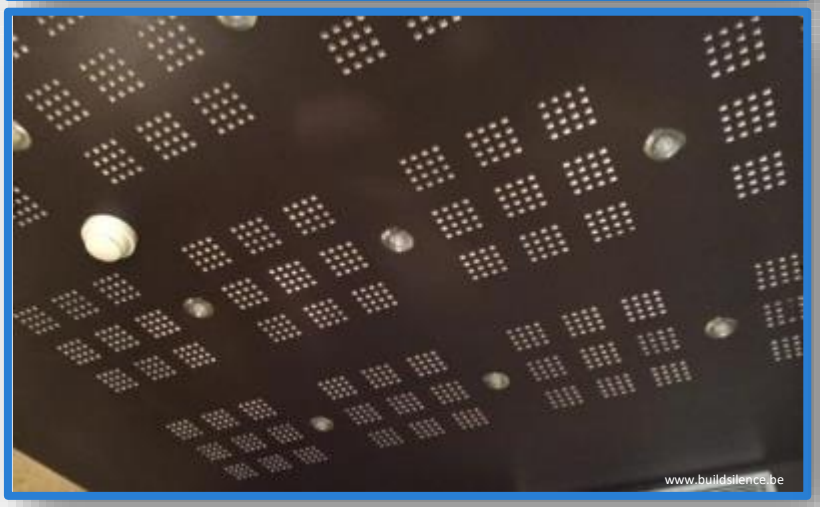


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: geperforeerde gipsplaten (met/zonder poreus absorberend materiaal)



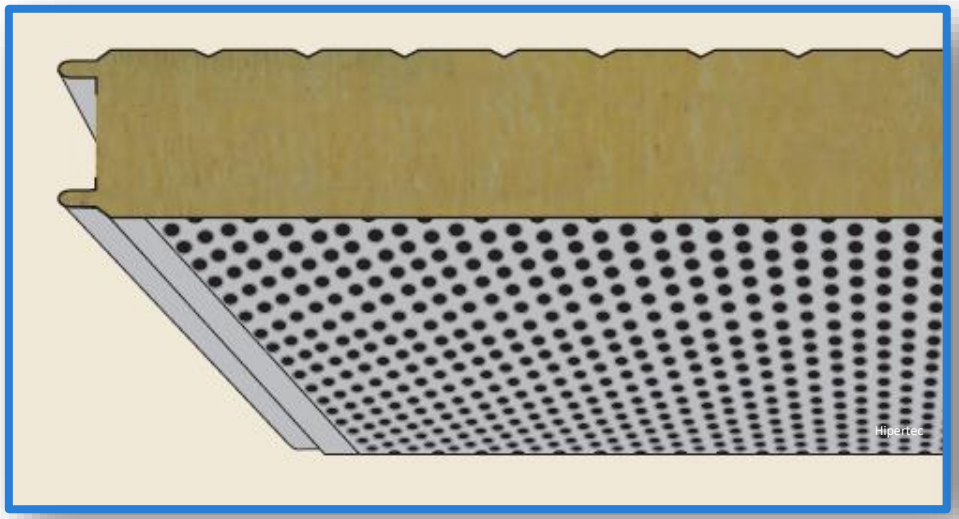




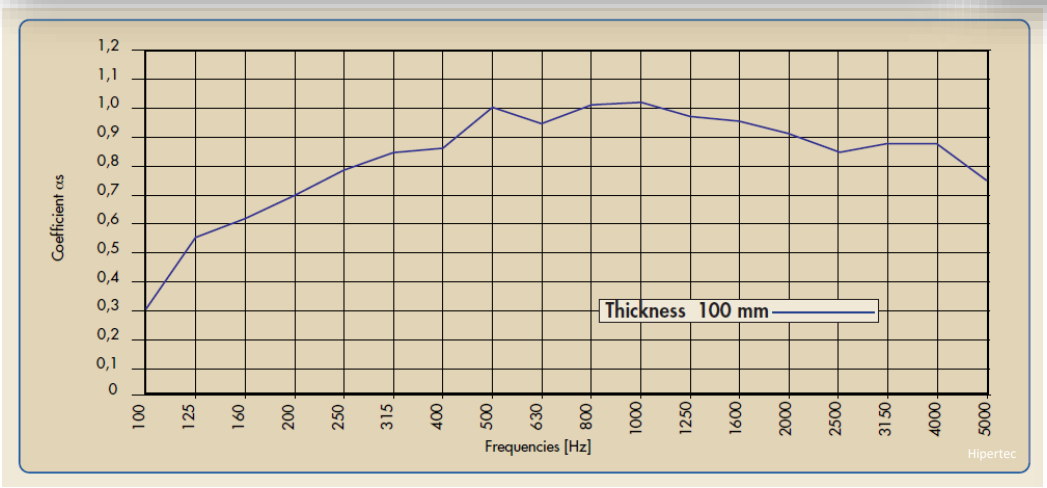


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: geperforeerde metalen cassettes en gevelbekleding









De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: geperforeerde metalen cassettes en gevelbekleding





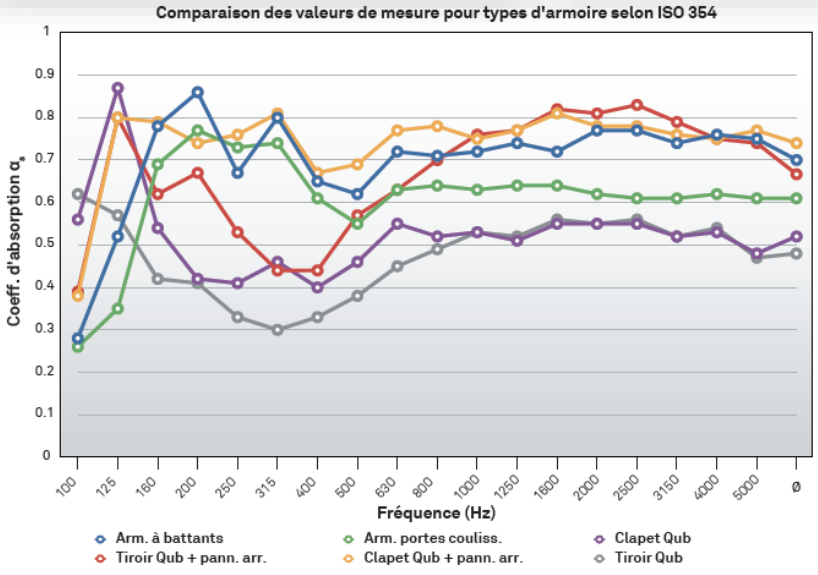
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

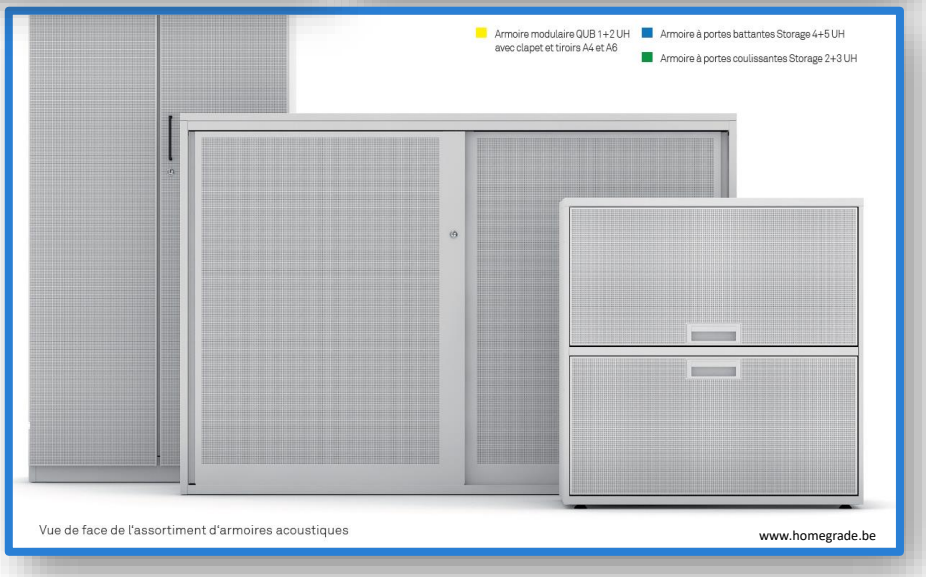
Materialen voor akoestische correctie: absorberend meubilair - resonatoren











De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: diafragma's – absorptiematerialen met membraan – absorptieprincipes

Diafragma's of akoestische panelen= panelen op een afstand van een muur geplaatst

Geluidstrillingen → trilling van het paneel + van de luchtspleet → zware massa, trilt in lage frequenties.

→ Absorptiedomein: LAGE FREQUENTIES, vooral op de eigen frequentie van het paneel:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{\rho_s d}}$$

Waarbij: d: afstand tot de muur (m),

ρ_s: massa per oppervlakte-eenheid van het paneel (kg/m²).

Voorbeeld:

Een bekleed MDF-paneel (ρ_s = 5 kg/m²), op 8 cm van de muur

→ eigen frequentie = 95 Hz.

Indien men een absorberend materiaal tussen het paneel en de muur plaatst

→ Absorptie over een grotere frequentiële zone.



De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: diafragma's – absorptiematerialen met membraan – absorptieprincipes

Diafragma's of akoestische panelen= panelen op een afstand van een muur geplaatst.

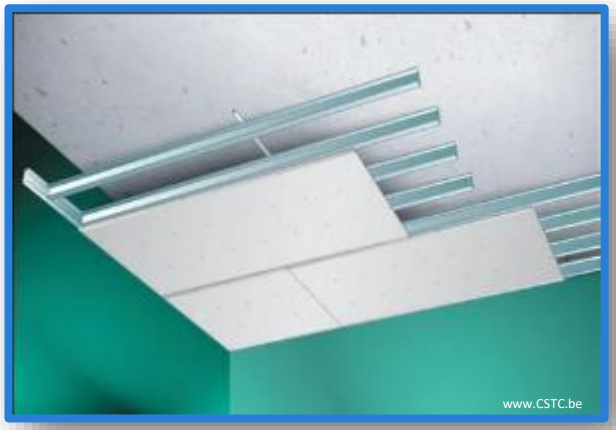
Geluidstrillingen → trilling van het paneel + van de luchtspleet → zware massa, trilt in lage frequenties.

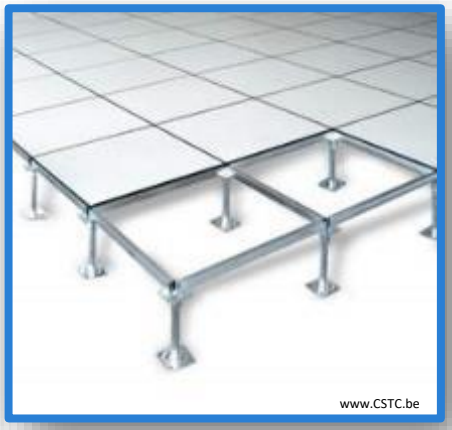
→ Absorptiedomein: LAGE FREQUENTIES, vooral op de eigen frequentie van het paneel:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{\rho_s d}}$$

Waarbij: d: afstand tot de muur (m),

ρ_s: massa per oppervlakte-eenheid van het paneel (kg/m²).



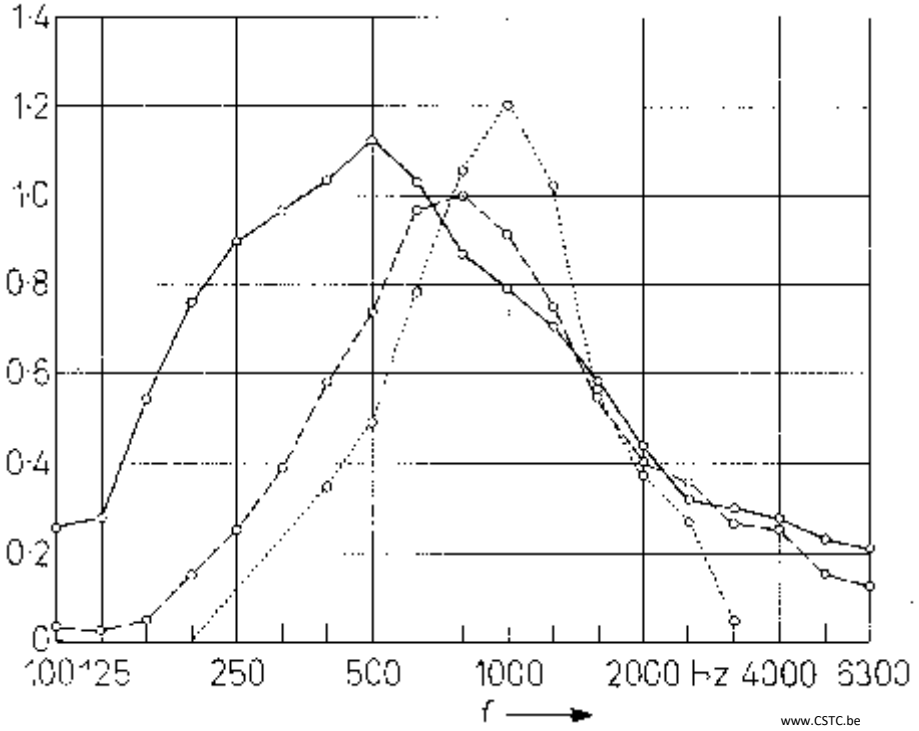




De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: diafragma's – absorptiematerialen met membraan – absorptieprincipes

Diafragma's of akoestische panelen= panelen op een afstand van een muur geplaatst.



Absorptiecoëfficiënt voor matten in minerale wol bekleed met een membraan (0.15 kg/m²) in de nagalmkamer.

Stippen …. Membraan rechtstreeks op 1.5 cm minerale wol geplaatst, rechtstreeks op de betonwand;

Stippellijn ------ Membraan rechtstreeks op 3 cm minerale wol geplaatst, rechtstreeks op de betonwand;

Volle lijn ____ Membraan rechtstreeks op 7 cm minerale wol geplaatst, rechtstreeks op de betonwand.

De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: diafragma's – absorptiematerialen met membraan





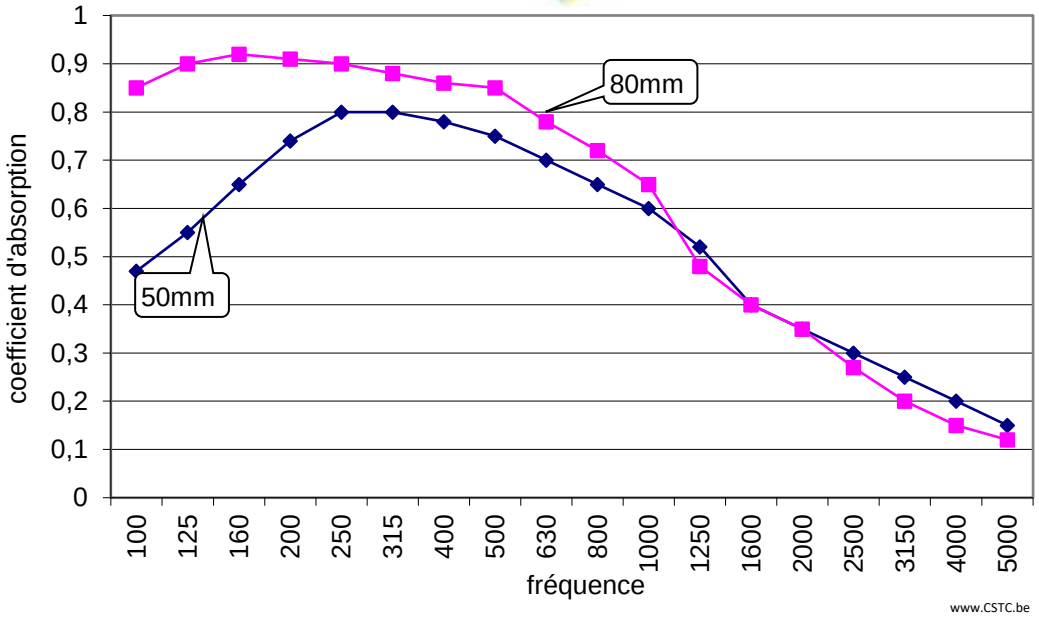


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

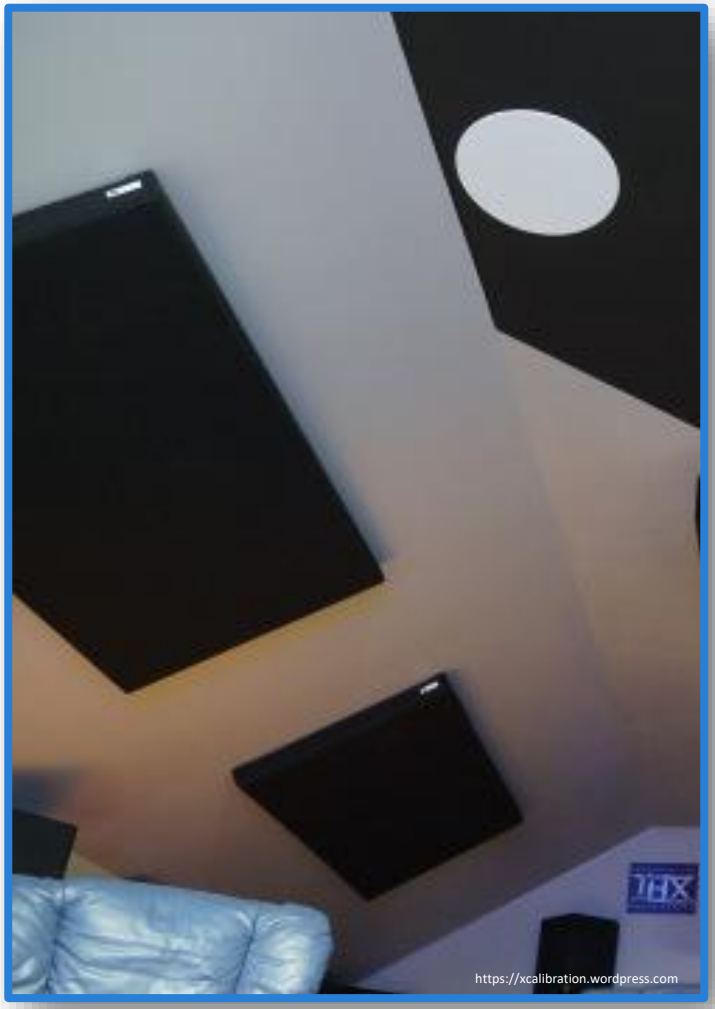
Materialen voor akoestische correctie: diafragma's – absorptiematerialen met membraan



www.CSTC.be



www.CSTC.be



De akoestische correctie van zalen in de praktijk

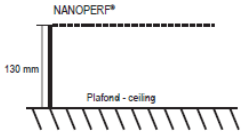
Materialen voor akoestische correctie: spanplafonds



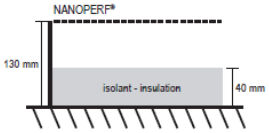




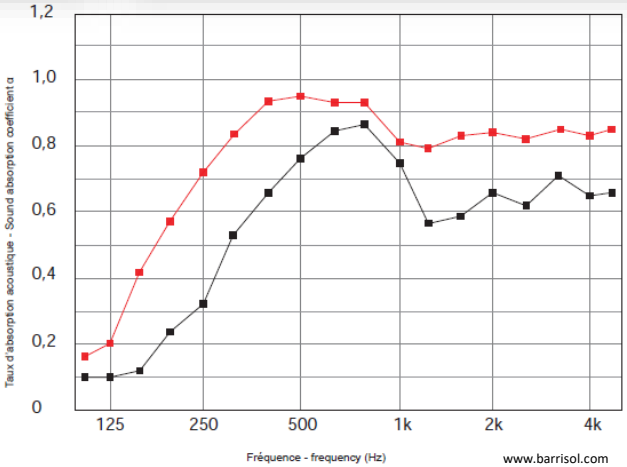
■ **NANOPERF®** sans isolant - *without insulation*



■ **NANOPERF®** avec isolant - *with insulation*



www.barrisol.com



www.barrisol.com

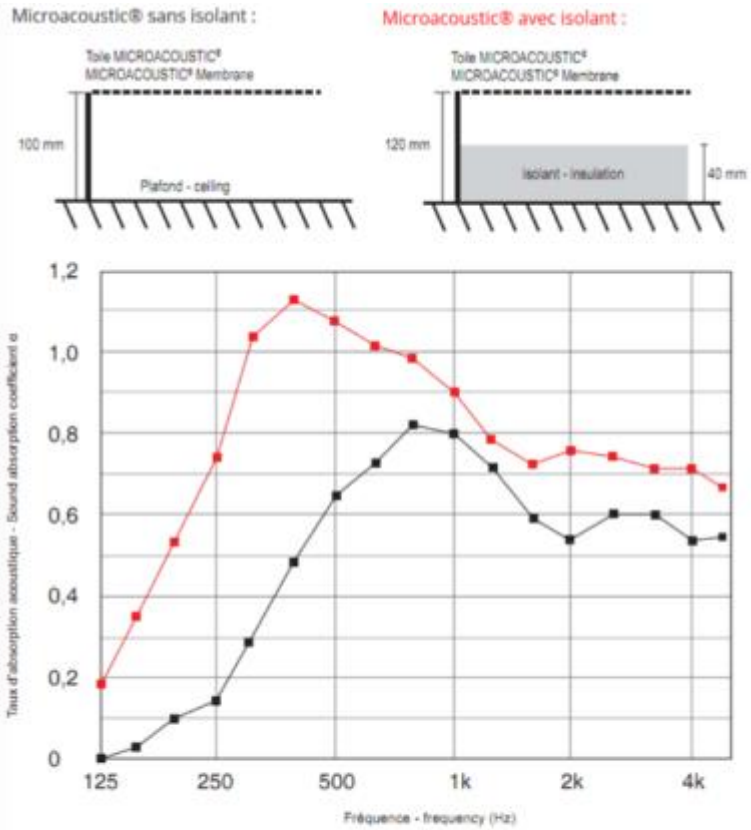


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: spanplafonds





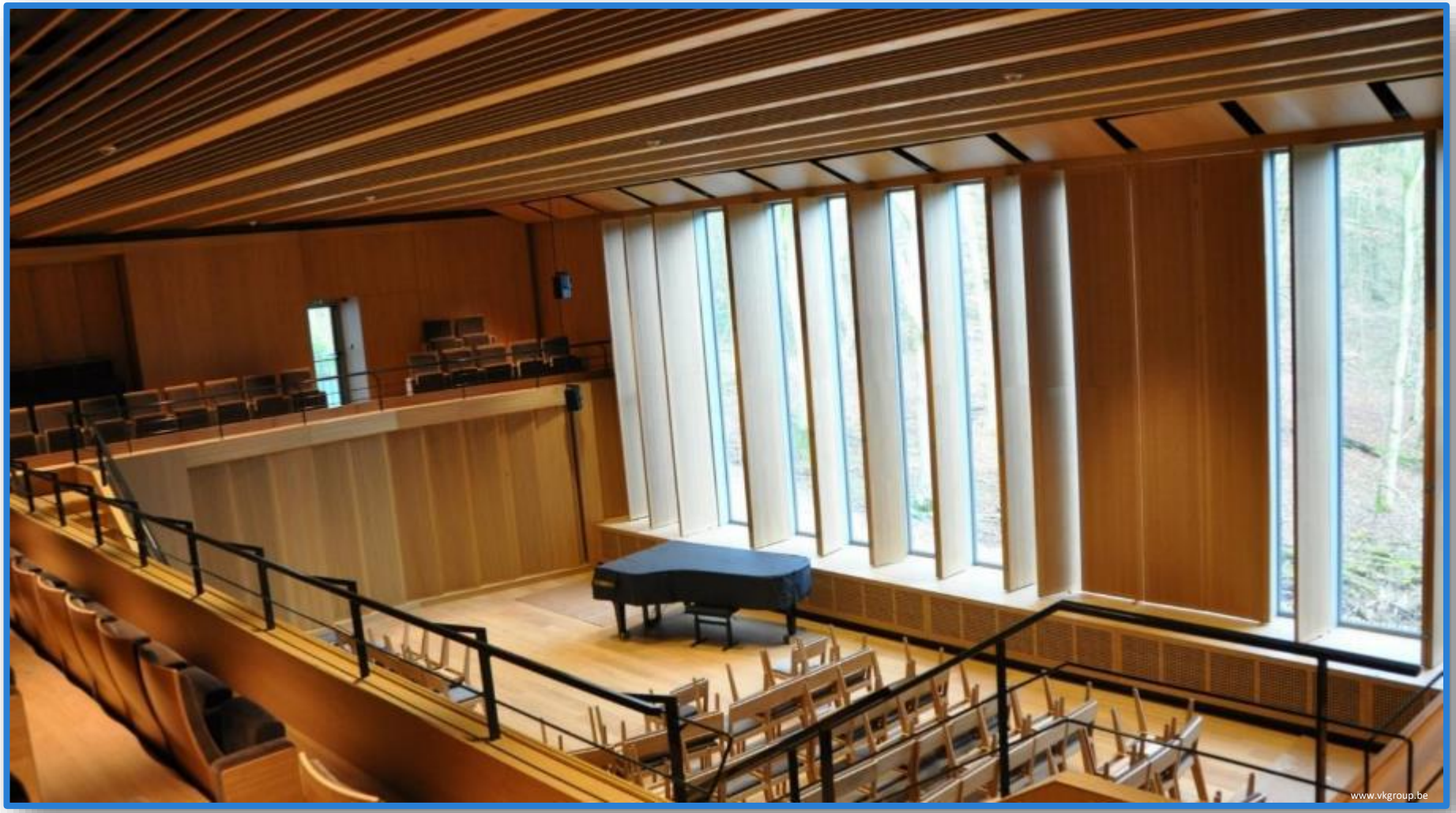


Indices d'absorption acoustique	Sans isolant	Avec isolant
Moyenne d'absorption selon ASTM C423 - 01	SAA = 0.54	SAA = 0.86
Coefficient de réductiondu bruit selon ASTMC423 -01	NRC = 0.50	NRC = 0.90
Coefficient d'absorption acoustique mesuré selon DIN EN 11654	αw=0,50 (M)	αw=0,80
Classe d'absorption acoustique selon DIN EN 11654	D	B


www.vkgroup.be

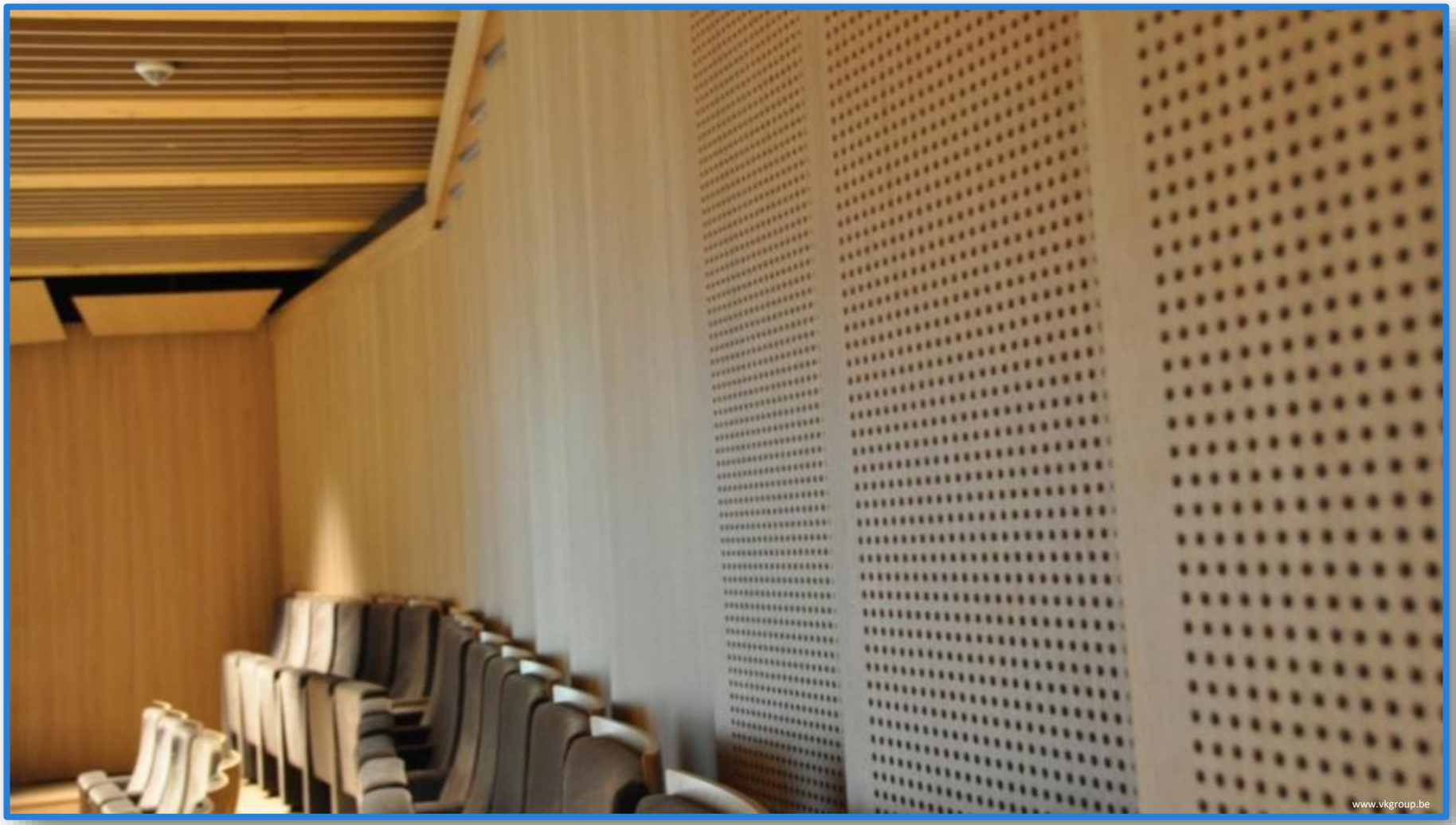
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Zaalakoestiek: zalen met een variabele nagalmtijd



De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Zaalakoestiek: zalen met een variabele nagalmtijd



De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Zaalakoestiek: zalen met een variabele nagalmtijd



De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Materialen voor akoestische correctie: diffusiepanelen





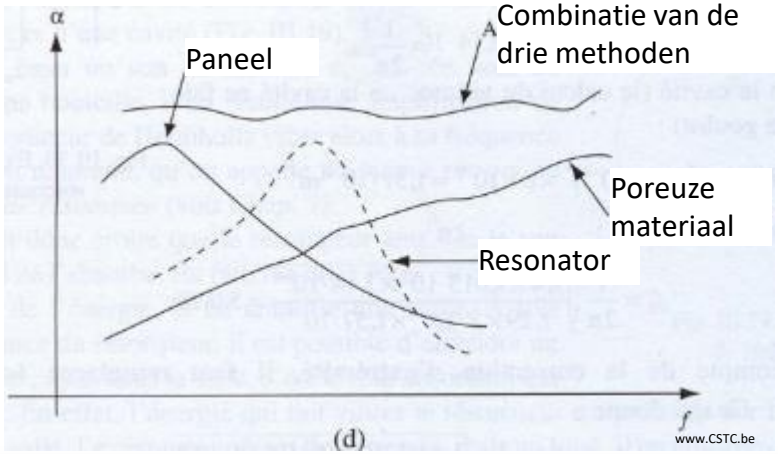




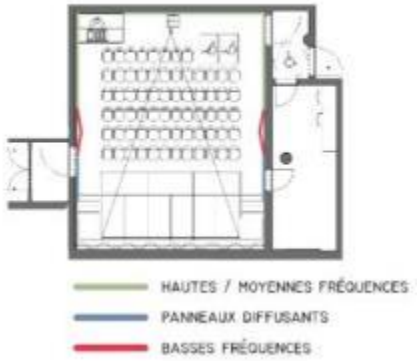


De akoestische correctie van zalen in de praktijk

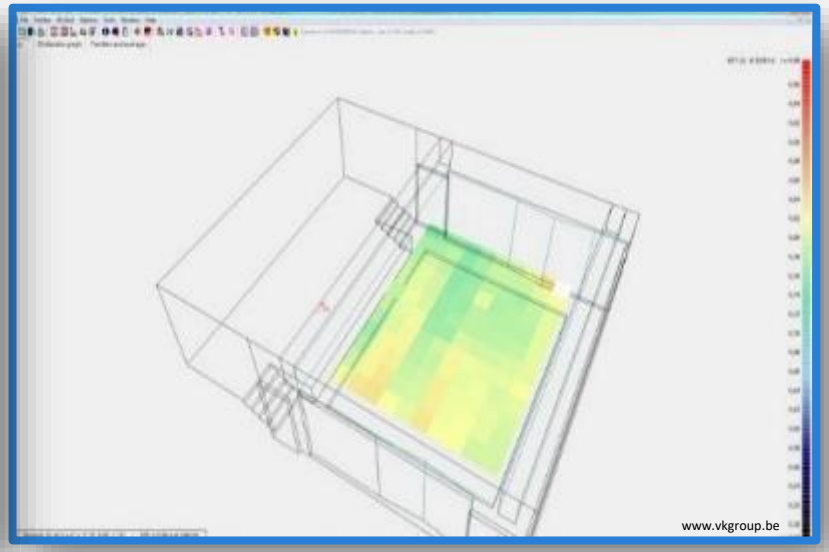
Zaalakoestiek: combinatie van verschillende absorptiesystemen die het volledige spectrum dekken





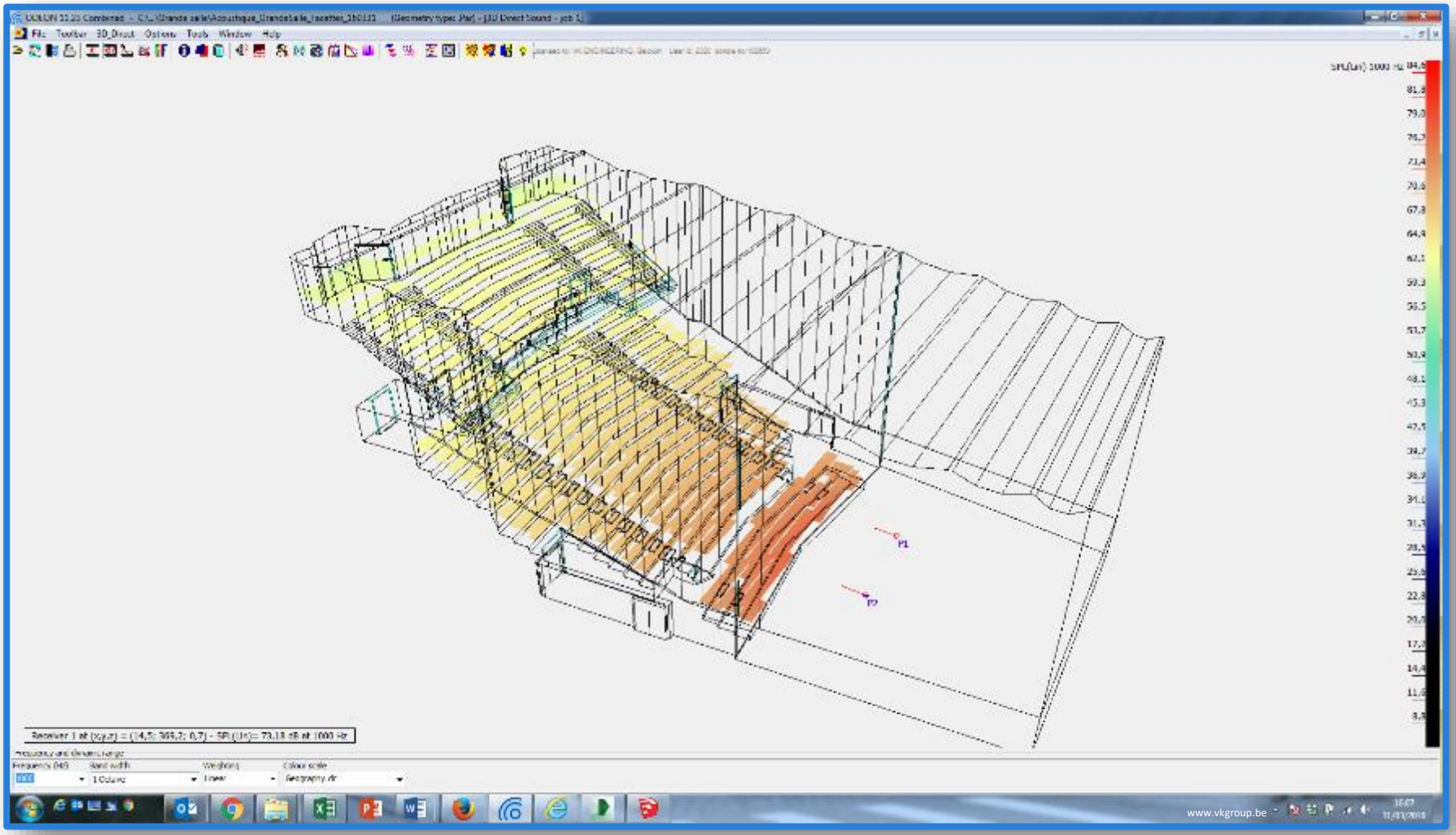






De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Zaalakoestiek: akoestische simulatiesoftware (straalbanen)



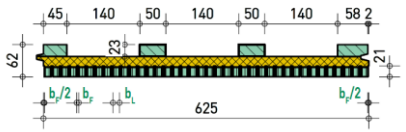
De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Zaalakoestiek: combinatie van verschillende absorptiesystemen die het volledige spectrum dekken

Variante d'absorbeur A50G

Env. 50 % de part d'absorbeur dans la couche transversale, absorbeur : fibres de bois souples

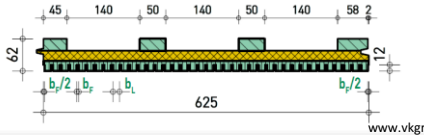
Coupe transversale :



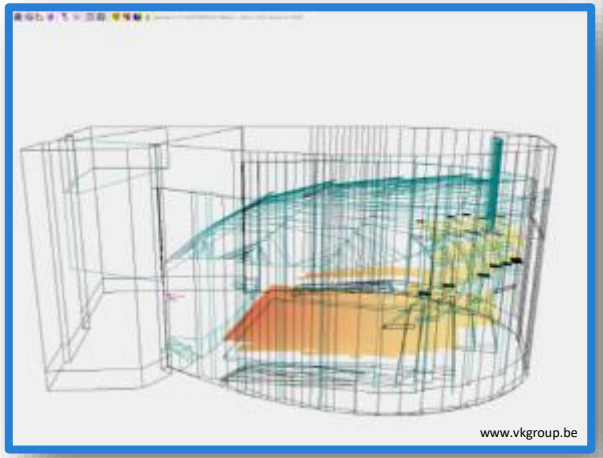
Variante d'absorbeur R0 (« réfléchissant »)

Les rainures sont moins profondes
et n'atteignent pas la couche d'absorbeur.

Coupe transversale



www.vkgroup.be





De akoestische correctie van zalen in de praktijk

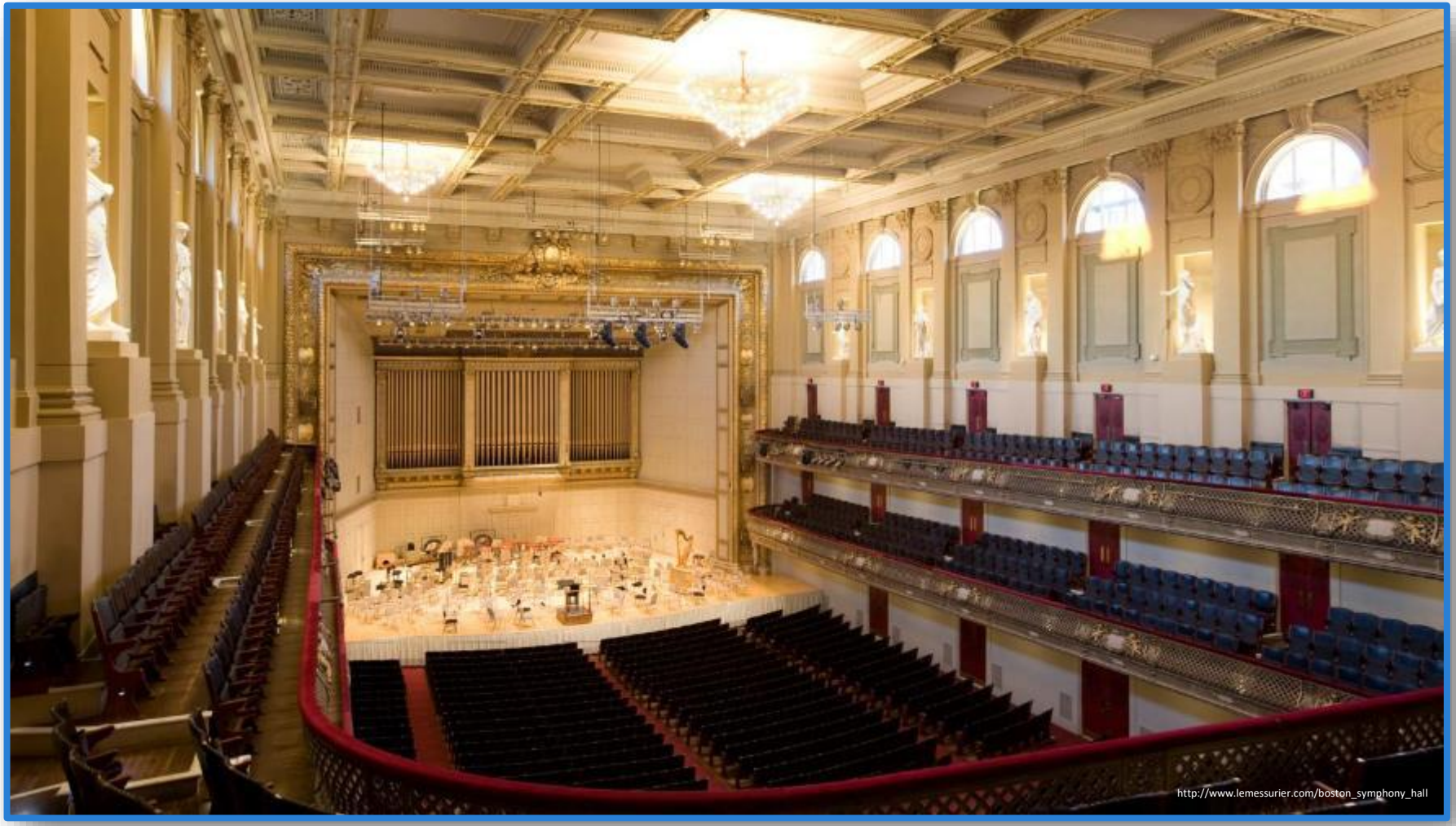
Zaalakoestiek: akoestische optimalisatie van “polyvalente” zalen





De akoestische correctie van zalen in de praktijk

Zaalakoestiek: de beste zalen ter wereld: de Boston Symphony Hall



Informatie over absorberende materialen (onvolledige lijst)

http://www.ruaud.com/

http://www.doxacoustics.com/

http://www.bruynzeelmultipanel.com/

http://www.abbarrisol.com/

http://www.sto.at/

http://www.rockfon.be

http://www.decoustics.com

www.ecophon.com

www.doxacoustics.be

www.caldic.be

http://www.texaa.com

Nuttige tools, websites, ...:

- **Gids Duurzame Gebouwen**



- Welkom

- Dossier | Het akoestisch comfort verzekeren



  - Voorziening | Akoestiek van een massieve enkele wand
  - Voorziening | Akoestiek van een lichte gipskartonwand
  - Voorziening | Akoestiek van een massieve dragende vloerplaat
  - Voorziening | Contactgeluidisolerende materialen en systemen
  - Overzicht van de voorzieningen



- Dossier | De bijdrage van het gebouw aan de geluidshinder in de wijk beperken

Nuttige tools, websites, enz.:

- ACOUSTIQUE PRATIQUE – J. Desmons – EDIPA, Paris – 2004.
- L'ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT PAR L'EXEMPLE – M. Meisser – Le Moniteur, Paris – 1994.
- ACOUSTIQUE PRATIQUE – J. Desmons – EDIPA, Paris – 2004.
- BOUWAKOESTIEK – G. Vermeir – Faculteit Toegepaste Wetenschappen, K.U. Leuven – 2003.
- CORRECTION ET ISOLATION ACOUSTIQUE – J. Boeckstael / M. Van Damme – Institut Supérieur Industriel de la Communauté Française, Mons – 1999.
- LA PRATIQUE DE L'ISOLATION ACOUSTIQUE DES BÂTIMENTS – J. Pujolle – Editions du Moniteur, Paris – 1978.
- ZAALAKOESTIEK – D. De Vries – Hogere Cursus Akoestiek, Antwerpen – 2002.
- Artikelen en conferenties van het WTCB 2001-2014 – www.wtcb.be – www.normen.be

Contact

Manuel VAN DAMME

Acoustical Expert @ Build Silence

www.buildsilence.be

mvd@buildsilence.be

+32 (0)478/98.98.42

Build Silence

Acoustical Experts & Engineers