

OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

AKOESTIEK : ONTWERP EN REALISATIE

LENTE 2023

Nagalm en geluidabsorptie

Theorie, praktische oplossingen en materialen

Debby WUYTS

 Buildwise



Het akoestische comfort integreren in gebouwen

- Globale akoestische benadering in een type-gebouw



Vijf te behandelen thema's

- Installatielawaai
- Luchtgeluidisolatie
- Gevelgeluidisolatie
- Contactgeluidisolatie
- **Beheersing van de nagalm**

Definitie :

Een beheersing van de nagalm vermindert de **lawaaiigheid** en bevordert het **luistercomfort** binnen de ruimte. Door in te spelen op het **ontwerp en de inrichting** kan de akoestische beleving van de ruimte afgestemd worden op haar gebruik.





- ▶ Beheersing van **de parameters, de grootteordes en normatieve doelstellingen** om de zaalakoestische kwaliteit van ruimten af te stemmen op hun gebruik
- ▶ Inzicht in de verschillende **absorptiemechanismes** van afwerkingsmaterialen die een ruimte-akoestische behandeling van de ruimte over het **volledige frequentiedomein** toelaten
- ▶ Correcte interpretatie van **technische fiches** van geluidsabsorberende materialen en toepassingen
- ▶ Inschatten van de invloed op de **nagalmtijd** in een ruimte op basis van haar afwerkingsmaterialen aan de hand van de formule van Sabine
- ▶ Begrip van eenvoudige **vuistregels en richtlijnen** voor het ruimte-akoestische ontwerp van **klaslokalen, refters en landschapskantoren**



GELUIDSABSORBERENDE MATERIALEN

- ▶ **Absorptie vs. isolatie**
- ▶ **Geluidsabsorptiecoëfficiënt**
- ▶ **Absorptiemechanismen**
- ▶ **Toepassingsvoorbeelden**

GELUIDSABSORPTIE IN DE RUIMTE

- ▶ Totale absorptie in de ruimte
- ▶ Nagalmtijd
- ▶ Ruimte-akoestische beleving

PRESTATIE-EISEN IN GEBOUWEN

- ▶ Normatieve eisen
- ▶ Rekenvoorbeelden

RUIMTE-AKOESTISCHE ONTWERPRICHTLIJNEN

- ▶ Klaslokalen
- ▶ Refters
- ▶ Landschapskantoren



5 GELUIDISOLATIE ≠ GELUIDABSORPTIE

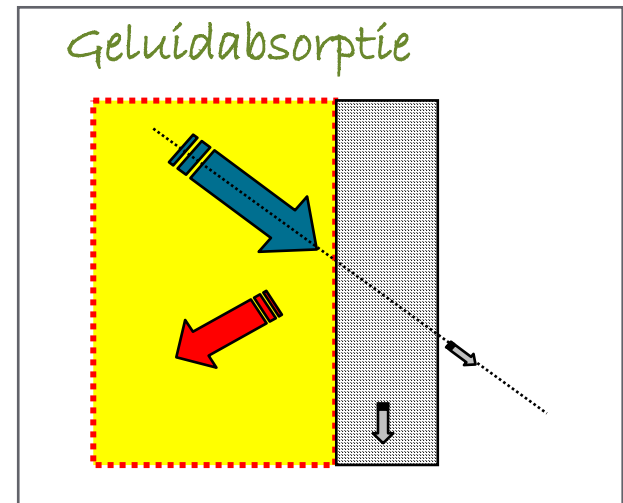
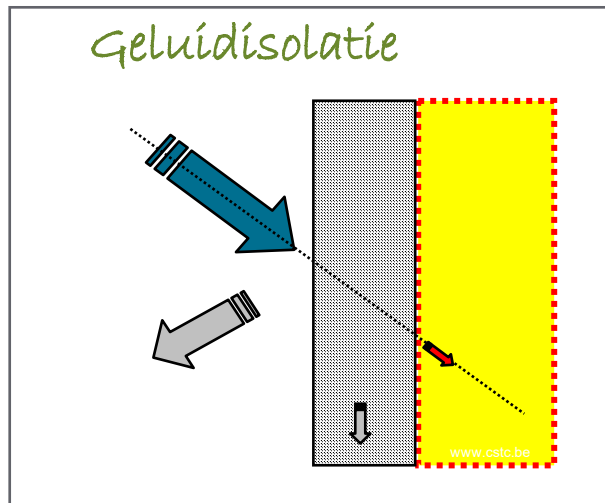
Hennep : absorptiemateriaal, niet isolerend

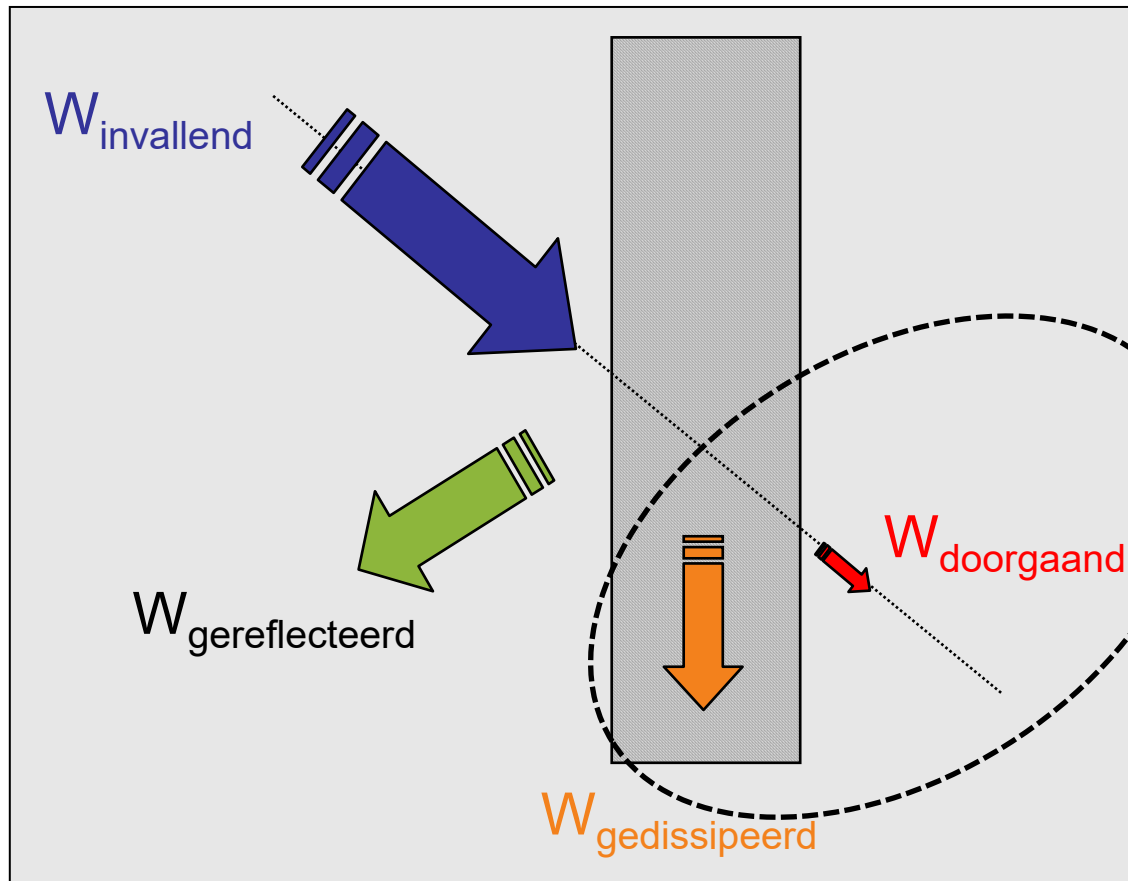
- ▶ Geluidisolatie : 5 dB
- ▶ Geluidabsorptie : 0,65

Houtpaneel: isolatiemateriaal, niet absorberend

- ▶ Geluidisolatie : 29 dB
- ▶ Geluidabsorptie: 0,2

Twee verschillende akoestische behandelingen ...



Materiaalkarakteristiek α [-]

$$\alpha = W_{\text{geabsorbeerd}} / W_{\text{invallend}}$$

$W_{\text{geabsorbeerd}}$

= **geabsorbeerd** geluidvermogen, vanwege **transmissie doorheen** het materiaal en **dissipatie in** het materiaal

= **niet-gereflecteerd** vermogen

$\alpha = 0.10 \rightarrow 10\%$ geabsorbeerd

$\alpha = 0.50 \rightarrow 50\%$ geabsorbeerd

$\alpha = 1.00 \rightarrow 100\%$ geabsorbeerd

$$W_{\text{invallend}} = W_{\text{doorgaand}} + W_{\text{gedissipeerd}} + W_{\text{gereflecteerd}}$$



Meting in laboratorium

“Reverberation room method” voor diffuse inval (ISO 354)



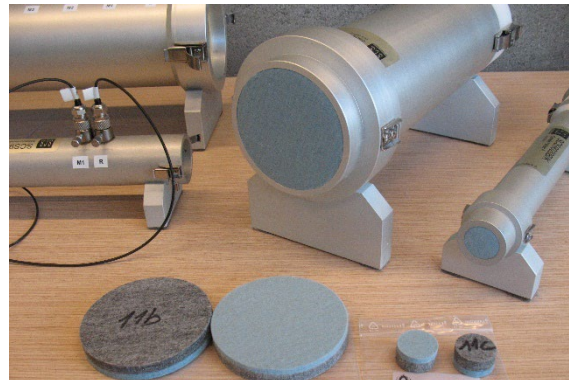
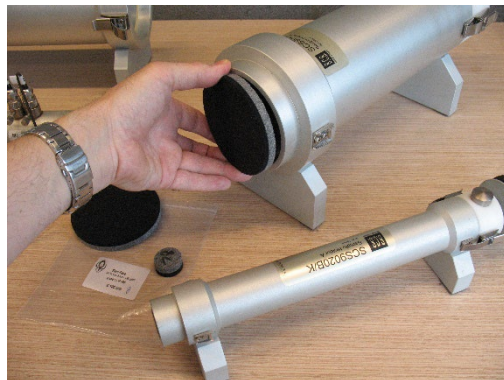
“Nagalmkamer”

Minimum 10m²

Volledige systemen,
praktijkgetrouw

Plafonds, gordijnen,
geluidschermen,
spuitpleisters...

“Impedance tube method” voor loodrechte inval (ISO 10534)



“buis van Kundt”

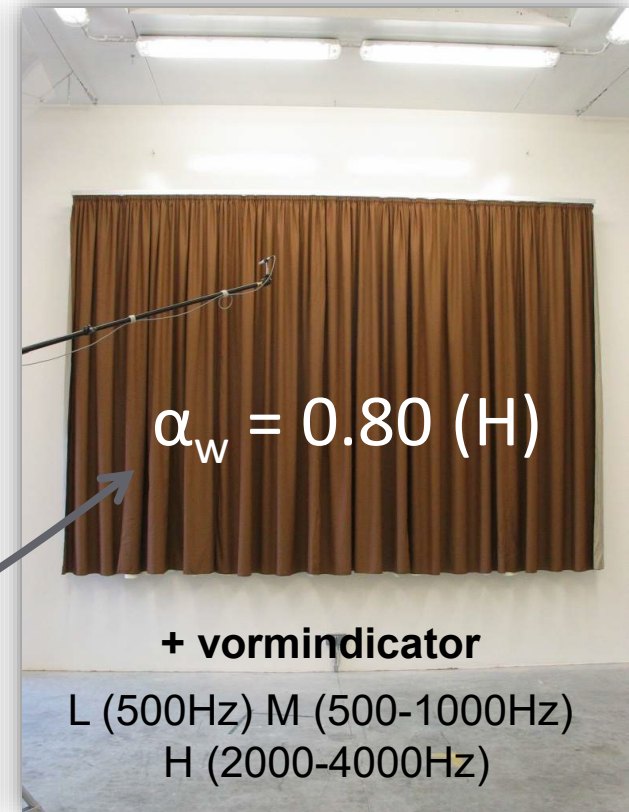
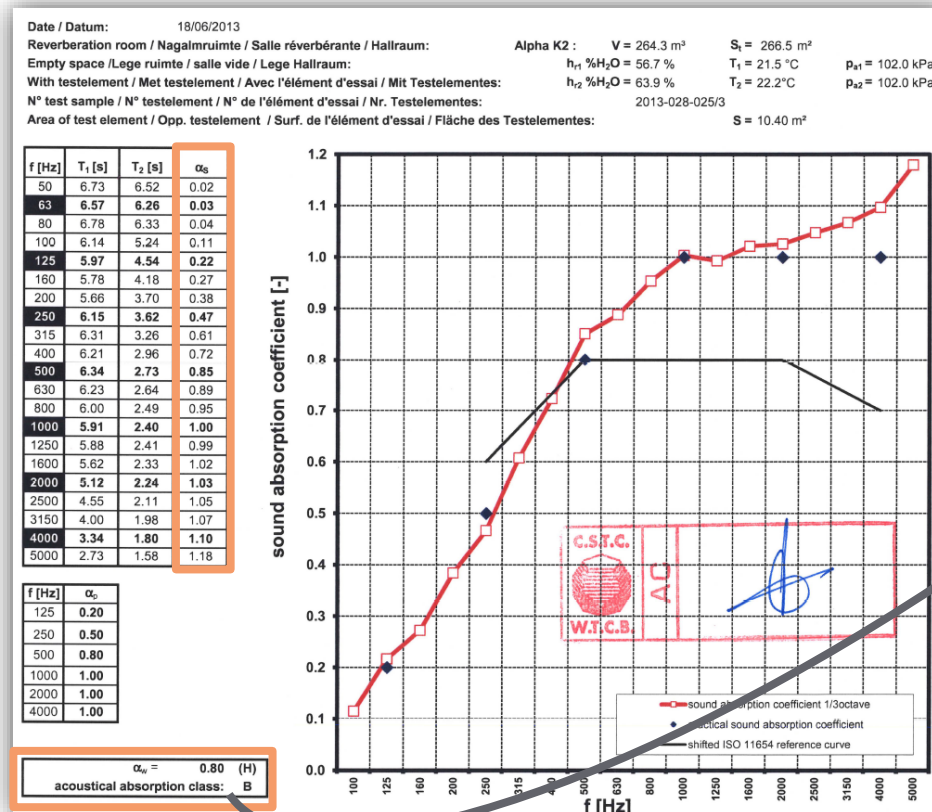
Samples

D = 3 cm

D = 10 cm

Productontwikkeling



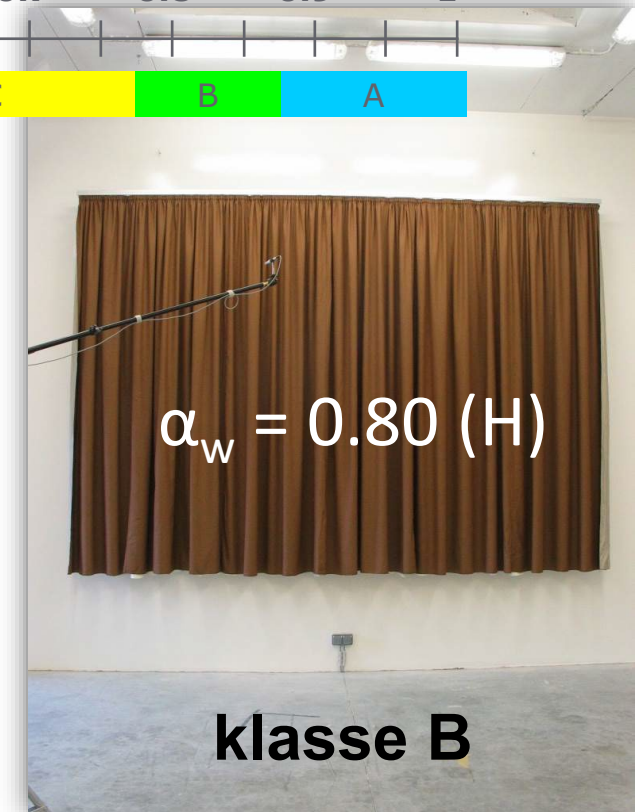
Gewogen ééngetalswaarde α_w α_s "geluidabsorptiecoëfficiënt" [50-5000 Hz] (gemeten volgens ISO 354 in de nagalmkamer) α_w "gewogen geluidabsorptiecoëfficiënt" (ééngetalswaarde berekend volgens ISO 11654)

Geluidabsorptieklasse



Classe d'absorption acoustique	α_w
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,25; 0,20; 0,15
Non classé	0,10; 0,05; 0,00

Uittreksel ISO 11654 (1997), Informatieve bijlage B



ACOUSTIC PANEL 1250 x 625 mm – directement sur support

f (Hz)	Class	NRC	α_w	125	250	500	1000	2000	4000
ap ACOUSTIC PANEL 60 mm	A	0.95	0.95	0.30	0.75	1.00	1.00	0.90	0.90

Testé suivant DIN EN ISO 354

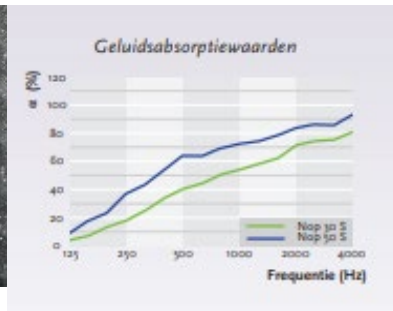
PRECISIE

- Klasse (A – E)
- α_w (0.05) globale waarde
- Vormindicator L, M, H
- α_p (0.05) per octaafband (125-4000 Hz)
- α_s (0.01) per tertsband

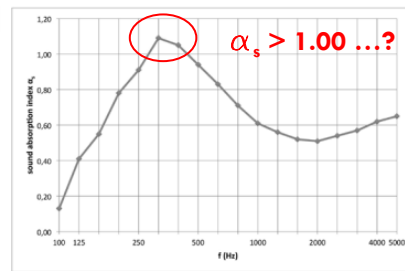
GELUIDSABSORPTIE

- 30 mm: NRC 0,45; α_w 0,45.
- 50 mm: NRC 0,60; α_w 0,65.

NRC en α_w -waarden van andere dikten op aanvraag. De geluidsabsorptie wordt weergegeven in de grafiek. De geluidsabsorptiewaarden zijn gemeten volgens EN 354: 2003.

TEST SETUP
IN LAB:
WALLSTOTAL THICKNESS
88 mm

f(Hz)	T1 (s)	T2 (s)	α_s
50			
63			
80			
100	7.36	5.14	0.13
125	6.08	3.73	0.41
160	5.81	3.21	0.55
200	10.03	2.54	0.78
250	8.57	2.17	0.91
315	7.84	1.85	1.09
400	7.01	1.85	1.05
500	6.74	1.99	0.94
630	6.76	2.16	0.83
800	6.71	2.39	0.71
1000	7.01	2.68	0.61
1250	6.89	2.80	0.56
1600	6.09	2.76	0.52
2000	5.47	2.66	0.51
2500	4.76	2.42	0.56
3150	3.93	2.12	0.57
4000	3.15	1.81	0.62
5000	2.47	1.54	0.65



f(Hz)	α_s
125	0.35
250	0.95
500	0.95
1000	0.65
2000	0.50
4000	0.60

Type S 6.8 % 13.2/2.8 mm

Mounted on a wooden frame with a thickness of 70 mm, filled with 50 mm of Rockfit 431 adapt 40 kg/m³.



Prestaties



Geluidsabsorptie
 α_w : tot 1,00 (Klasse A)



Directe geluidsisolatie
 R_w = 22 dB

* Rockfon Mono Acoustic panelen

** Rockfon Mono Acoustic Direct panelen

Dikte (mm) /
Afhanghoogte (mm)

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_w	Absorptieklasse	NRC
Elegant Render (Wit) 40 / 200 *	0,50	0,65	0,85	0,95	1,00	1,00	0,90	A	0,90
Elegant Render (Wit) 40 / 40 **	0,25	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	A	0,95

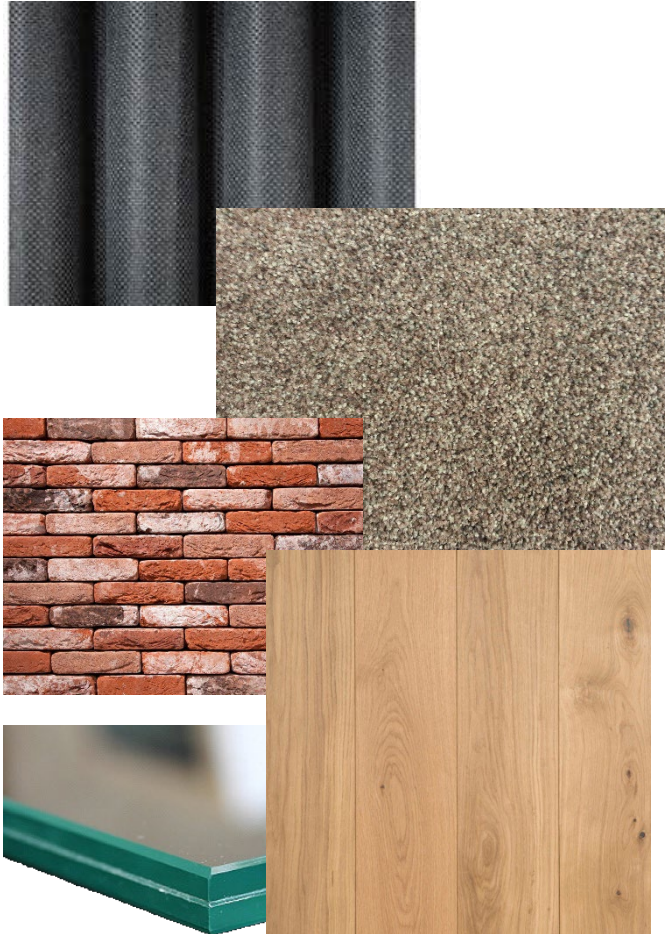
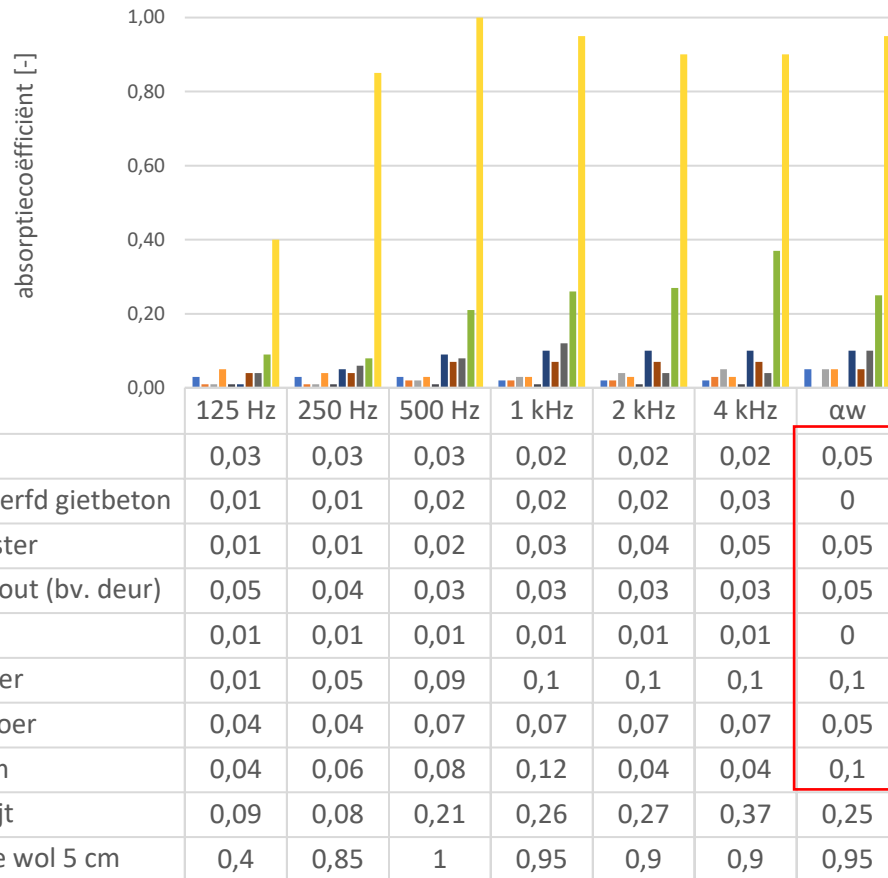


Tableau B.1 — Valeurs type pour le coefficient d'absorption

Matériau	Coefficient d'absorption acoustique α_s en bandes d'octave, fréquence centrale en Hz					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
béton, maçonnerie en briques crépies	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
maçonnerie en briques non crépies	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
revêtements de sol durs (par exemple : PVC, parquet) sur plancher lourd	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
revêtements de sol souples sur plancher lourd ; ≤ 5 mm	0,02	0,03	0,06	0,15	0,30	0,40
revêtements de sol souples sur plancher lourd ; ≥ 10 mm	0,04	0,08	0,15	0,30	0,45	0,55
plancher en bois, parquet en lattes	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
fenêtres, façade de verre	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
portes (bois)	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
voilage ; de 0 mm à 200 mm devant une surface dure ^a	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02
rideau, < 0,2 kg/m ² ; de 0 mm à 200 mm devant une surface dure ; minimum type ^a	0,05	0,06	0,09	0,12	0,18	0,22
rideau , matériau tissé ≈ 0,4 kg/m ² ; plissé ou froissé > 1:3, de 0 à 200 mm devant une surface dure ; maximum type	0,10	0,40	0,70	0,90	0,95	1,00
grandes ouvertures (plus petite dimension > 1 m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
grille d'aération, zone ouverte 50 %	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
NOTE Ces données s'appuient sur des publications utilisées en Autriche, au Danemark et aux Pays-Bas.						
^a Devant une fenêtre, les valeurs de la combinaison peuvent augmenter jusqu'à atteindre des valeurs de fenêtre nue.						

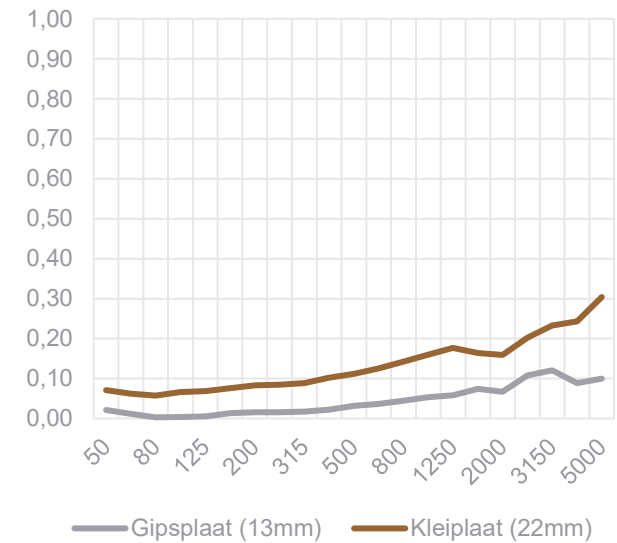
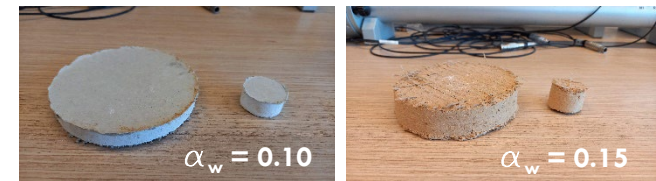


Courante afwerkingsmaterialen



≈ 0

Gipsplaat vs. kleiplaat...?

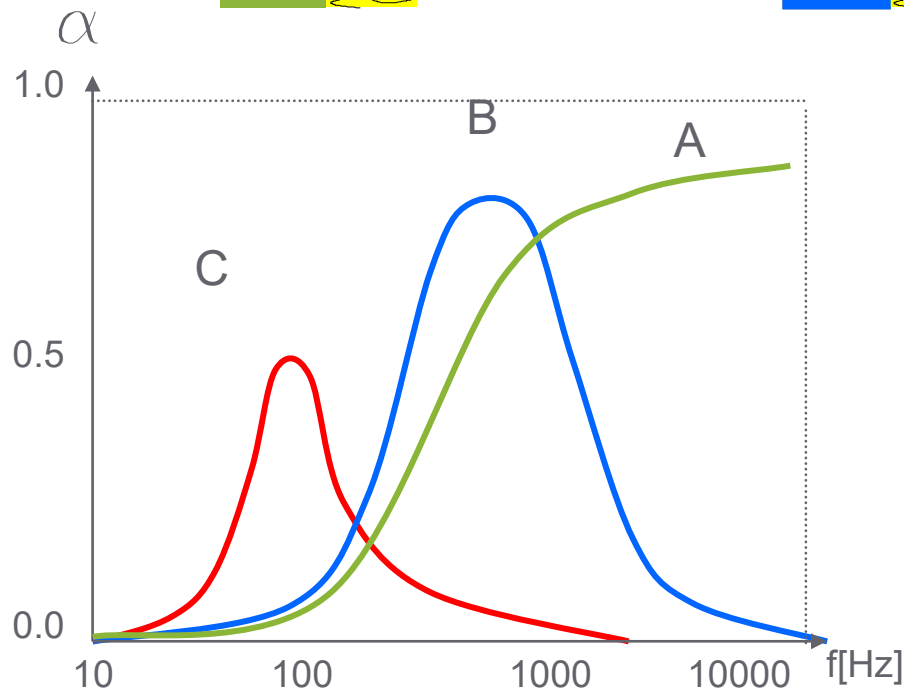
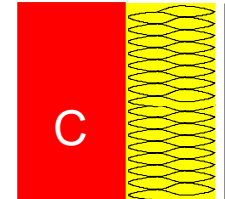
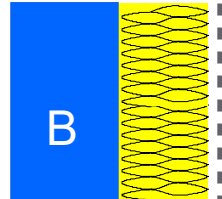
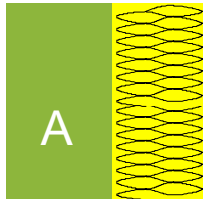


Invloed verflaag...?



Absorptie in functie van frequentie

Zie ook : Voorzieningen voor geluidsabsorptie | Gids Duurzame Gebouwen



A. Poreuze absorptie

onbedekt poreus materiaal

→ vnl. hoogfrequent : ≥ 1400 Hz

B. Helmholtz-resonantie

Poreus materiaal afgedekt met gesleufde of geperforeerde plaat

→ vnl. middenfrequent: 300 Hz – 1500 Hz

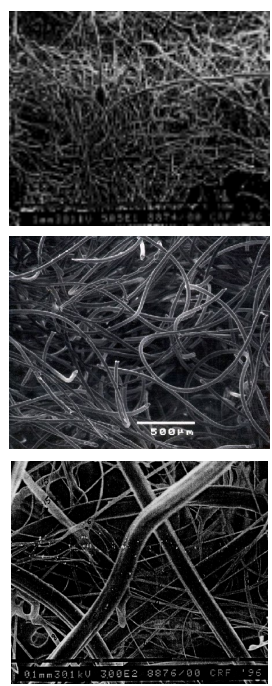
C. Paneelresonantie

Poreus materiaal afgedenkt met volle panelen

→ vnl. laagfrequent : ≤ 300 Hz



Vezelachtig materiaal
*samengeperste of geweven minerale
vezels, katoenvezels, houtvezels,
wolvezels, synthetische vezels,...*



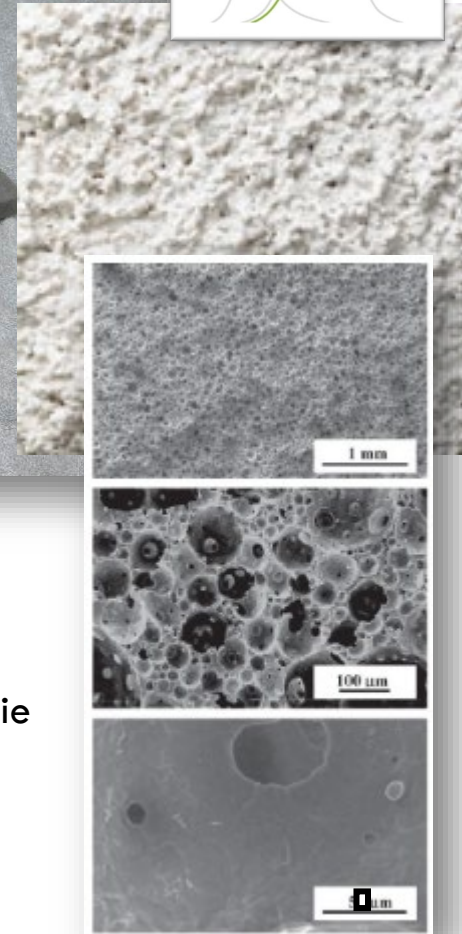
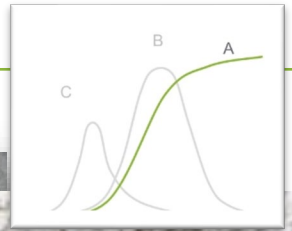
Opencellig materiaal
*geëxpandeerd kleischuim,
opencellig PU-schuim, gespoten
kurkkorrels, spuitpleisters,
melamine schuim, ...*

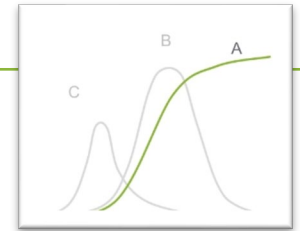
Materialen met luchtopen,
labirynthstructuur

Dissipatie van mechanische energie
(drukgolven)

- Viskeuze effecten
- Thermische effecten (wrijving)
- Structurele damping

Voornamelijk **hoogfrequente absorptie**

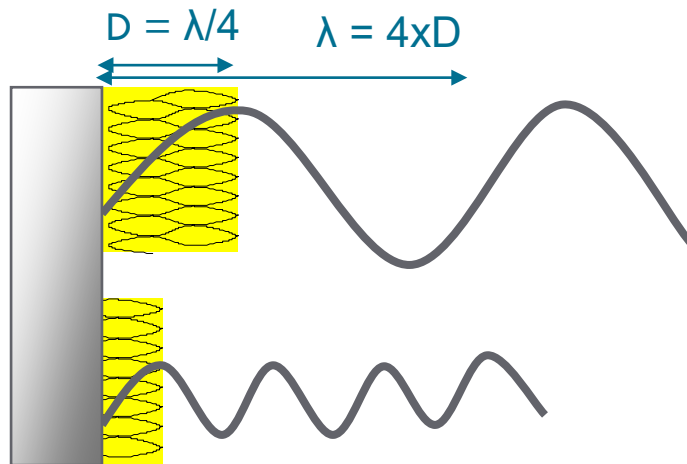




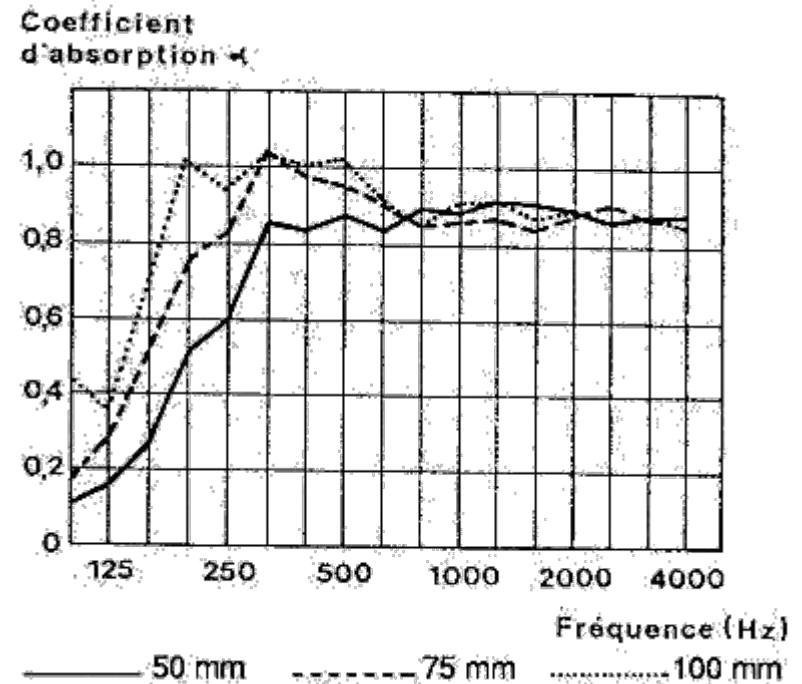
Invloed van de laagdikte

(golflengte $\lambda = 340 / \text{frequentie } f$)

Om geluid met golflengte λ te absorberen is **minimale laagdikte** $D \geq \lambda / 4$ nodig

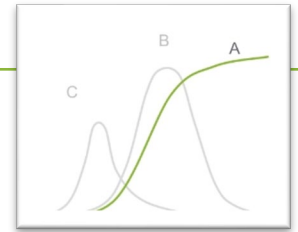


(100 Hz $\rightarrow$ > 85 cm dikke laag nodig!)



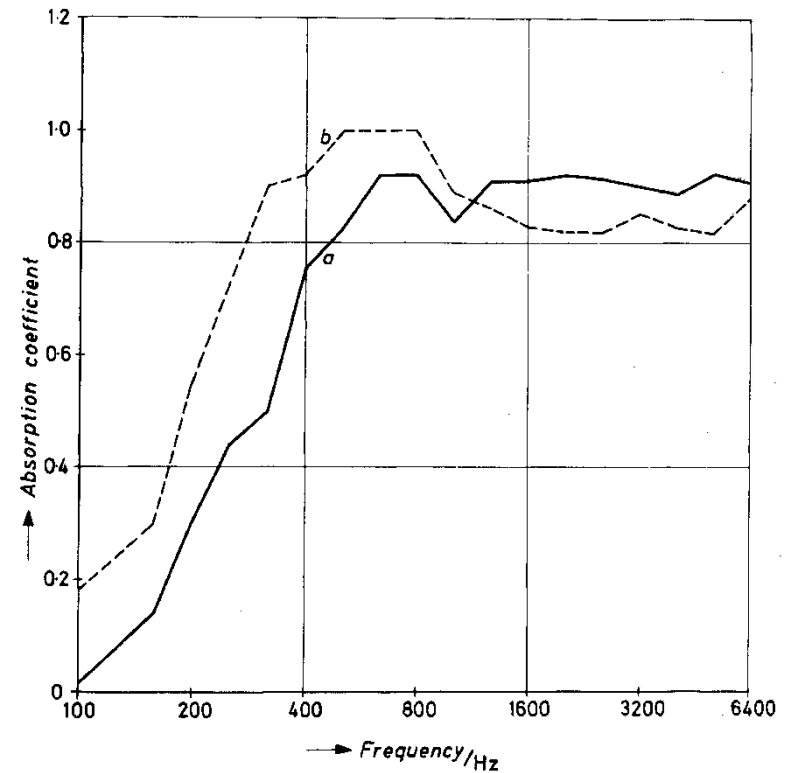
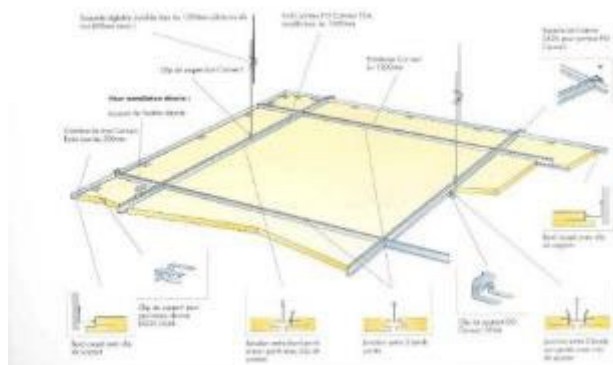
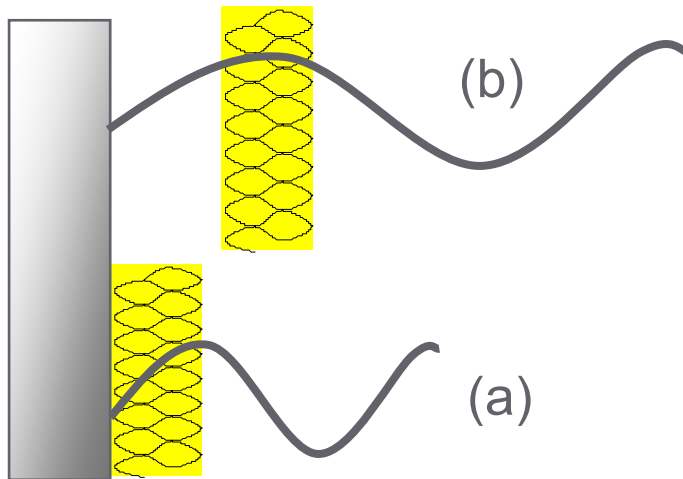
- Hoe dikker de laag, hoe meer laagfrequente absorptie
- Boven 5000 Hz is reeds voldoende absorptie aanwezig vanwege tapijt, kledij, gordijnen...





Invloed van de afstand tot de harde wand

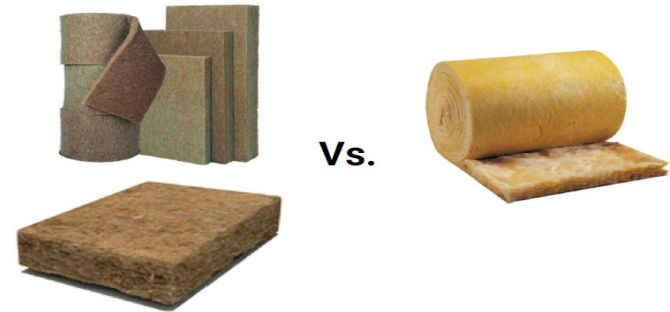
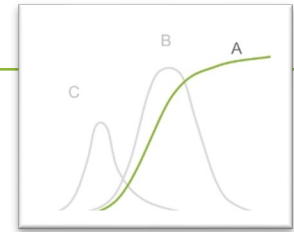
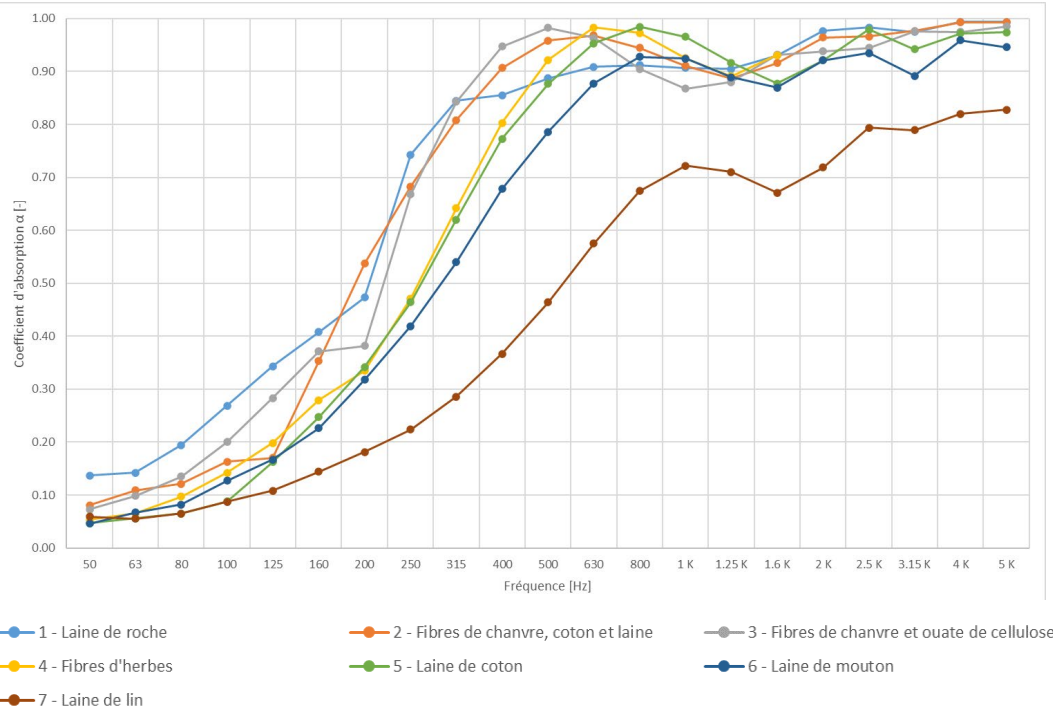
Toename van de **laagfrequente absorptie** dankzij **luchtspouw**



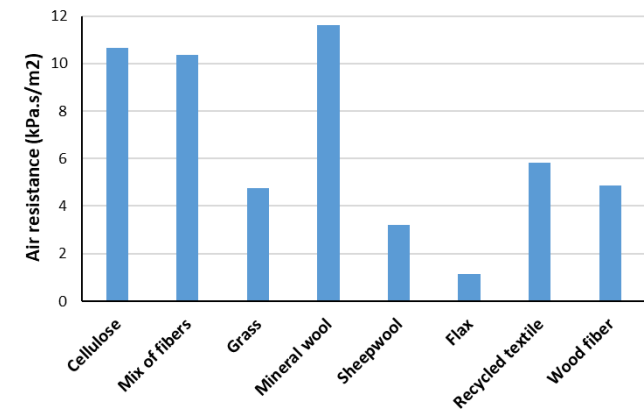
Voorbeeld : verlaagd absorberend plafond

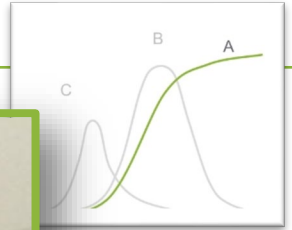


Biobased vs. traditionele materialen

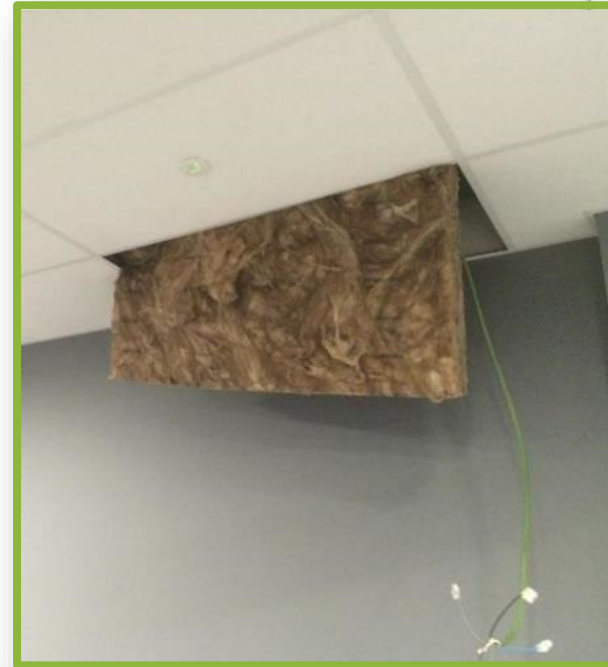


Vergelijkbare prestaties voor overeenkomstige
luchtdoorstromingsweerstand (densiteit)





Plafondtoepassingen

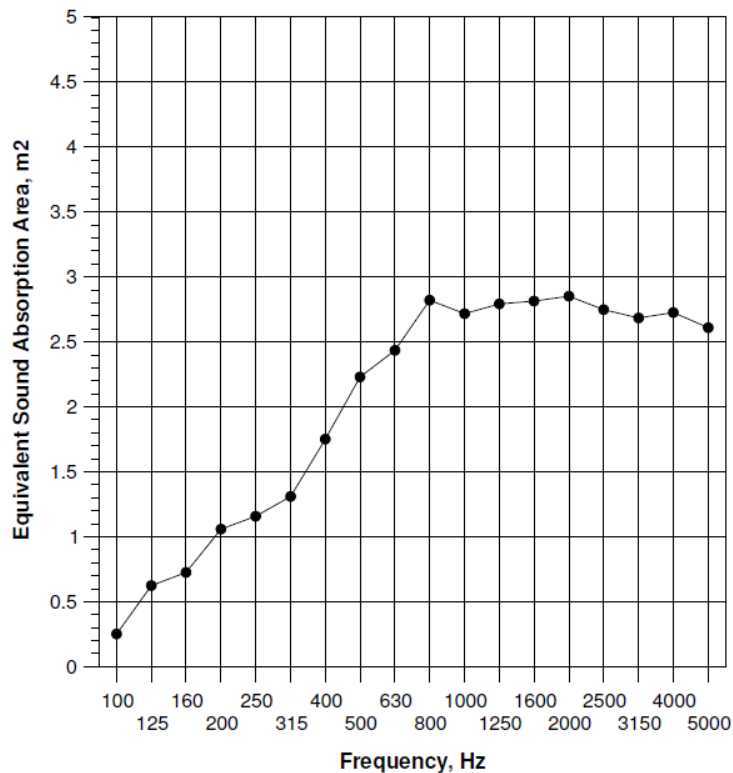




Plafondeilanden

Absorptie A [m²] = oppervlakte S [m²] x α

Equivalent Sound Absorption Area, m² per object



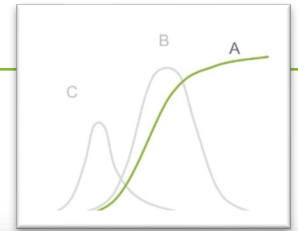
Test object	Equivalent sound absorption area in octave bands, (A_{obj} m ²)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Master Solo S 1200x1200 - 200 Single panel	0,5	1,1	1,9	2,2	2,2	1,9
Master Solo S 1200x1200 - 600 Single panel	0,5	0,8	1,7	2,6	2,7	2,5
Master Solo S 2400x1200 - 200 Single panel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



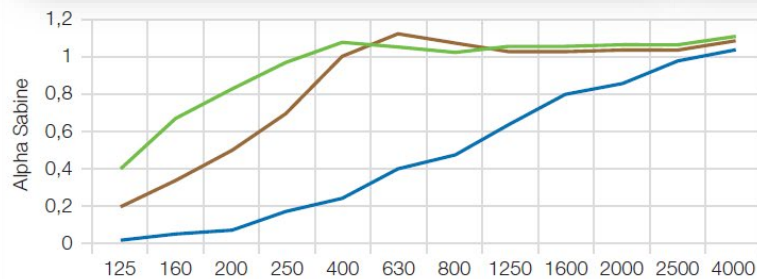


Muurtoepassingen





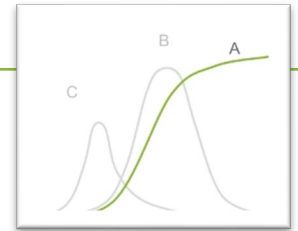
Gespoten toepassingen



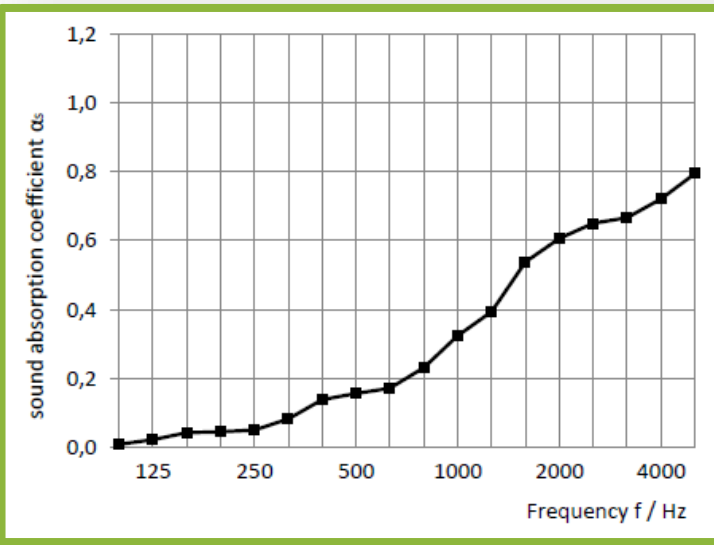
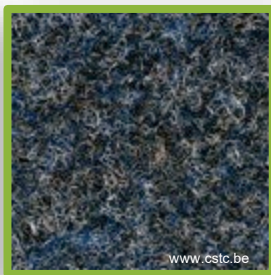
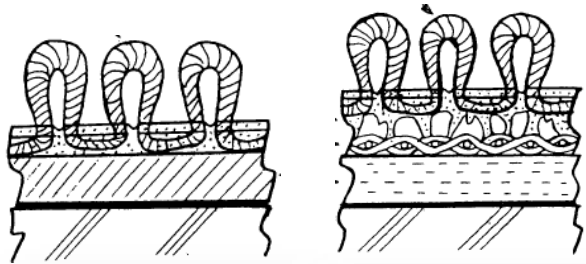
- Épaisseur 12,5 mm
 $\alpha_w = 0,35(MH)$ Classe D
- Épaisseur 45 mm
 $\alpha_w = 1,00$ Classe A
- Épaisseur 80 mm
 $\alpha_w = 1,00$ Classe A

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)



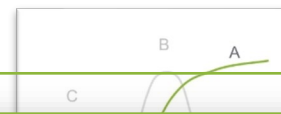


Vloerbekledingen



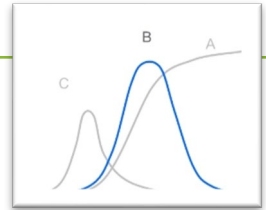
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	α_w
Laine min. 20 kg/m ³ - 100 mm	0.38	0.76	0.96	0.93	0.96	1.04	0.85
Moquette – valeurs courantes	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37	0.25



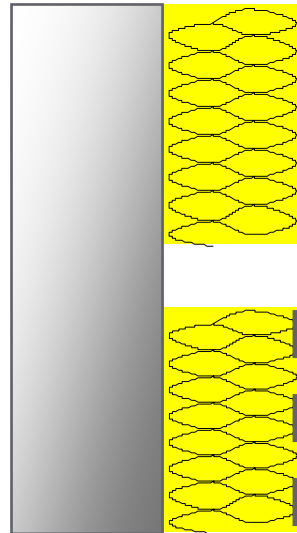


Meubilair



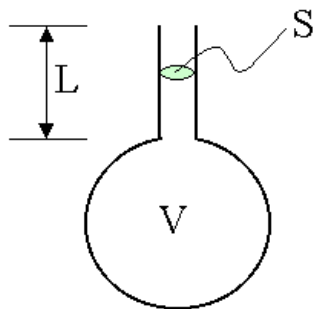
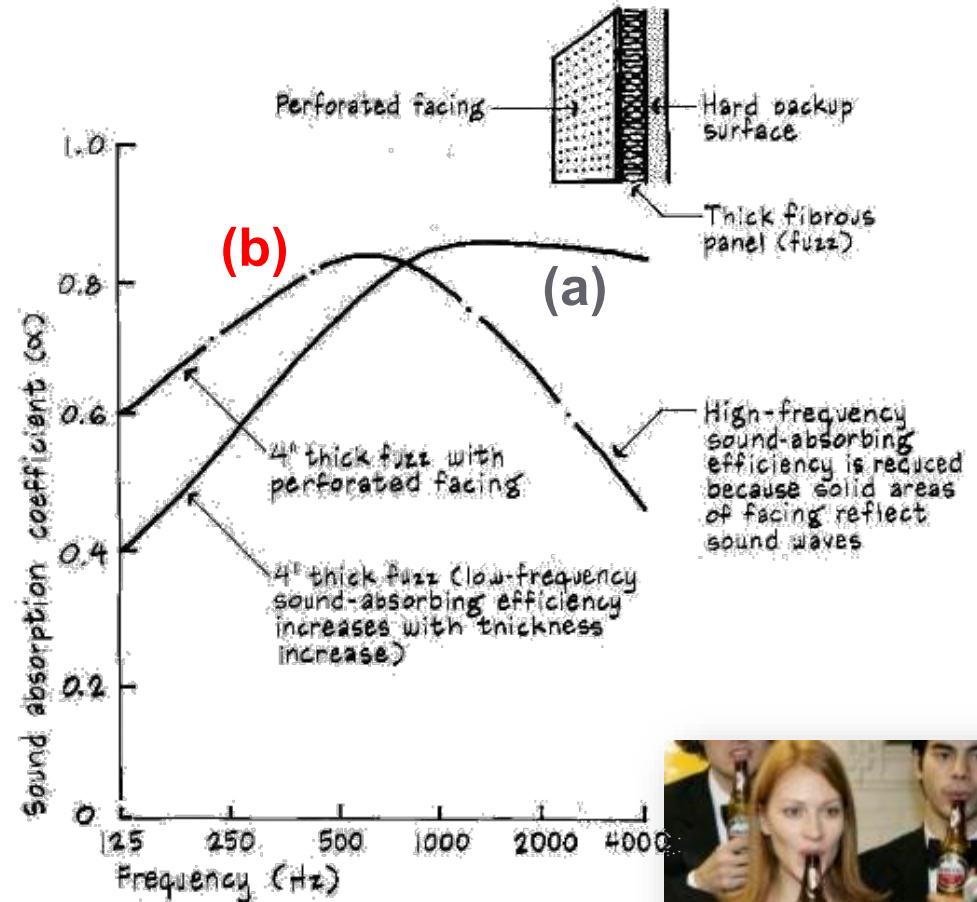


Poreus materiaal bedekt door geperforeerde plaat



(a)

(b)



$$f_{\text{res}} \cong 55 \sqrt{\frac{S}{L'V}}$$



Invloedsfactoren

Resonantiefrequentie

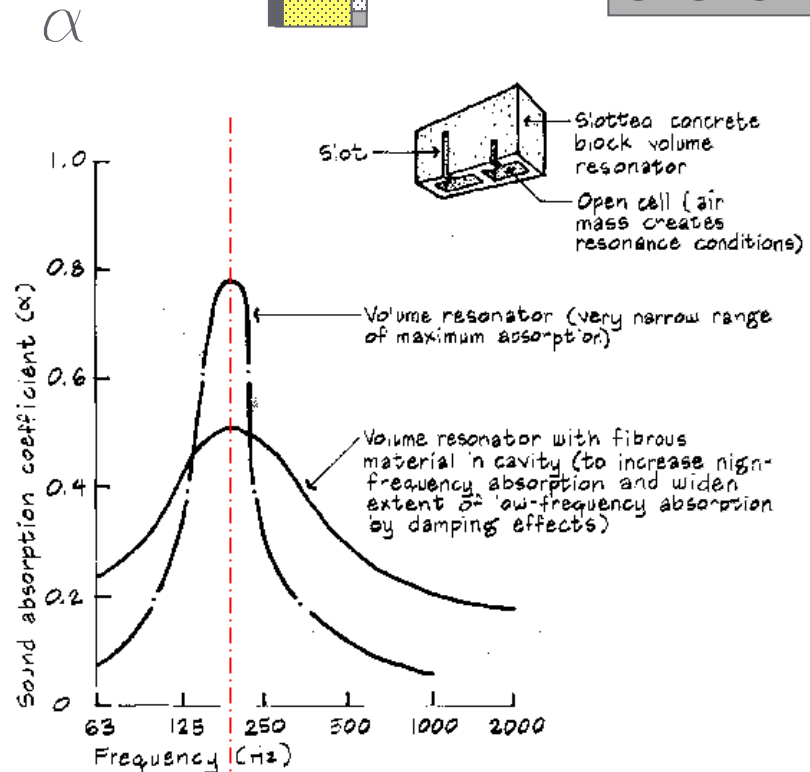
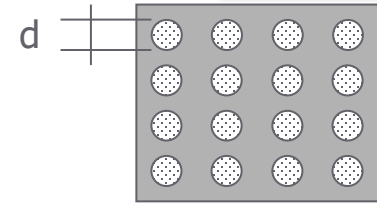
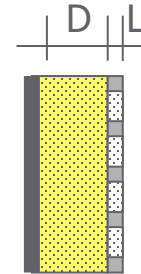
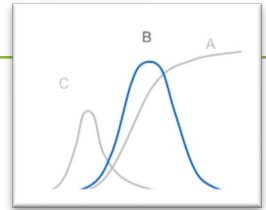
- ✓ Plenumbreedte D
- ✓ Performatiediameter d
- ✓ Paneeldikte L

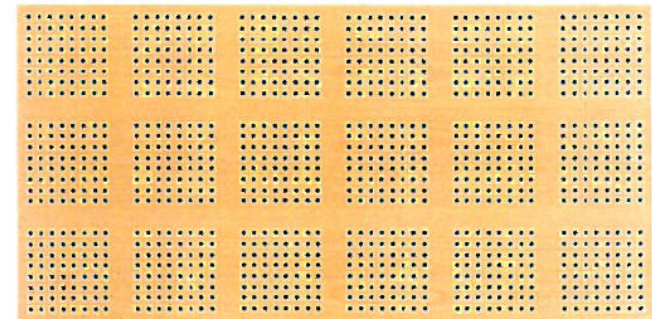
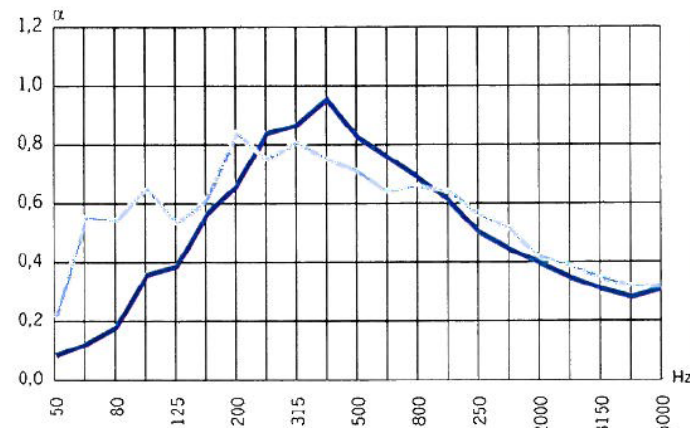
Algemeen

Perforatiegraad (5 à 10 %)

Bandbreedte

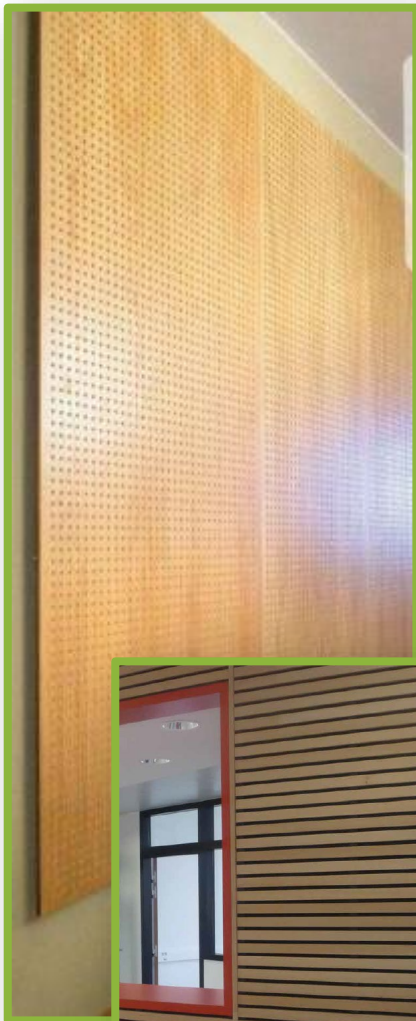
- ✓ Luchtwrijving
- ✓ **Poreuze vulling**





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

www.CSTC.be



www.laudescher.com

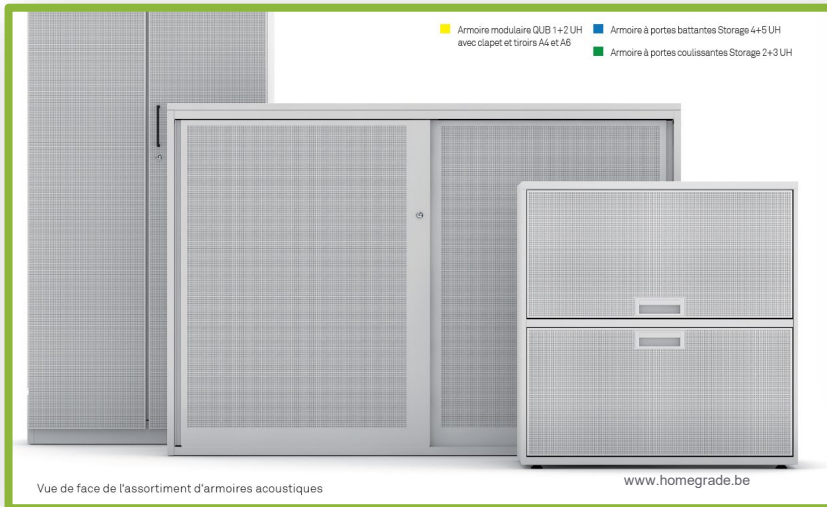
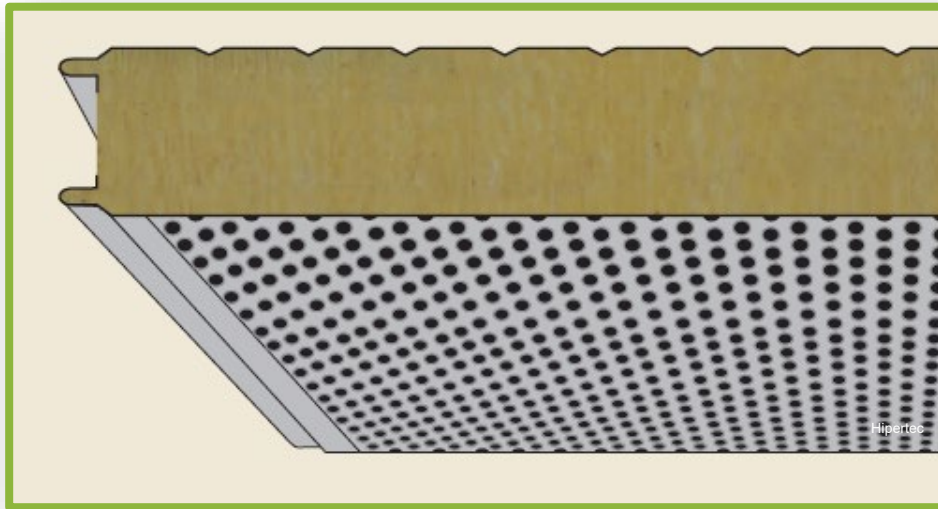
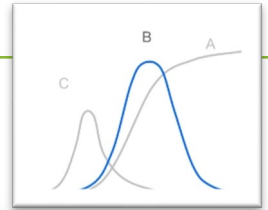


www.buildsilence.be



Bruxelles Environnement





Invloedsparameters

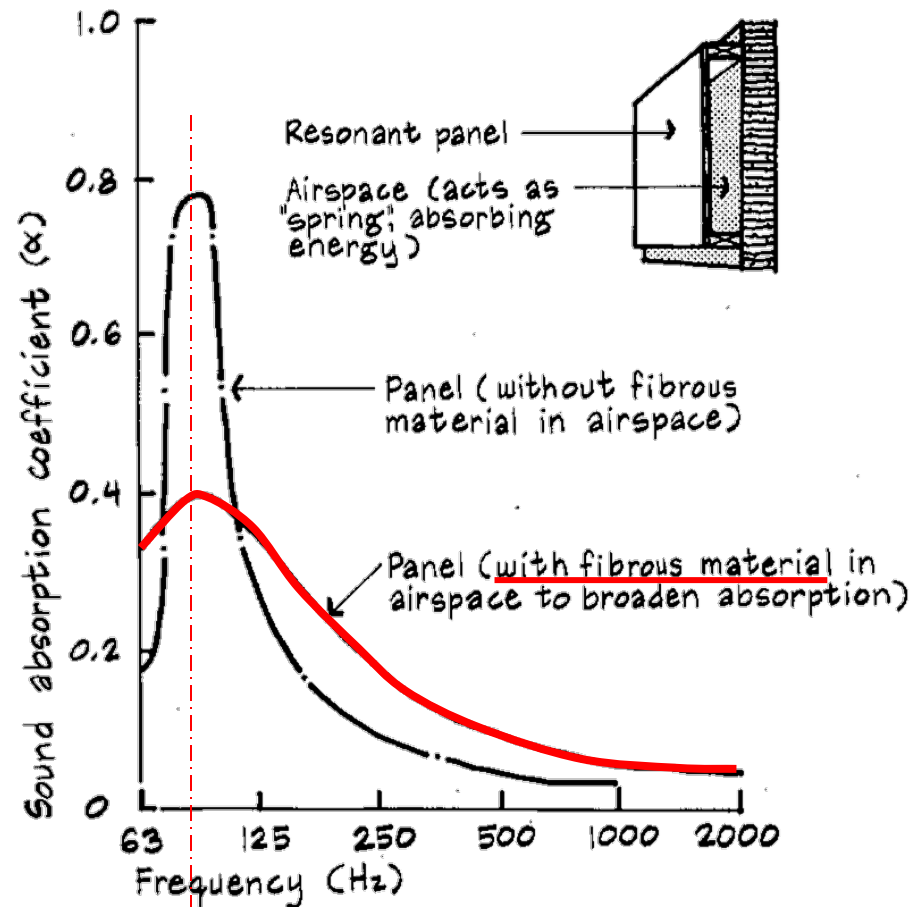
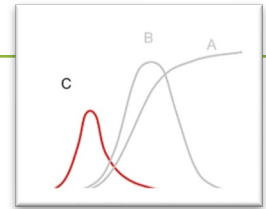
Absorptiepiek

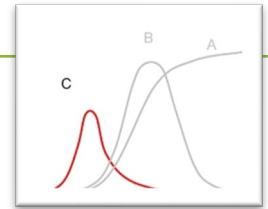
- ✓ Paneelmasse m'' (kg/m²)
- ✓ Plenumbreedte d

$$f_{res} \cong \frac{60}{\sqrt{m''d}}$$

Bandbreedte

- ✓ Paneelinklemming
- ✓ Poreuze vulling
- ✓ Interne damping paneel



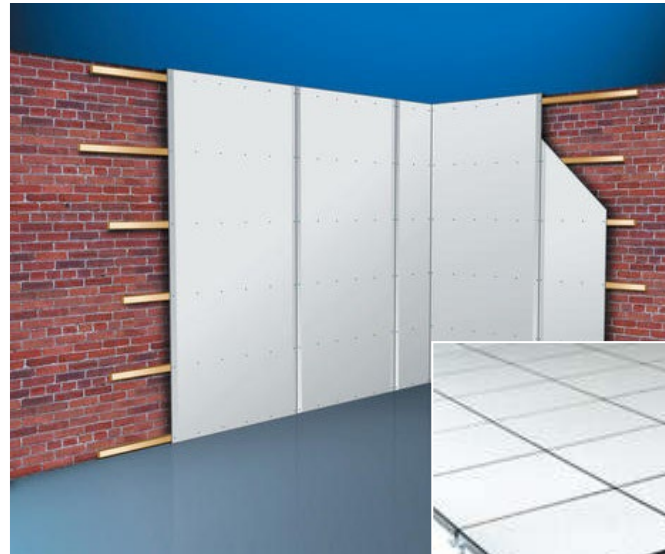


Toepassingen

Verlaagde plafonds

Verhoogde vloeren

Voorzetwanden



*Geen invloed vanwege
verlaag, behangpapier,
vernis...*



Veelal gecombineerd met andere absorptiemechanismen

Bvb. bedekt met poreus material om hoogfrequente absorptie toe te voegen



GELUIDSABSORBERENDE MATERIALEN

- Absorptie vs. isolatie
- Geluidsabsorptiecoëfficiënt
- Absorptiemechanismen
- Toepassingsvoorbeelden

GELUIDSABSORPTIE IN DE RUIMTE

- **Totale absorptie in de ruimte**
- **Nagalmtijd**
- **Ruimte-akoestische beleving**

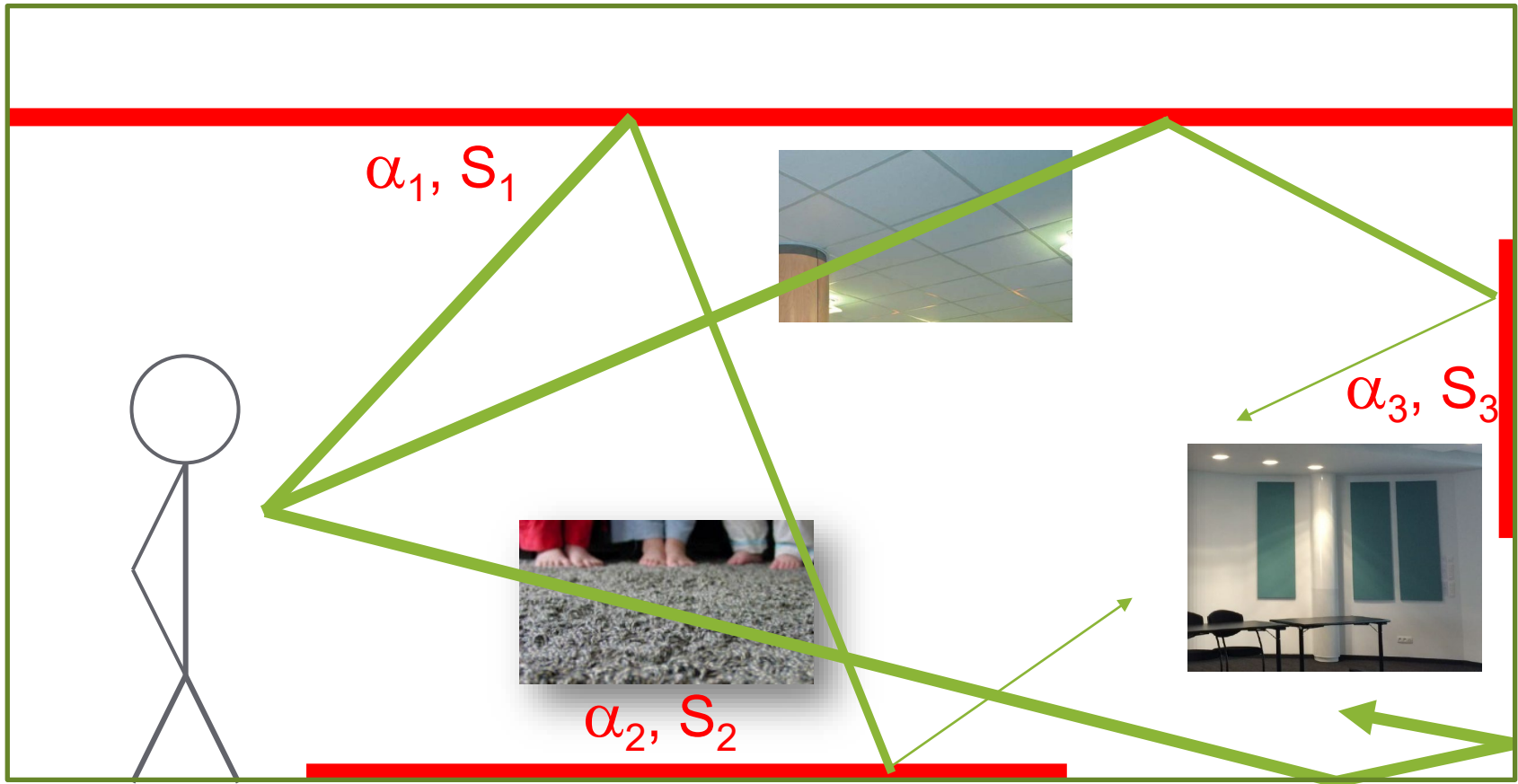
PRESTATIE-EISEN IN GEBOUWEN

- Normatieve eisen
- Rekenvoorbeelden

RUIMTE-AKOESTISCHE ONTWERPRICHTLIJNEN

- Klaslokalen
- Refters
- Landschapskantoren





$$\text{Absorptie} = A \approx \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots \text{ [m}^2\text{]}$$

α = absorptiecoëfficiënt = materiaaleigenschap



Equivalente geluidabsorptie-oppervlakte A [m²]



Absorptie in de
ruimte [m²]

Absorptie van het
oppervlak i [m²]

$$A = \sum (\alpha_i * S_i) = \sum A_i$$

"Equivalent m² open raam"

$$A_i = S_i * \alpha_i$$

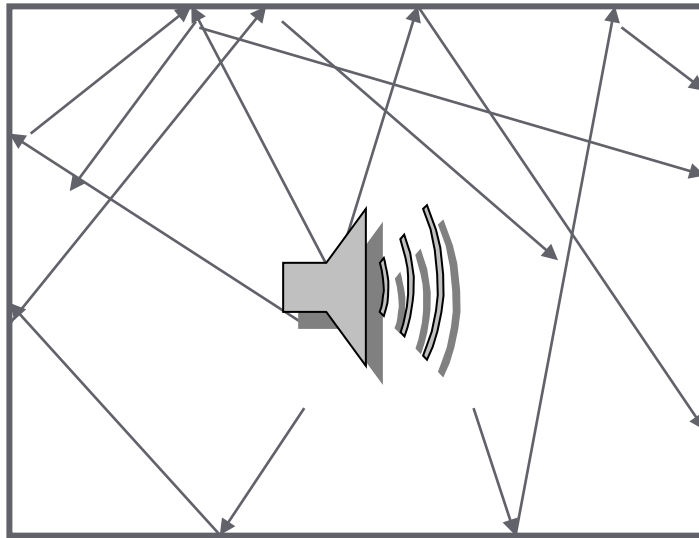
$$A_i = S_{\text{open raam}} * \alpha_{\text{open raam}}$$

$$= S_{\text{open raam}}$$



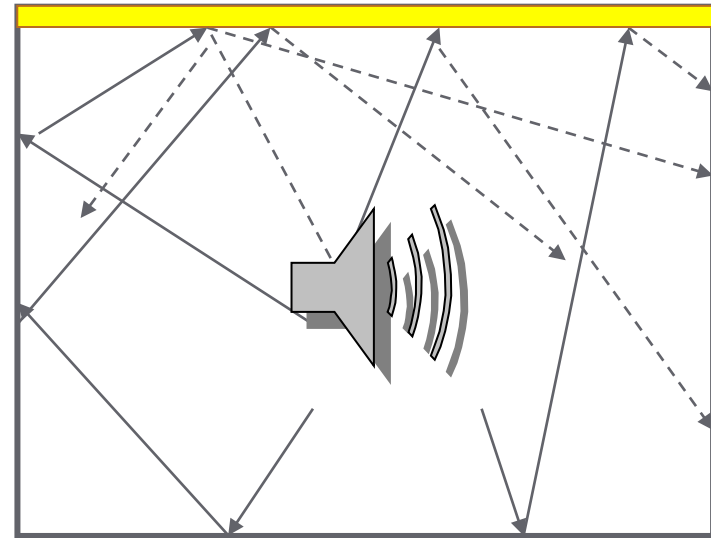
Invloed op het galmniveau

- ▶ Beperkte efficiëntie
- ▶ **Algemene regel** : **verdubbeling** van de totale hoeveelheid **absorptie A** in de ruimte, leidt tot een **afname met 3 dB** van het galmniveau L_p



$$A = X \text{ m}^2$$

$$L_p = Y \text{ dB}$$

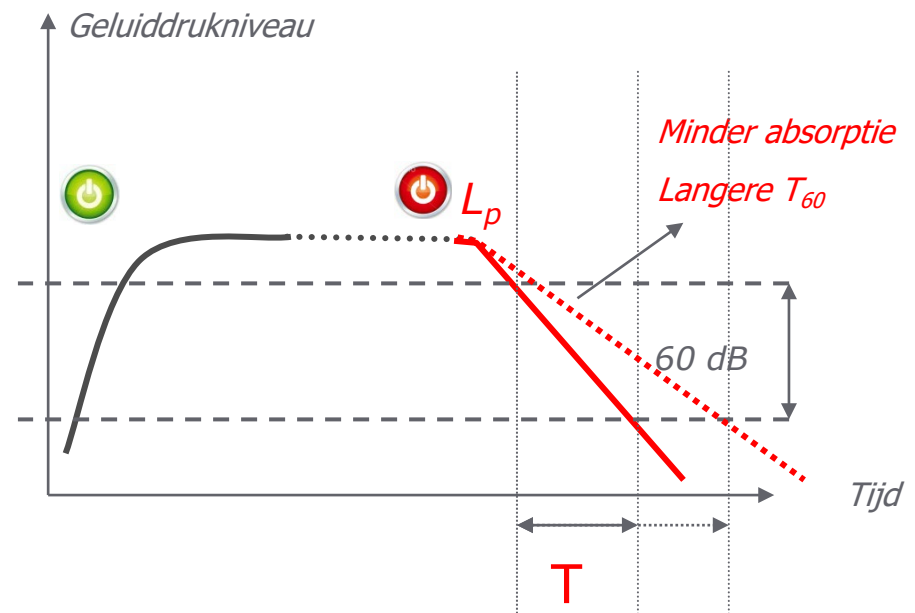
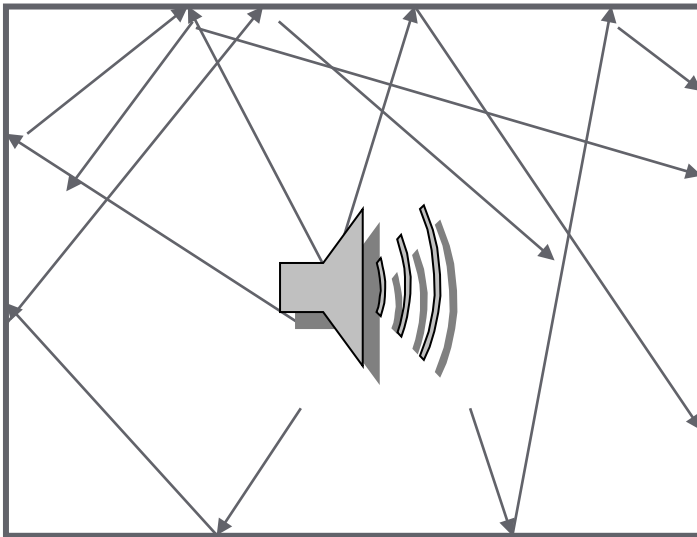


$$A = 2.X \text{ m}^2$$

$$L_p = Y - 3 \text{ dB}$$



Invloed op de nagalmtijd



Nagalmtijd T = tijd nodig opdat het geluidsdrukniveau met **60 dB afneemt** na het uitschakelen van een stationaire geluidbron

De nagalmtijd wordt bepaald door het **volume** van de ruimte en de verdeling en hoeveelheid van de aanwezige **absorptie**



Wet van Sabine



1868 - 1919

$$T = 0.16 \frac{V}{A} [s]$$

(in lucht, 20° C)

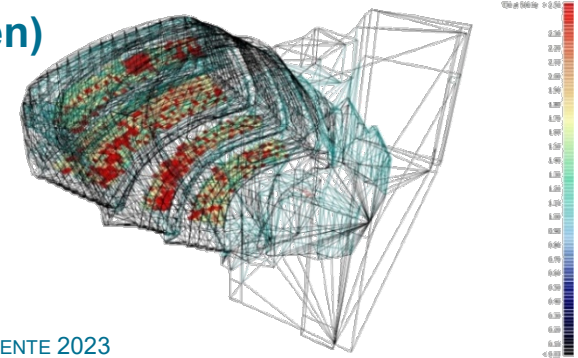
- ‘Kubusvormige’ ruimten
- Beperkte absorptie
- Gelijkmatige absorptiespreiding
- Niet te veel objecten

“Nagalmtijd T”

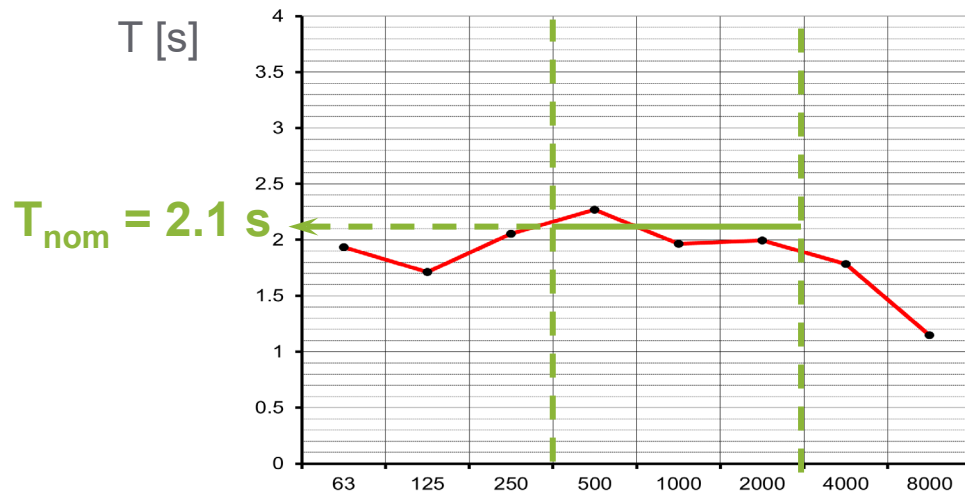
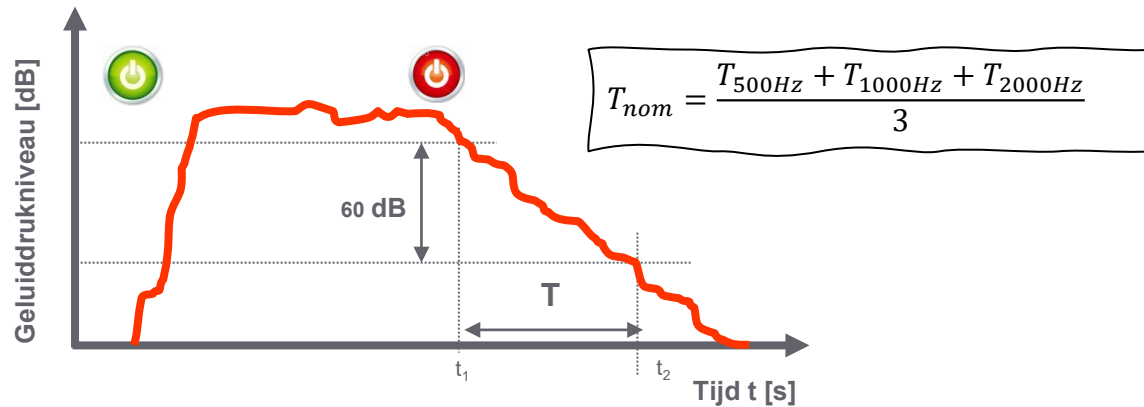
- Neemt toe met het **volume** van de ruimte V [m³]
- Neemt af met de **totale hoeveelheid absorptie** in de ruimte A [m²]

Meer gedetailleerde modellen (niet-diffuse geluidsvelden)

- EN 12354-6
- computersimulaties



Nominale nagalmtijd

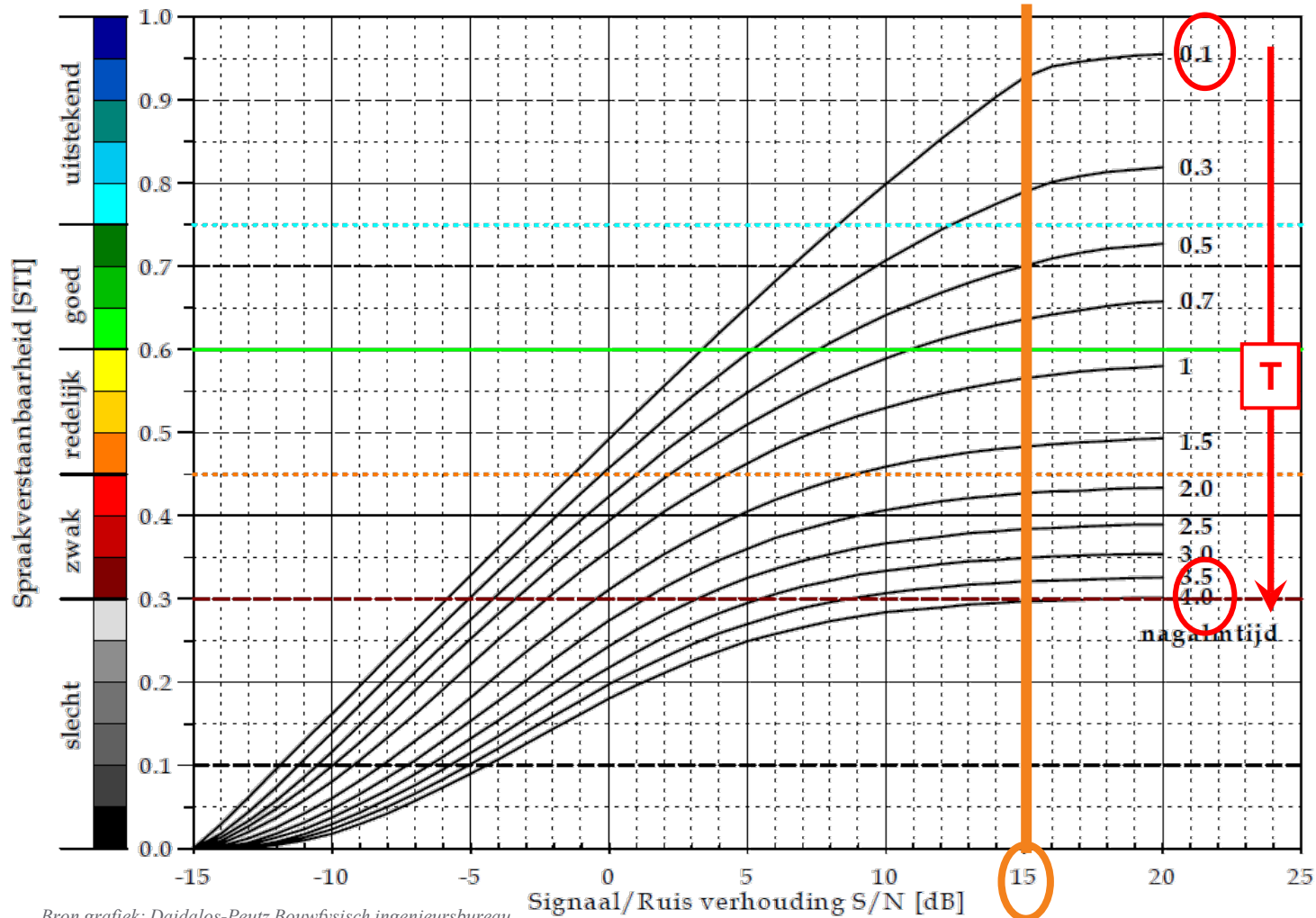


Frequentie [Hz]



Spraakverstaanbaarheid

Voor spraaktoepassingen : $T = 0.5$ à 1 s
 → hoe groter volume, hoe meer absorptie



nagalmtijd



0.4 s



0.8 s



4.8 s



34 s

Bron grafiek: Daidalos-Peutz Bouwfysisch ingenieursbureau



GELUIDSABSORBERENDE MATERIALEN

- ▶ Absorptie vs. isolatie
- ▶ Geluidsabsorptiecoëfficiënt
- ▶ Absorptiemechanismen
- ▶ Toepassingsvoorbeelden

GELUIDSABSORPTIE IN DE RUIMTE

- ▶ Totale absorptie in de ruimte
- ▶ Nagalmtijd
- ▶ Ruimte-akoestische beleving

PRESTATIE-EISEN IN GEBOUWEN

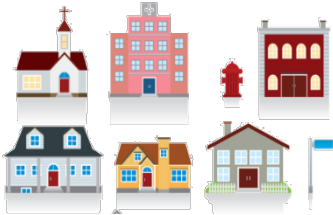
- ▶ **Normatieve eisen**
- ▶ **Rekenvoorbeelden**

RUIMTE-AKOESTISCHE ONTWERPRICHTLIJNEN

- ▶ Klaslokalen
- ▶ Refters
- ▶ Landschapskantoren



Minmale absorptie / maximale nagalmtijd → controle door berekening / meting



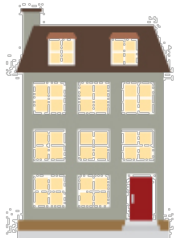
Niet-residentiële gebouwen :

NBN S 01-400 (1977) & NBN S 01-401 (1987)

- Geen nagalmeisen

prNBN S 01-400-3 (202x)

- Gevoelige ruimten



woongebouwen : NBN S 01-400-1 (2022)

- Gemeenschappelijke circulatieruimten



schoolgebouwen : NBN S 01-400-2 (2012)

- Gevoelige ruimten



Gangen, inkomhallen, traphallen (minimale absorptie)

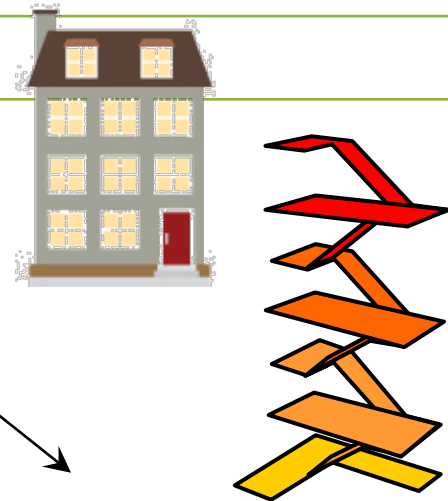


controle door berekening

$$A_w \geq 0.3 S_H$$

$$\sum_i \alpha_{w,i} S_i$$

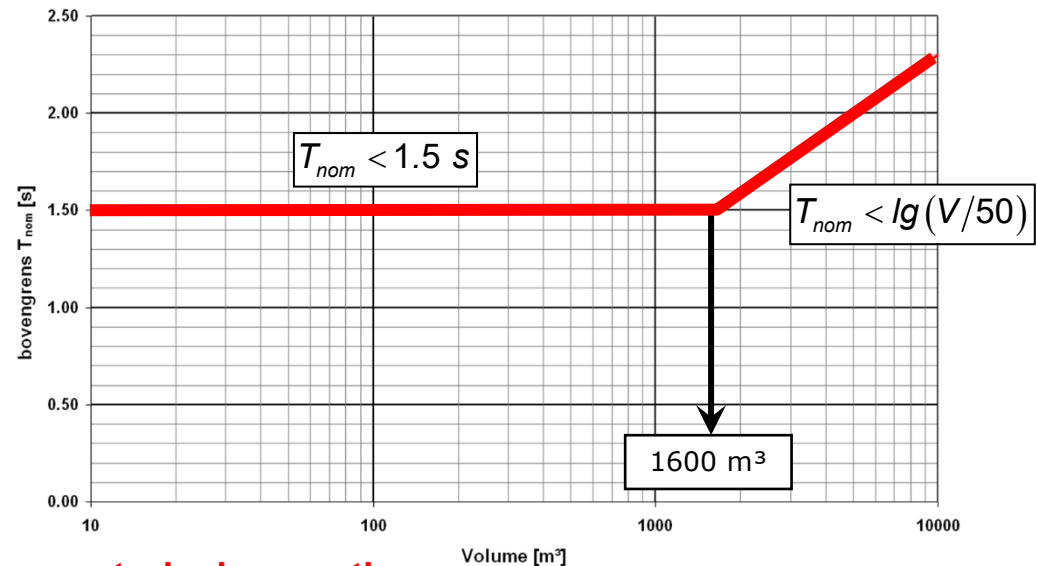
horizontaal geprojecteerde
begaanbare oppervlakte



Atria (maximale nagalmtijd)



$$T_{nom} = (T_{500} + T_{1000} + T_{2000}) / 3$$



controle door meting



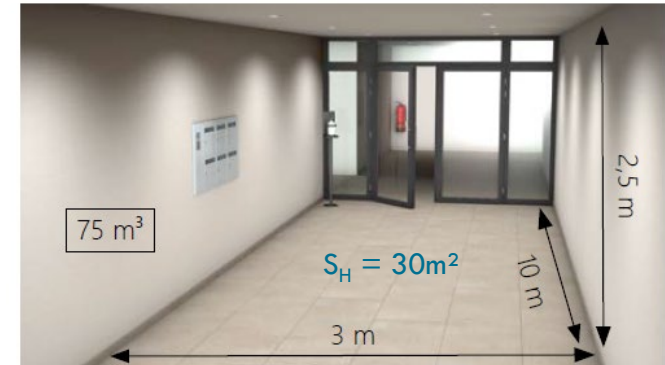
Inkomhal

Eis A_w

$$\geq 0.3 S_H$$

$$\geq 0.3 \times 30 \text{ m}^2$$

$$\geq 9 \text{ m}^2$$

Berekening A_w

$$= \alpha_{w,vloer} * S_{vloer} + \alpha_{w,wanden} * S_{wanden} + \alpha_{w,plafond} * S_{plafond}$$

	materiaal	α_w [-]	S [m²]	A_w [m²]
Vloer	tegelvloer	0.1	30	3.0
Wanden	kalkpleister	0.05	57.5	2.9
Glaswand	glas	0.05	7.5	0.4
Plafond	kalkpleister	0.05	30	1.5
				7.8

< 9 m²

	materiaal	α_w [-]	S [m²]	A_w [m²]
Vloer	tegelvloer	0.1	30	3.0
Wanden	kalkpleister	0.05	57.5	2.9
Glaswand	glas	0.05	7.5	0.4
Plafond	spruitpleister	0.7	30	21.0
				27.3

Oftwel : absorberend
plafond met $\alpha_w \geq 0.3$

> 9 m² (ruimschoots!)

Conclusie : de eis voor inkomhallen is niet heel streng...





Ontwerpeisen (minimale absorptie)

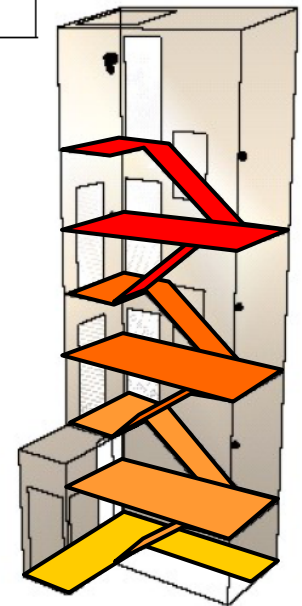
“Oppervlakte-gewogen gewogen geluidabsorptiecoëfficiënt” :
$$\overline{\alpha}_w = \frac{\sum \alpha_{w,i} S_i}{\sum S_i} = \frac{A_w}{S_{tot}}$$

	Normale eis	Verhoogde eis
leslokaal sporthal, turnzaal, binnenspeelplaats atrium eetruimte	$\overline{\alpha}_w \geq 0,2$	$\overline{\alpha}_w \geq 0,25$
gang, traphal, (inkom)hal, ontmoetingsruimte	$A_w \geq 0,4 \times S_H (*)$	$A_w \geq 0,5 \times S_H (*)$

controle door berekening



- Andere ruimten: geen ontwerpeisen
- Verhoogde eis: + 25%





Eisen bij oplevering (max. nagalmtijd)

$$T_{nom} = \frac{T_{500Hz} + T_{1000Hz} + T_{2000Hz}}{3}$$

	T_0 [s] ⁽¹⁾	Normale eis	Verhoogde eis
<u>Leslokaal</u> ⁽²⁾			
regulier klaslokaal, auditorium, seminarielokaal, bijleslokaal, taallabo	<u>$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$</u>	$T_{nom} \leq T_0$	$T_{nom} \leq 0,8 \times T_0$
kleuterschool spelruimte en kleuterschool rustige ruimte	0,6 s		
landschapsleslokaal	specifieke akoestische studie vereist (zie 9.3)		
<u>Sporthal, turnzaal</u> ⁽²⁾ , <u>binnenspeelplaats</u>			
	<u>$\lg(V/50)$</u>	$T_{nom} \leq T_0$; $T_{nom} \leq 2,4$ s	$T_{nom} \leq T_0 - 0,4$ s ; $T_{nom} \leq 2$ s
<u>Atrium</u>			
	<u>$\lg(V/20)$</u>	$T_{nom} \leq T_0$	$T_{nom} \leq T_0 - 0,4$ s
Eetruimte			
	1 s	$T_{nom} \leq T_0$	$T_{nom} \leq T_0 - 0,4$ s
Gang, trapthal, (inkom)hal, ontmoetingsruimte			
	geen specifieke nagalmtijdeisen		

controle door meting

Type ruimte	Referentienagalmtijd T_0 ⁽¹⁾ [s]
LESLOKALEN	
Kleuterschool spelruimten	0.6
Rustige ruimten	0.6
Lagere school, secundaire school, hoger onderwijs reguliere klaslokalen, lokalen voor kleine groepen, seminarielokal, bijleslokalen, taallabo's	$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$
Landschapsleslokalen	0.8
Aula's, auditoria	
klein (≤ 50 personen)	$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$
groot (> 50 personen)	$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$
SPECIFIEK ONDERWIJS	
Muziek	
lokalen voor muziekonderricht	1
kleine oefenlokalen	0.8
lokalen voor samenspel	0.9
concerteerruimtes	1.3
opnameruimtes	0.8
controlekamers opnames	0.5
Ontwerp en technologie	
ateliers	0.8
elektronica, textiel, voeding, grafisch ontwerp	0.8
Wetenschap	
wetenschapslabo's	0.8
Uitvoerende kunsten	
kunstlokalen	0.8
dansstudio's	1.2
voordrachtstudio's	1
Sport	
sporthallen, turnzalen	$\lg(V/50)$
zwembaden	2

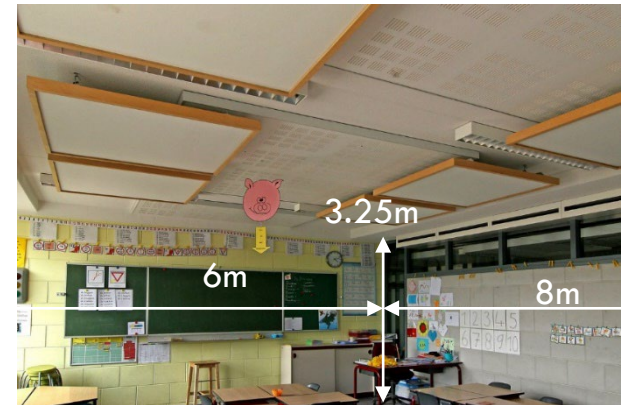


Klaslokaal

- ▶ $V = 8\text{m} \times 6\text{m} \times 3.25\text{m}$
- ▶ Ontwerpeis :

$$\overline{\alpha_w} = \frac{\sum \alpha_{w,i} S_i}{\sum S_i} = \frac{A_w}{S_{\text{tot}}} \geq 0.2 \longrightarrow A_w \geq 37.4 \text{ m}^2$$

$S_{\text{tot}} = 187 \text{ m}^2$



D.50 Het akoestisch ontwerp van een klaslokaal (nijnsnet.com)

	materiaal	α_w [-]	S [m ²]	A_w [m ²]
Vloer	tegenvloer	0.1	48	4.8
Wanden	kalkpleister	0.05	65	3.3
Glaswand	glas	0.05	26	1.3
Plafond	kalkpleister	0.05	48	2.4
			187	11.8

< 37.4 m²

	materiaal	α_w [-]	S [m ²]	A_w [m ²]
Vloer	tegenvloer	0.1	48	4.8
Wanden	kalkpleister	0.05	65	3.3
Glaswand	glas	0.05	26	1.3
Plafond	sputpleister	0.7	48	33.6
			187	43.0

> 37.4 m²

- ▶ Minimale nagalmtijd : $T_{\text{nom}} \leq 0.35 \times \lg(1.25 \times V) = 0.8 \text{ s}$

Spectrale gegevens

	materiaal	α_{500} [-]	α_{1000} [-]	α_{2000} [-]	S [m ²]	A_{500} [m ²]	A_{1000} [m ²]	A_{2000} [m ²]
Vloer	tegenvloer	0.09	0.1	0.1	48	4.3	4.8	4.8
Wanden	kalkpleister	0.02	0.03	0.04	65	1.3	2.0	2.6
Glaswand	glas	0.03	0.02	0.02	26	0.8	0.5	0.5
Plafond	sputpleister	0.8	0.9	0.9	48	38.4	34.6	31.1
					187	44.8	41.8	39.0

$$T = 0.16 \text{ V/A (Sabine)}$$

met $V = 156$

$$T_{\text{nom}} = (T_{500} + T_{1000} + T_{2000}) / 3 = 0.6 \text{ s}$$

T_{500} [s]	T_{1000} [s]	T_{2000} [s]
0.6	0.6	0.6

< 0.8 s

controlemeting in afgewerkt gebouw



GELUIDSABSORBERENDE MATERIALEN

- ▶ Absorptie vs. isolatie
- ▶ Geluidsabsorptiecoëfficiënt
- ▶ Absorptiemechanismen
- ▶ Toepassingsvoorbeelden

GELUIDSABSORPTIE IN DE RUIMTE

- ▶ Totale absorptie in de ruimte
- ▶ Nagalmtijd
- ▶ Ruimte-akoestische beleving

PRESTATIE-EISEN IN GEBOUWEN

- ▶ Normatieve eisen
- ▶ Rekenvoorbeelden

RUIMTE-AKOESTISCHE ONTWERPRICHTLIJNEN

- ▶ **Klaslokalen**
- ▶ **Refters**
- ▶ **Landschapskantoren**



Bevorderen van luister- en spreekcomfort

- ▶ Beperken van **achtergrondgeluid** (buitenlawaai, installaties) : max. 25 à 30 dB
- ▶ Voldoende **absorberend materiaal** : $\overline{\alpha}_w \geq 0.2$ (ontwerpcriterium)



V	$T_{\text{nom}} \leq$
100 m ³	0.7 s
200 m ³	0.8 s
300 m ³	0.9 s
400 m ³	0.9 s
500 m ³	1.0 s

Belang van absorptie bij :
500Hz, 1000Hz, 2000Hz
 (T_{nom})

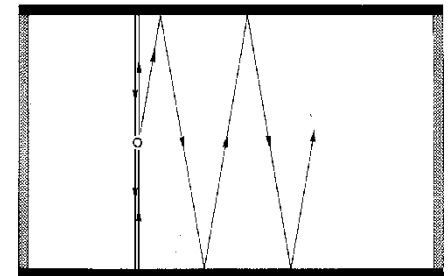
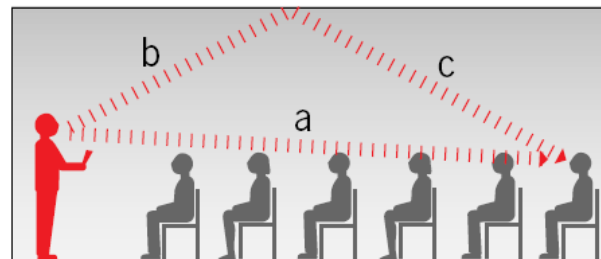
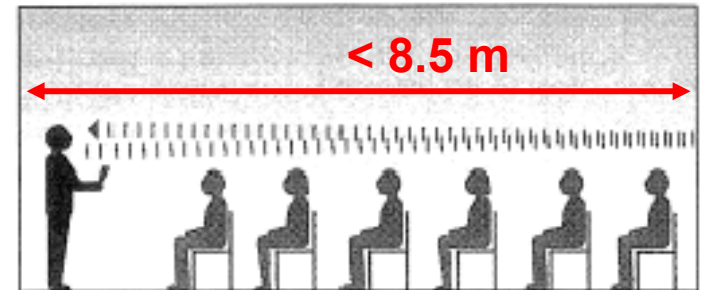
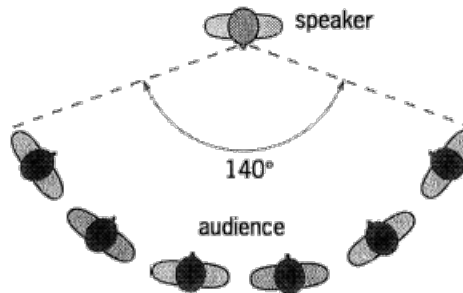
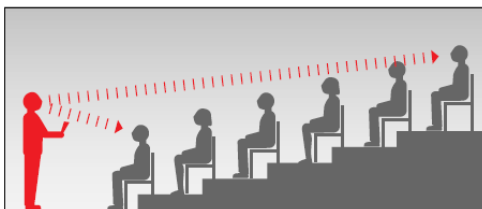
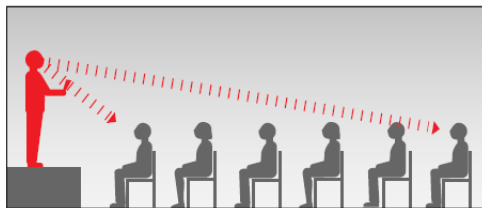
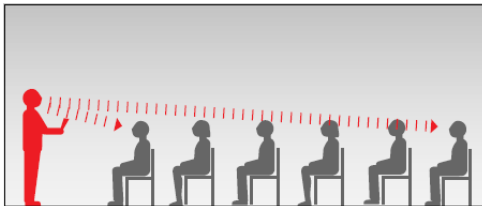


+ aanbevolen absorptie bij :
125Hz, 250 Hz
 ($T_{125} < 1.4 T_{\text{nom}}$, $T_{250} < 1.2 T_{\text{nom}}$)



Bevorderen van luister- en spreekcomfort

- ▶ Garanderen van goede **zichtlijnen** : schranking publiek, podium spreker...
- ▶ Bevorderen van vroege, **nuttige reflecties** via plafond en/of zijwanden
- ▶ Vermijden van late, **storende reflecties** (afstand $> 8.5\text{m}$)



Waar welke afwerking...?

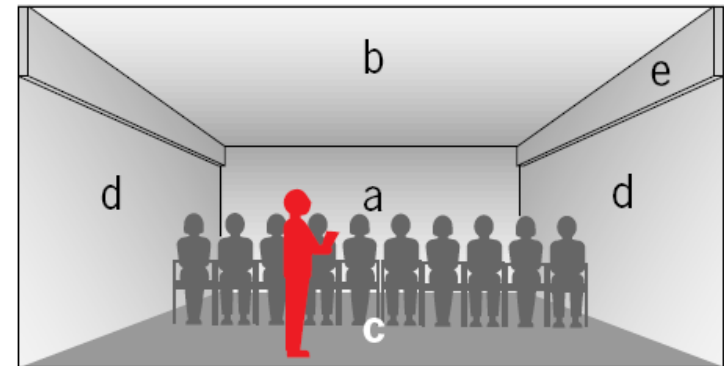
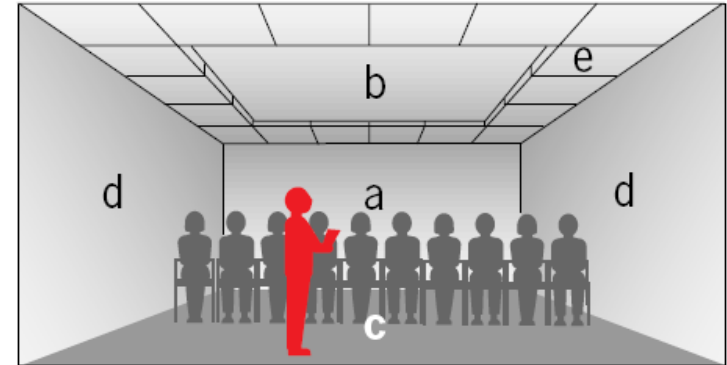
REFLECTEREND :

- Wand vooraan
- Plafond (b) & zijwanden (d)

Nuttige reflecties !
Voldoende absorptie !

ABSORBEREND :

- Wand achteraan (a)
- Vloer (C) (*)
- Randen plafond/zijwanden (e)



Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"

(*) In de praktijk : vaak absorberend plafond → verminderde verstaanbaarheid achteraan

Zie ook : Akoestiek van vergaderzalen en auditoria | Gids Duurzame Gebouwen





Kielen School Pavilion: Ademend akoestisch plafond (doxacoustics.eu)



Speelruimte akoestische elementen in kinderdagverblijf Dommel (doxacoustics.eu)



Project: Kleuterschool Nieuwerkerken - COUST



Vibrasto GORDIJNEN - Meubilair (doxacoustics.eu)



Acoustic improvement of classrooms at SCVO Encora (doxacoustics.eu)



Sound Comfort in Classrooms - Essex Study Experiences - YouTube



Vermijden van “cocktail party effect”

Slechte spraakverstaanbaarheid in grote, bevolkte ruimtes



Etienne Lombard
(1869-1920)

“Akoestische capaciteit van een ruimte”

$$N_{\max} = \frac{V}{20T_{\text{mid}}}$$

Aantal personen ≤	Nagalmtijd [s]			
Volume [m ³]	0.5	1	1.5	2
300	30	15	10	8
400	40	20	13	10
500	50	25	17	13
600	60	30	20	15
700	70	35	23	18
800	80	40	27	20
900	90	45	30	23
1000	100	50	33	25



→ Beperking van de nagalmtijd of het aantal personen, in functie van volume



Algemene richtlijnen

$$T_{\text{nom}} \leq 1\text{s}$$

max 1.2s (refters > 5000m²)

- ▶ Beperking van **aantal gebruikers**
- ▶ Zoveel mogelijk absorberend materiaal : $A_{\text{min}}/\text{persoon} = 1.5\text{m}^2$ (ideaal : 7m²)
- ▶ Gebruik van **baffles of plafondeilanden** in hoge ruimten
- ▶ Vermijden van geluidhinder vanwege keuken, verschuiven stoelen...



Zie ook : Akoestiek van kantines en restaurants | Gids Duurzame Gebouwen





Project: Refter Sadaci - COUST



Acoustic correction in gym & refectory in Ter Berken primary school (doxacoustics.eu)

Print Acoustics



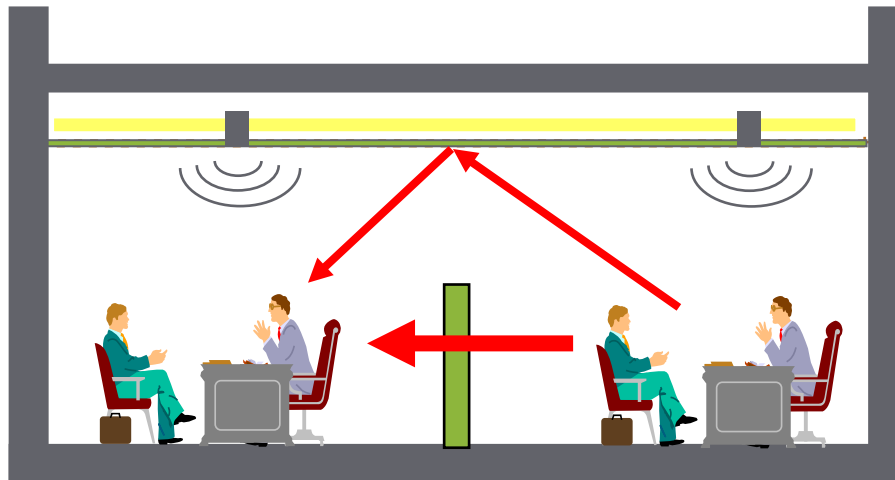
Print Acoustics



Print Acoustics



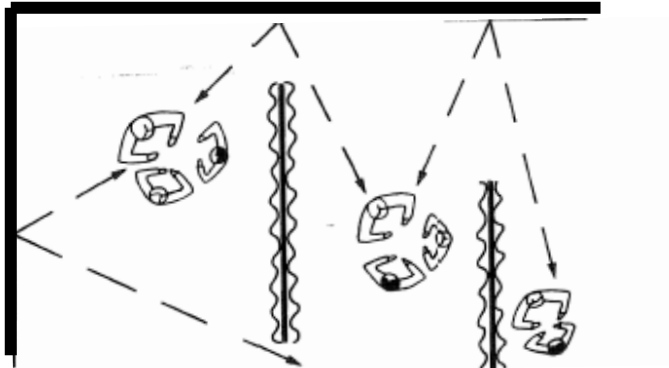
Beperking van spraakoverdracht



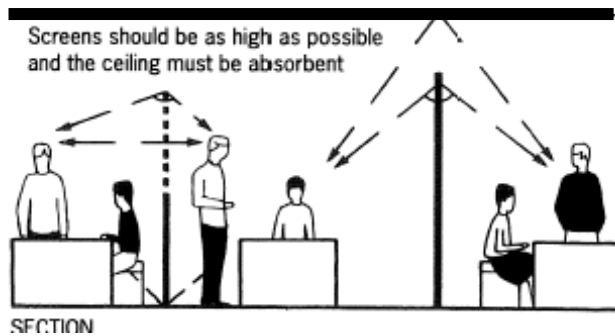
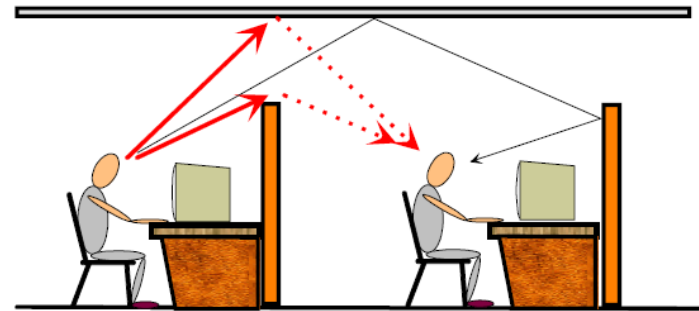
Vermijden van directe overdracht + storende vroege reflecties !



Beperking van spraakoverdracht



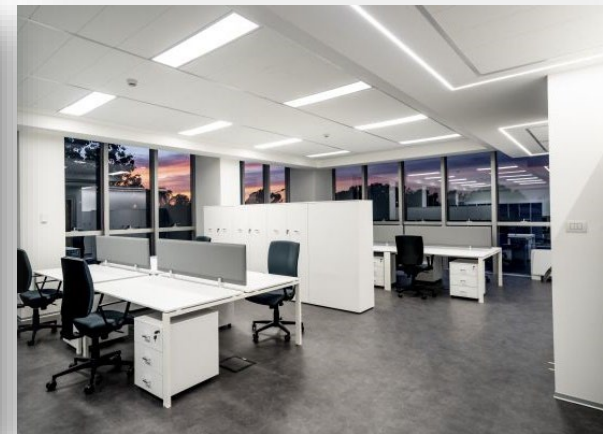
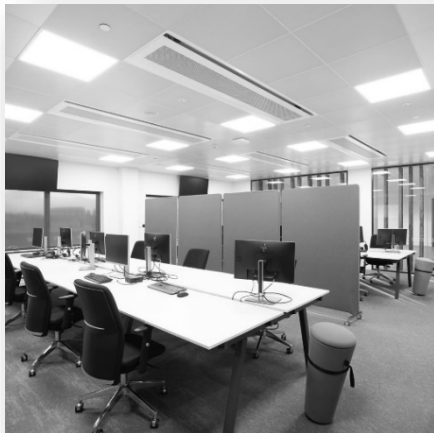
Bron: Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"



Beperking van spraakoverdracht

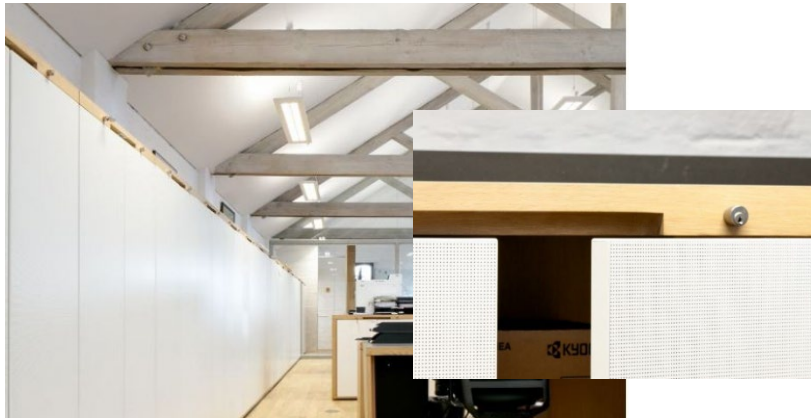
$$T_{\text{nom}} \leq 0.6\text{s}$$

- Lay-out : **afstand** tussen werkstations, **bufferruimtes**
- Voldoende absorptie : $A_w \geq S_H$ (ontwerpcriterium) → plafond, zijwanden, hoeken
- **Absoberend plafond** $\alpha_{500, 1000, 2000} \approx 1$, voldoende laag of plafondeilanden
- Voldoende hoge **schermen** (absorptie + isolatie), $h \geq 1.7\text{m}$
- Vermijden van laterale reflecties : **lokale absorptie op wanden/gevels/hoeken**
- Achtergrondgeluid (>10 personen): 40 à 45 dB(A) → eventueel artificiële maskering

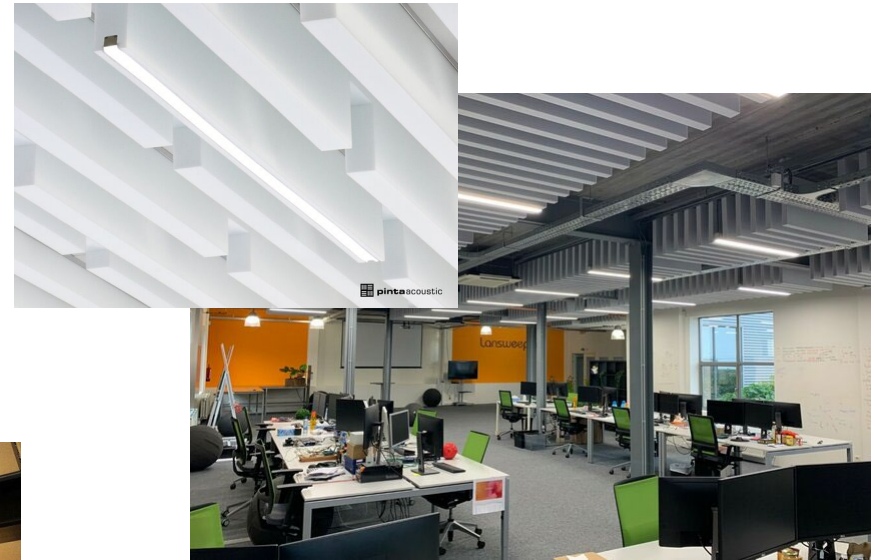


Zie ook : Akoestiek van kantoorlandschappen | Gids Duurzame Gebouwen

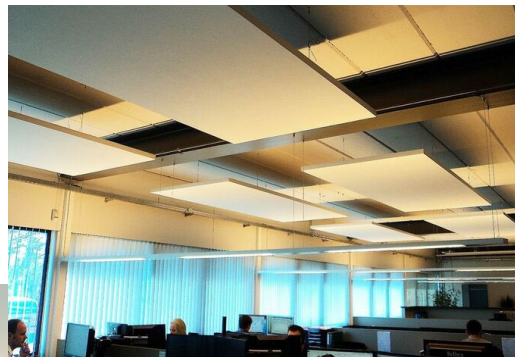




[Print Acoustics](#)



[Absorber PLANO POLAR - Baffles and Ceiling Islands \(doxacoustics.eu\)](#)



[Balance POLAR - Baffles and Ceiling Islands \(doxacoustics.eu\)](#)



[Stereo - Baffles and Ceiling Islands \(doxacoustics.eu\)](#)



[D-SCREEN - Screens \(doxacoustics.eu\)](#)



www.doxacoustics.eu





- ▶ De **nagalmtijd** is een goede indicator voor de **lawaaierigheid** en de **spraakoverdracht** in de ruimte.
- ▶ De nagalmtijd kan ingeschat worden aan de hand van de **formule van Sabine**, op basis van de **absorptiegegevens** van de afwerkingsmaterialen en het **volume** van de ruimte.
- ▶ Naargelang de aard van het materiaal zal haar absorberend vermogen overwegend **laag-, midden- of hoogfrequent** zijn
- ▶ Voor spraaktoepassingen is de nominale nagalmtijd, en dus een **voldoende aantal m²** absorptie bij **500 Hz, 1000 Hz en 2000 Hz** van belang.
- ▶ Naast de materiaalkeuze is ook de **lay-out** van de ruimte (waar welk materiaal, inrichting, vormgeving, buffers...) de beheersing van het **achtergrondgeluid** (gevelisolatie, installaties...) van belang
- ▶ De **NBN-eisen** formuleert zowel **ontwerpeisen** (minimale absorptie) als eisen met betrekking tot de maximale (nominale) **nagalmtijd**. Deze laatste is door **meting** in de afgewerkte, onbemeubelde ruimte gecontroleerbaar.





Gids duurzame gebouwen

- ▶ [Voorzieningen voor geluidsabsorptie | Gids Duurzame Gebouwen](#)
- ▶ [Akoestiek van vergaderzalen en auditoria | Gids Duurzame Gebouwen](#)
- ▶ [Akoestiek van kantoorlandschappen | Gids Duurzame Gebouwen](#)
- ▶ [Akoestiek van kantine en restaurants | Gids Duurzame Gebouwen](#)



Websites

- ▶ [De akoestische kwaliteit in een ruimte verbeteren met een akoestische bepleistering. \(buildwise.be\)](#)
- ▶ [www.normes.be/acoustique](#)
- ▶ [The Essex Study 2012 \(acousticbulletin.com\)](#)
- ▶ [The Wikisinger - YouTube](#)



Artikelen/normen

- ▶ NBN S 01-400-1 : 2022 Akoestische criteria voor woongebouwen
- ▶ NBN S 01-400-2 : 2012 Akoestische criteria voor schoolgebouwen
- ▶ NBN EN ISO 345 : 2003 Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room
- ▶ NBN EN 11654 : 1997 Acoustics - Sound absorbers for use in buildings - Rating of sound absorption
- ▶ NBN EN 12354-6 : 2004 Building acoustics - Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements - Part 6: Sound absorption in enclosed spaces
- ▶ Building Bulletin 93: Acoustic design of schools - a design guide (2003, 2015)
- ▶ Zaalakoestiek, Hogere Cursus Akoestiek, KVIV, D. De Vries, 2003



Debby WUYTS

Hoofd Laboratorium Akoestiek

Buildwise Limelette

☎ + 32 2 655 77 10

✉ debby.wuyts@buildwise.be



BEDANKT VOOR UW AANDACHT

