

OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

AKOESTIEK : ONTWERP EN REALISATIE

LENTE 2022



Nagalm en Geluidabsorptie

Debby WUYTS
WTCB

EEN DIENST VAN



IN SAMENWERKING MET



MET DE ONDERSTEUNING VAN





Doelgroep

→ bouwprofessionals die werkzaam zijn in het
Brussels Hoofdstedelijk Gewest



Aannemers

Maar ook...



Architecten



Overheid



Ingenieurs



Fabrikanten



EEN DIENST VAN



IN SAMENWERKING MET



MET DE ONDERSTEUNING VAN



Op zoek naar...



Technologische **steun**



Neutrale en betrouwbare markt **informatie**



Subsidie- en **financierings** mogelijkheden



Informatiesessies over nieuwe technologieën

... om uw innovatief project te ontwikkelen en te realiseren ?



EEN DIENST VAN



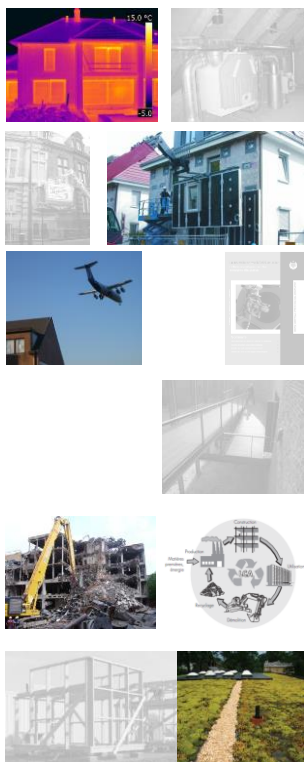
IN SAMENWERKING MET



MET DE ONDERSTEUNING VAN



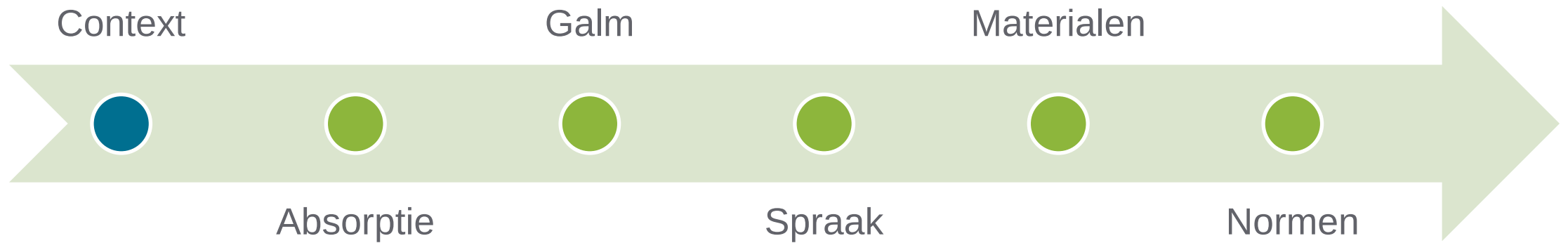
Thematieken



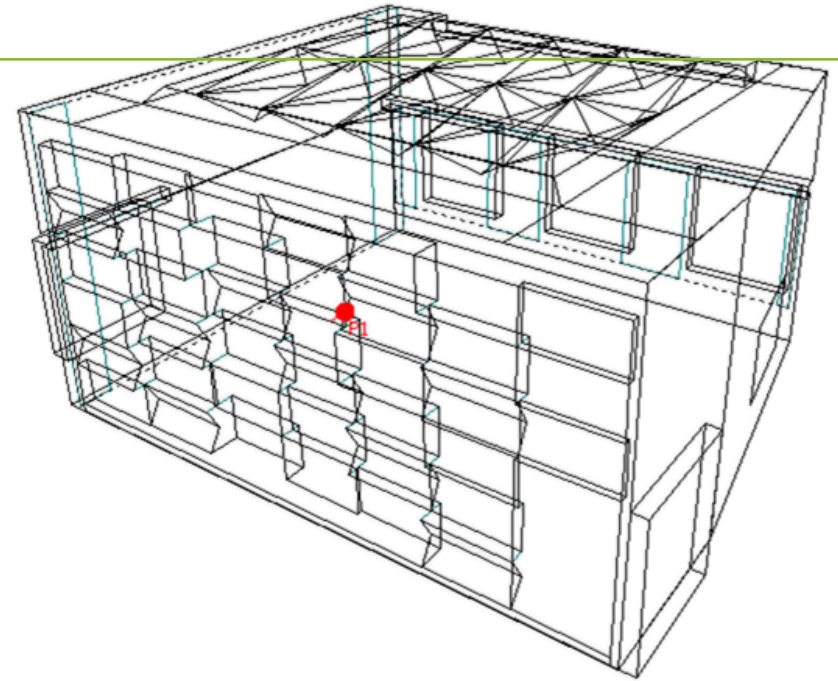
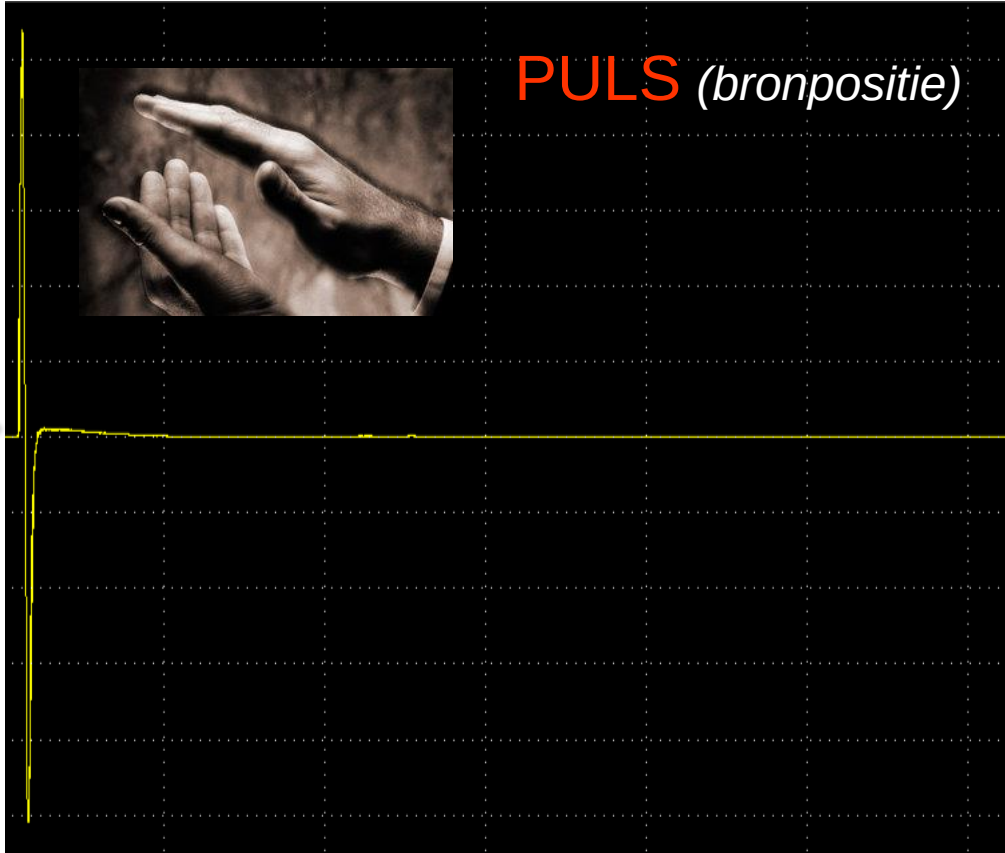
- Energie
- Duurzaam gebruik van materialen en circulaire economie
- Restauratie, renovatie en onderhoud
- Duurzaam bouwen met hout, biomaterialen, groene gevels en daken
- Akoestisch comfort
- IAQ & Gezondheid
- Digital construction

Contacteer ons via c-tech.brussels@bbri.be









Idealiter : overal ± hetzelfde...

Luid? Stil?
Veel of weinig galm?

Afhankelijk van :

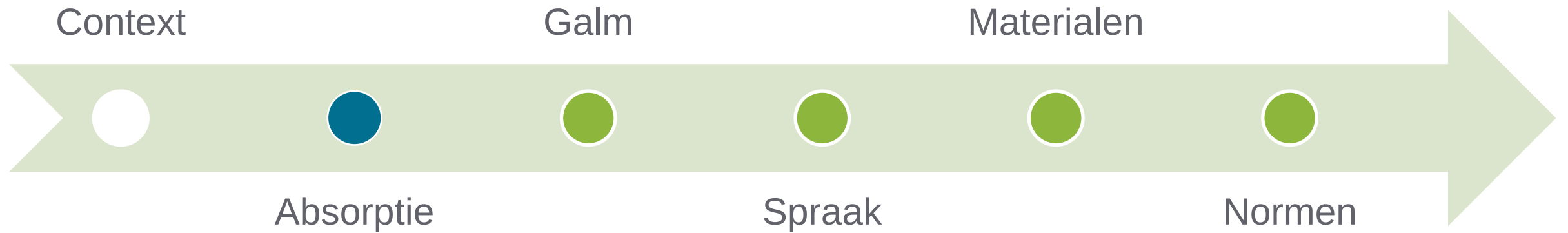
- Volume van de ruimte = V [m^3]
- Aankleding/inhoud van de ruimte = A [m^2 absorptie]

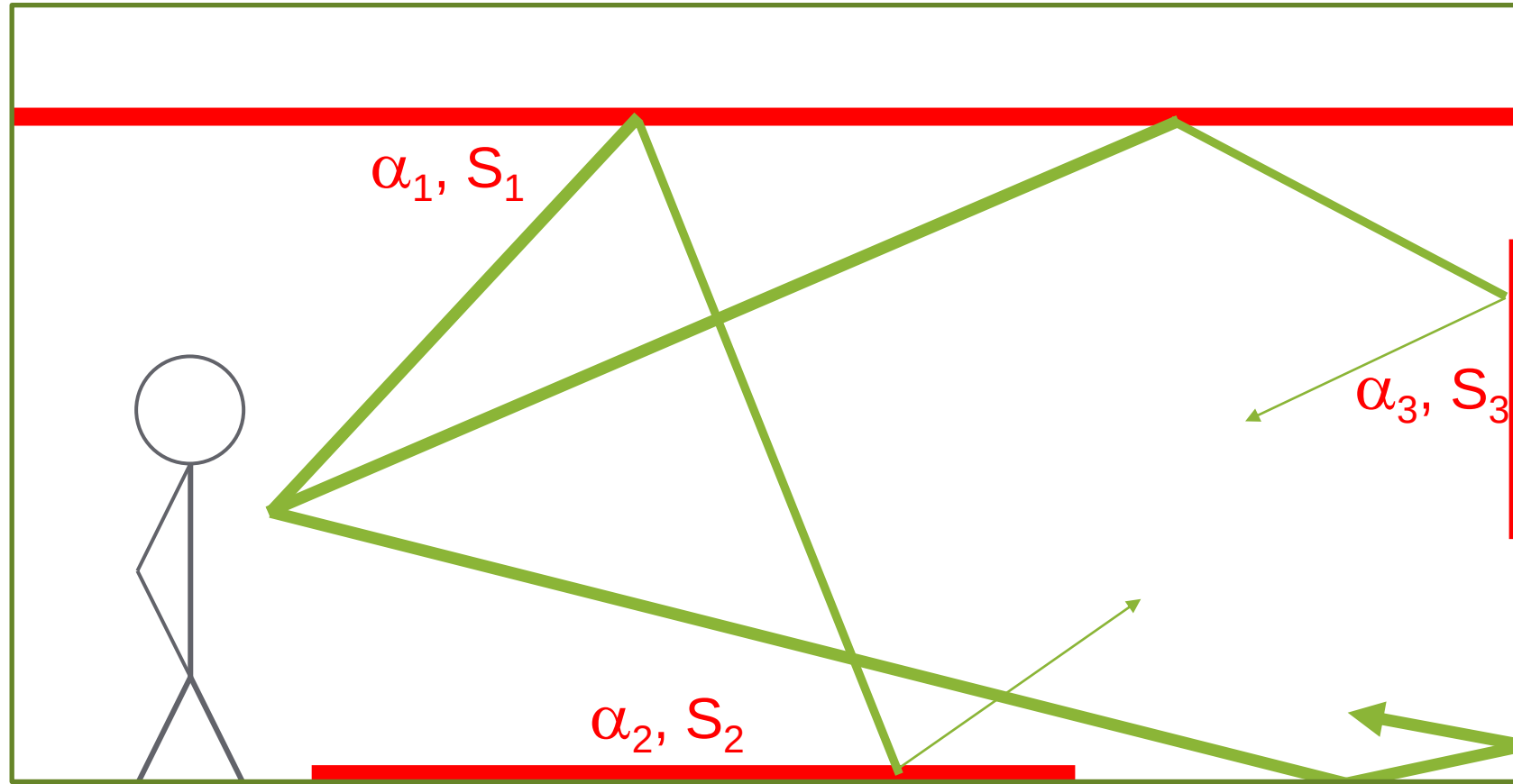
Galm $\sim$ Volume

Galm $\sim$ (Absorptie) $^{-1}$

Luidheid $\sim$ (Absorptie) $^{-1}$

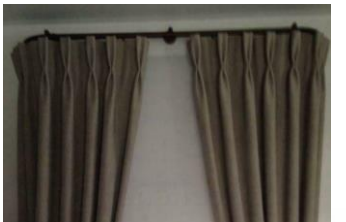




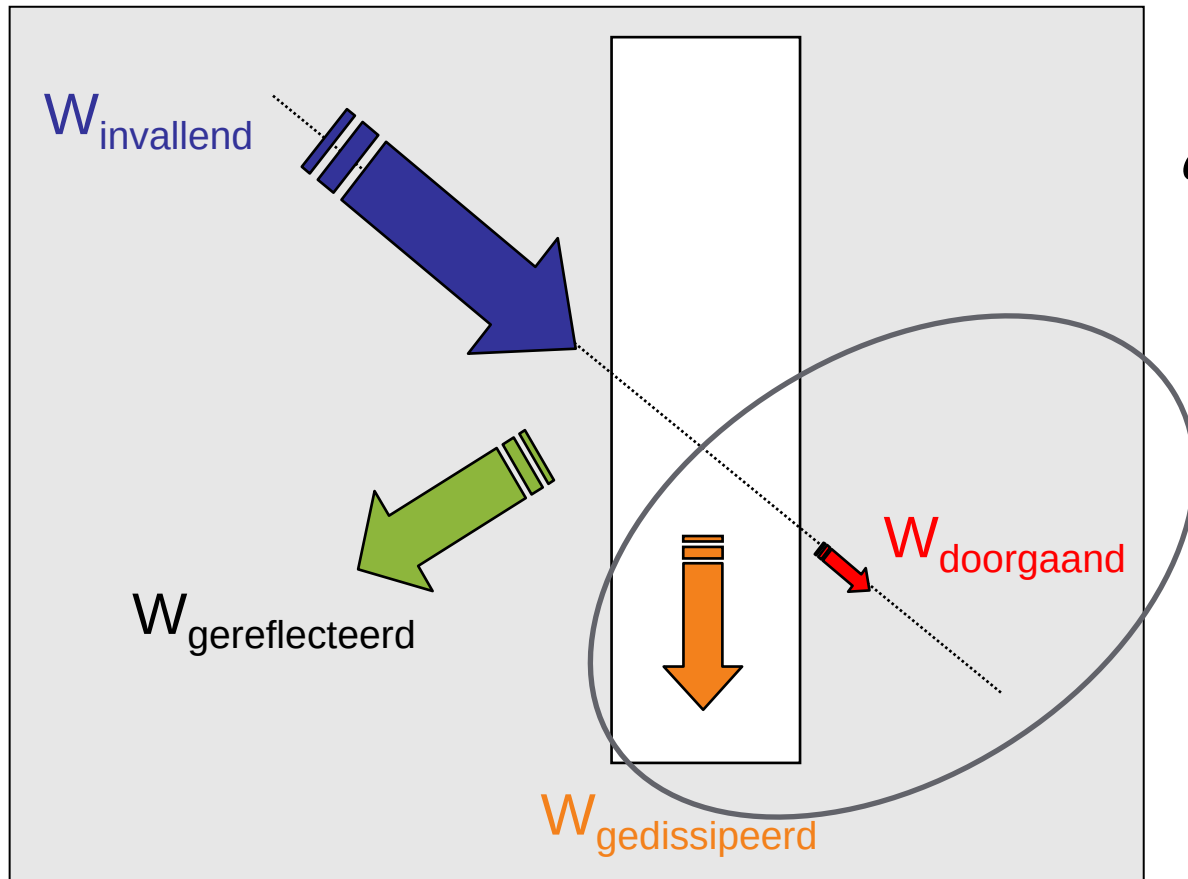


$$\text{Absorptie} = A \approx \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots \text{ [m}^2\text{]}$$

α = absorptiecoëfficiënt = materiaaleigenschap



Geluidabsorptiecoëfficiënt α [-]



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

$$= \frac{W_{\text{niet-gereflecteerd}}}{W_{\text{invallend}}}$$

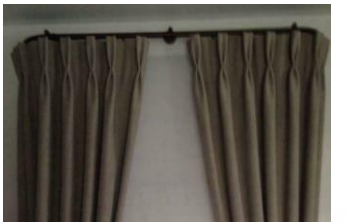
$$= \frac{(W_{\text{gedissipeerd}} + W_{\text{doorgaand}})}{W_{\text{invallend}}}$$

= **Lineaire** vermogenverhouding !

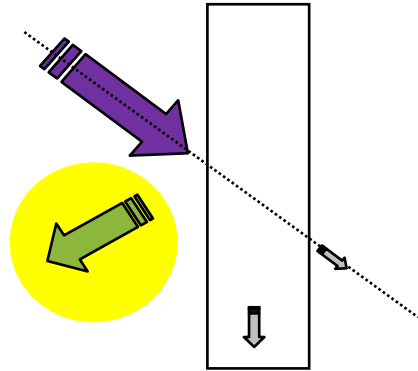
$\alpha = 0.10 \rightarrow 10\%$ geabsorbeerd

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

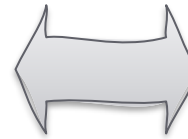
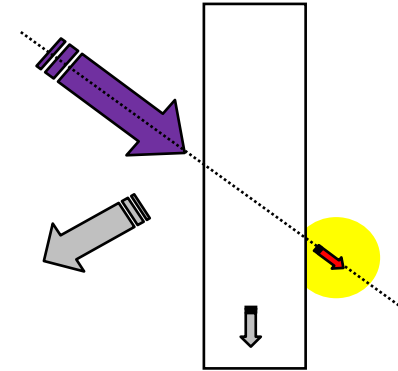
$\alpha = 1.00 \rightarrow 100\%$ geabsorbeerd



ABSORPTIE



ISOLATIE



Ter illustratie :



Glaswol (5 cm - 60 kg/m³) → sterk absorberend, nauwelijks isolerend ...

geluidisolatie = 5 dB

geluidabsorptie = 0.7



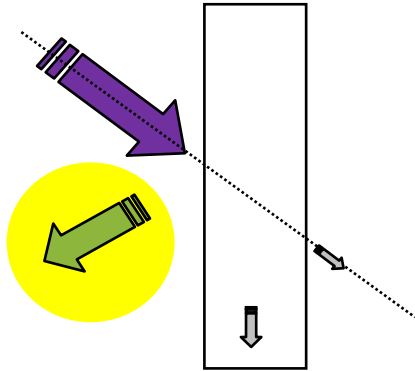
Multiplexplaat (17 mm - 722 kg/m³) → weinig absorberend, gemiddeld isolerend ...

geluidisolatie = 29 dB

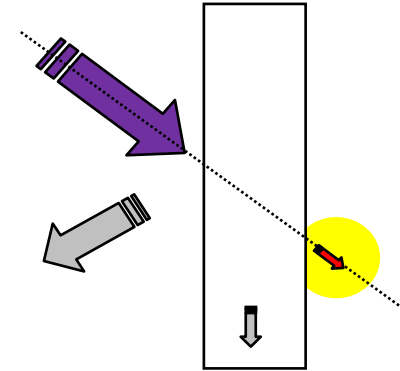
geluidabsorptie = 0.2



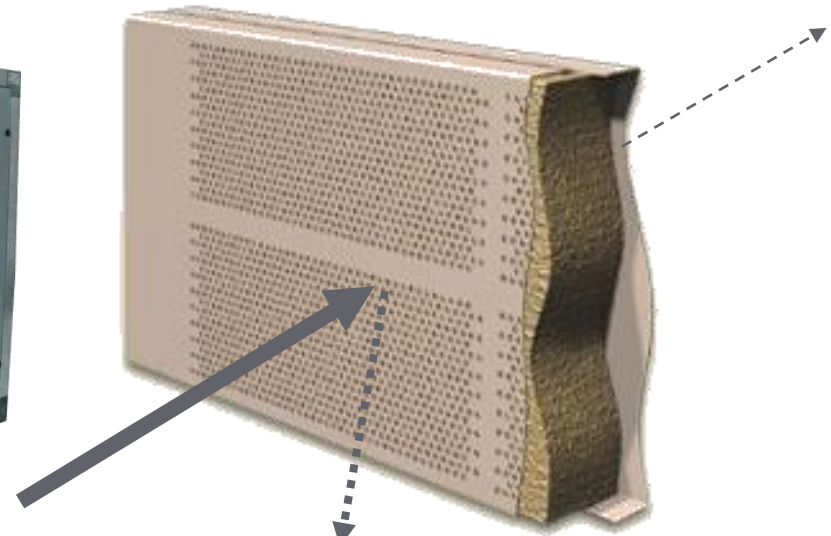
ABSORPTIE



ISOLATIE



Toepassingen : *verkeersgeluidschermen, kantoorschermen, omkastingen, ...*



Equivalente geluidabsorptie-oppervlakte A [m^2]



Absorptie in de
ruimte [m^2]

Absorptie van het
oppervlak i [m^2]

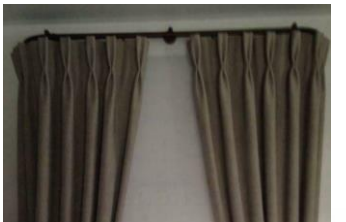
$$A = \sum (\alpha_i * S_i) = \sum A_i$$

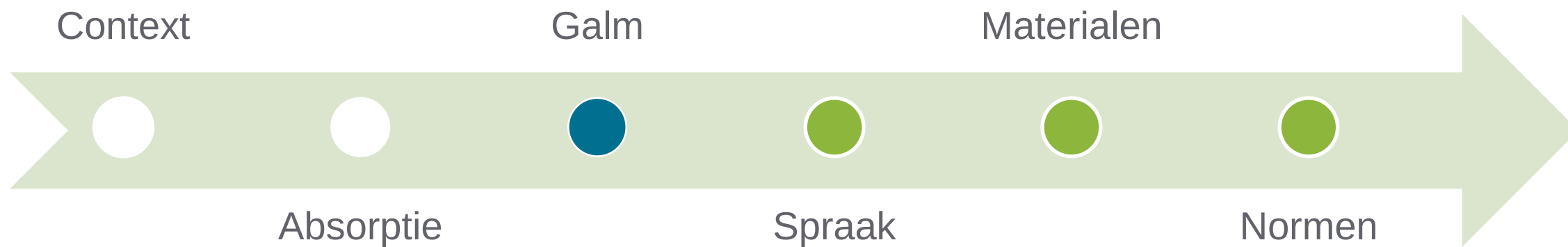
"Equivalent m^2 open raam"

$$A_i = S_i * \alpha_i$$

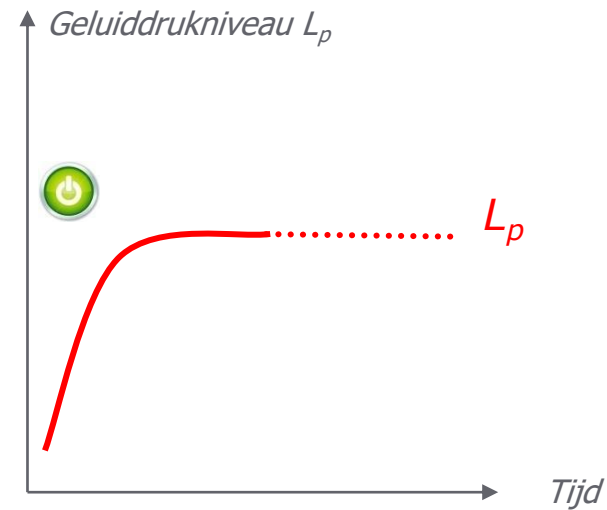
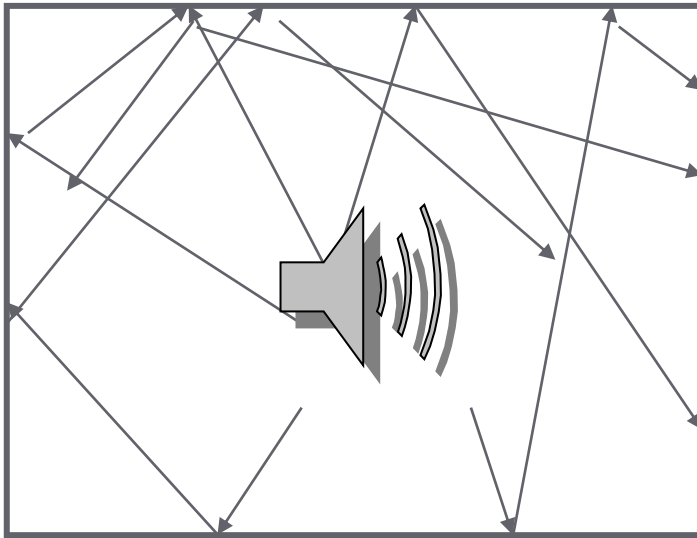
$$A_i = S_{open\ raam} * \alpha_{open\ raam}$$

$$= S_{open\ raam}$$





Hoe luid klinkt de ruimte ?

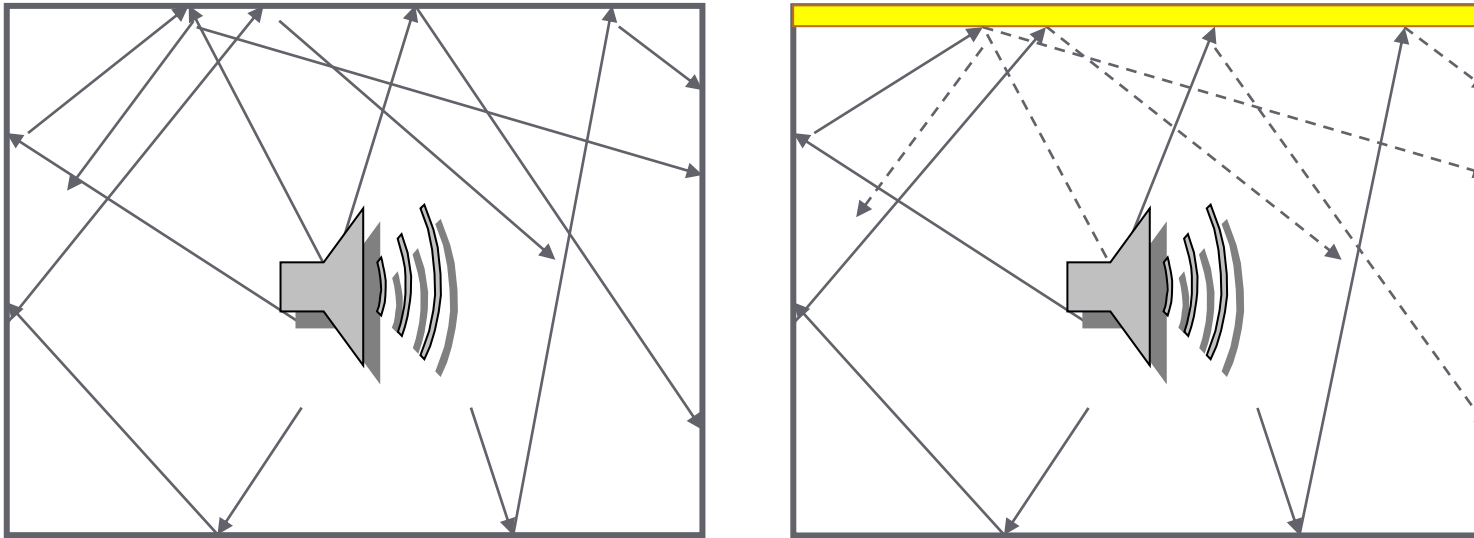


Geluiddrukniveau wordt beïnvloed door de **afstand** r [m] tot de geluidbron en de aanwezige hoeveelheid **absorptie** A [m²] in de ruimte

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right]$$



Hoe luid klinkt de ruimte ?



Afname van **3 dB** (in galmveld) per **verdubbeling van de hoeveelheid absorptie**

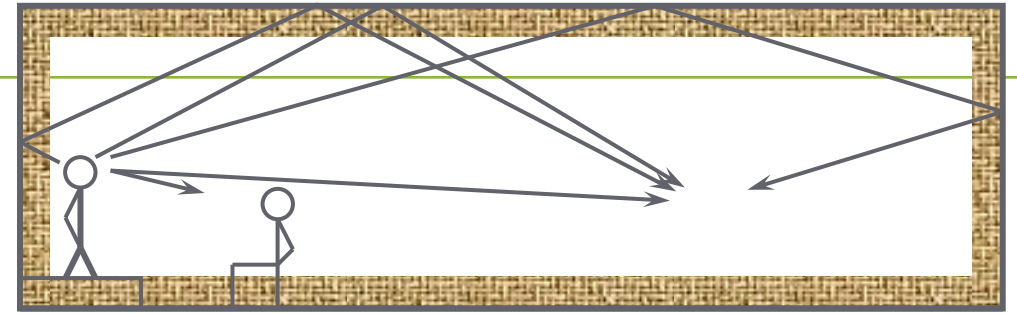
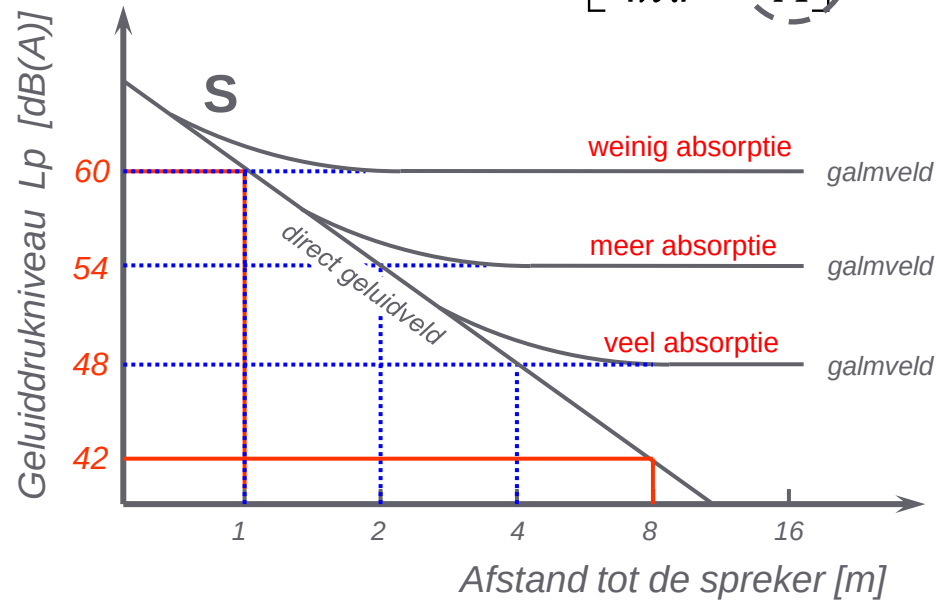
$$- 3 \text{ dB} \quad L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right] \times 2$$



Hoe luid klinkt de ruimte ?

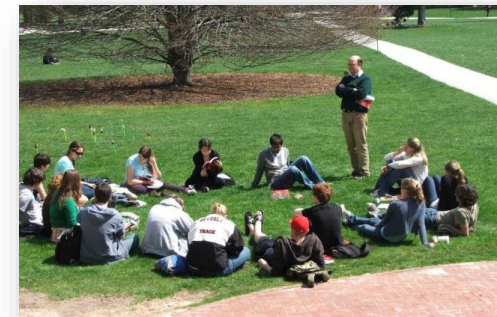
Totaal geluidniveau = direct geluid + *galm*

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right]$$



In het 'vrije veld' ($A=\infty$) wordt geluidniveau volledig bepaald door de afstand tot de spreker

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi \cdot r^2} \right]$$



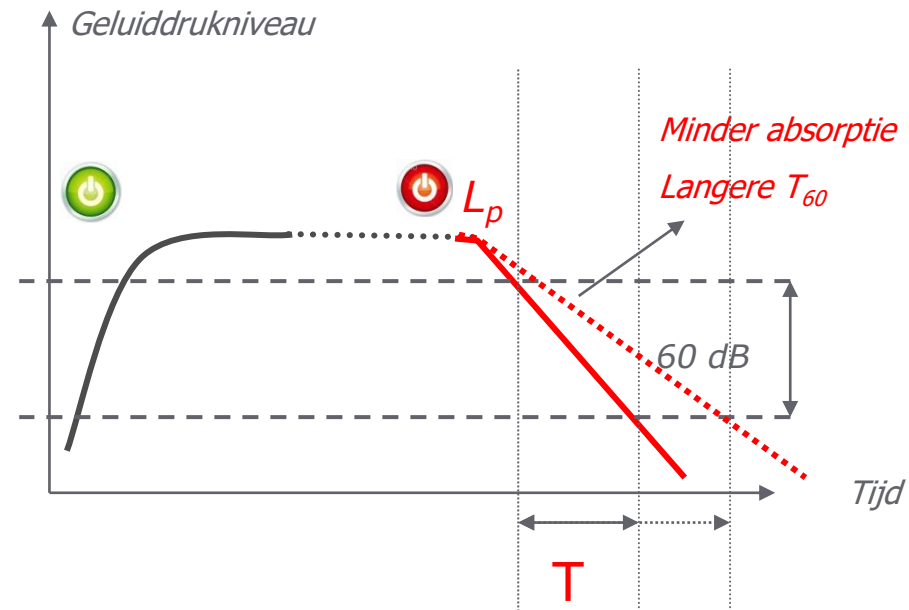
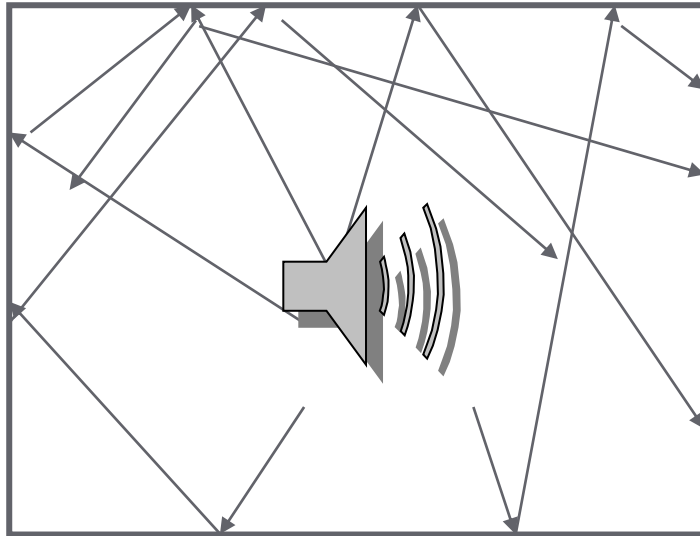
In het 'vrije veld' :
 $r \times 2 \rightarrow L_p - 6 \text{ dB}$

ABSORPTIE

LAWAARIGHEID



Hoe lang blijft het geluid 'hangen' ?



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

Afname van het geluiddrukkniveau 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)

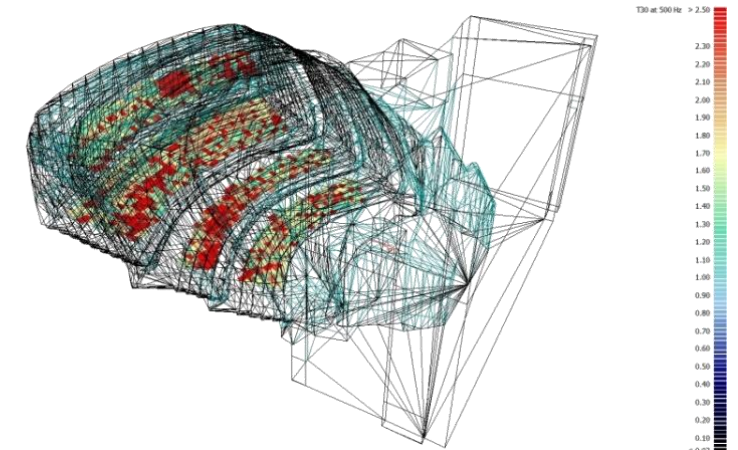
- ‘Kubusvormige’ ruimten
- Beperkte absorptie
- Gelijkmatige absorptiespreiding
- Niet te veel objecten

“Nagalmtijd T”

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

Meer gedetailleerde modellen (niet-diffuse geluidsvelden)

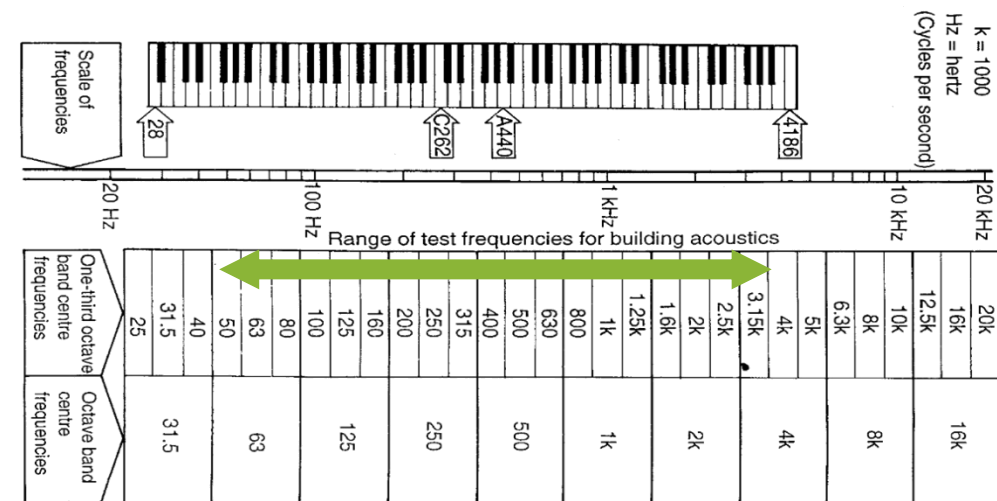
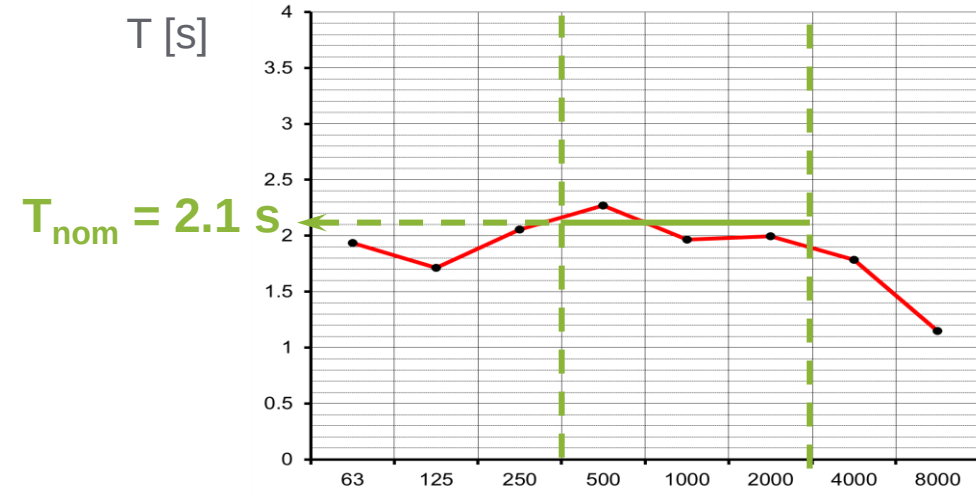
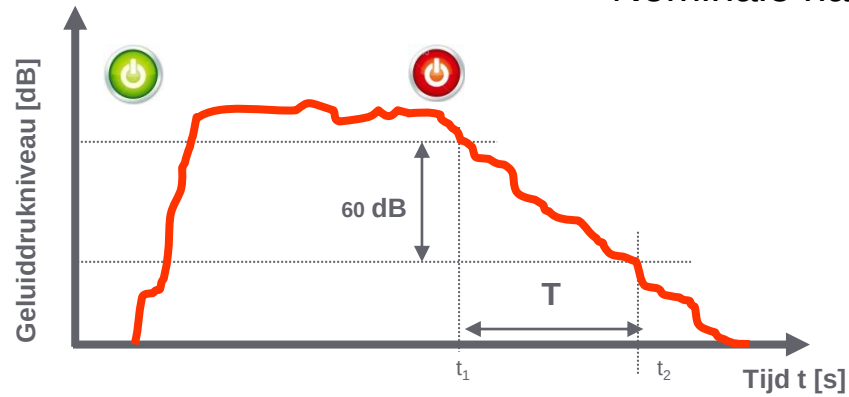
- vb. EN 12354-6
- computersimulaties

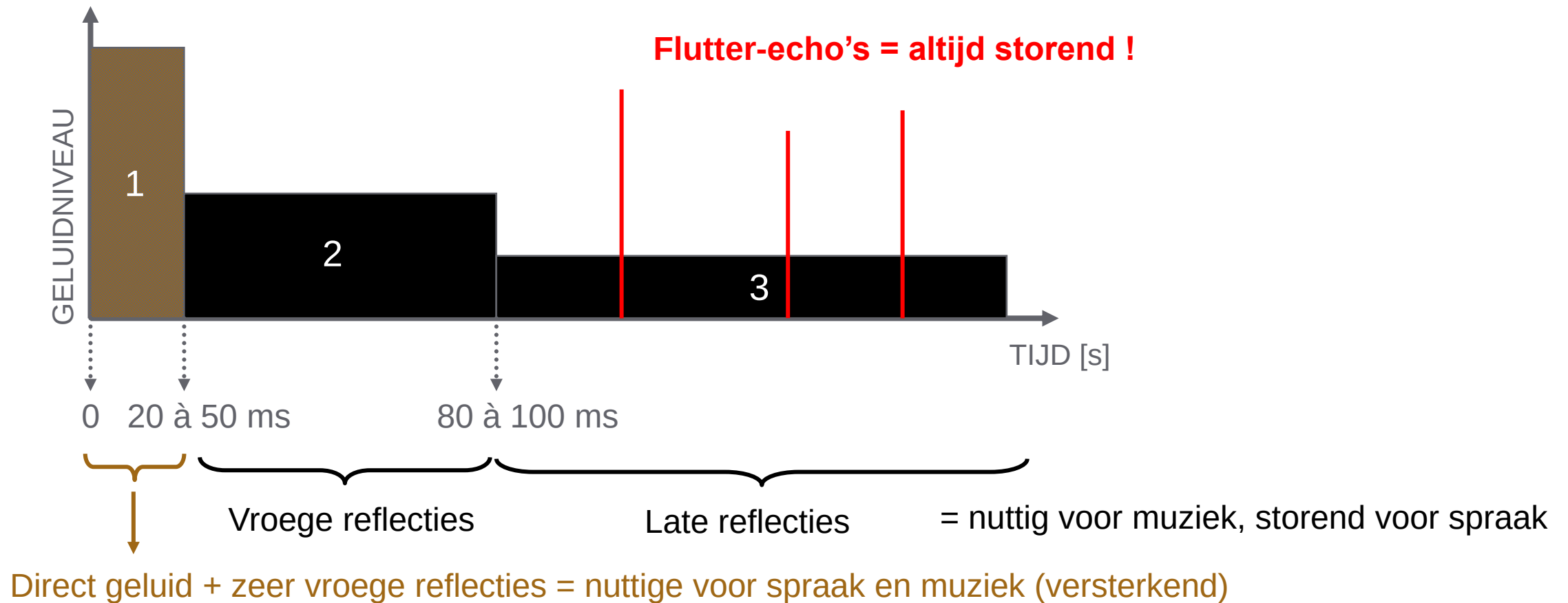


Odeon©1985-2006



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







Galm

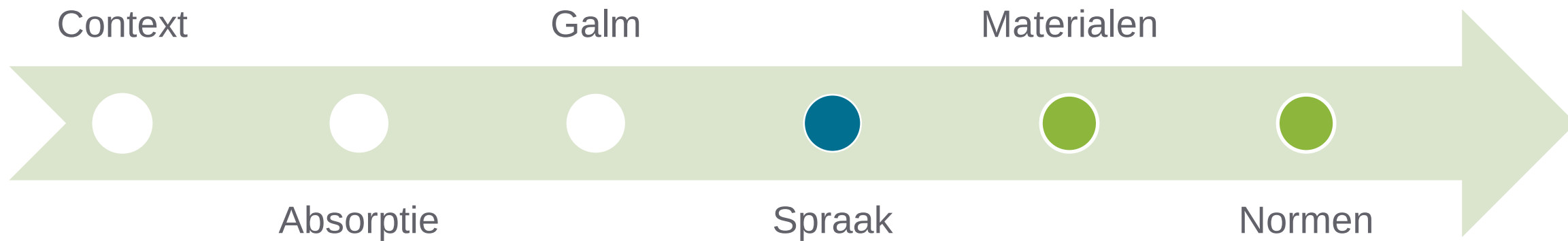


Activiteiten

Spraakverstaanbaarheid

Lawaai





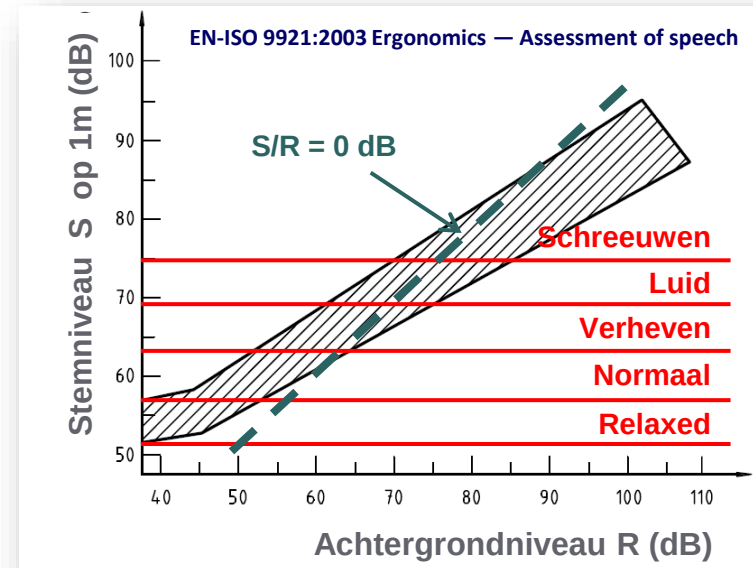
Achtergrondgeluid



Opdat bij toehoorder : $S/R \geq 15$ dB

Moet bij spreker : $S/R \geq 25$ dB (want signaalverzwakking)

→ **Maximaal achtergrondniveau : ± 25 à 30 dB**



‘Maskerend’ achtergrondgeluid zo veel mogelijk beperken : stille installaties, goede (gevel)geluidisolatie,... = RUIS

Signaal/Ruis-verhouding (S/R) ≥ 15 dB : **achtergrondgeluid moet minstens 15 dB zwakker zijn**



Signaal/Ruis

S/R

STI = Speech Transmission Index (spraakverstaanbaarheid)

+15 dB 0.95



Ideale S/R verhouding

+7 dB 0.75



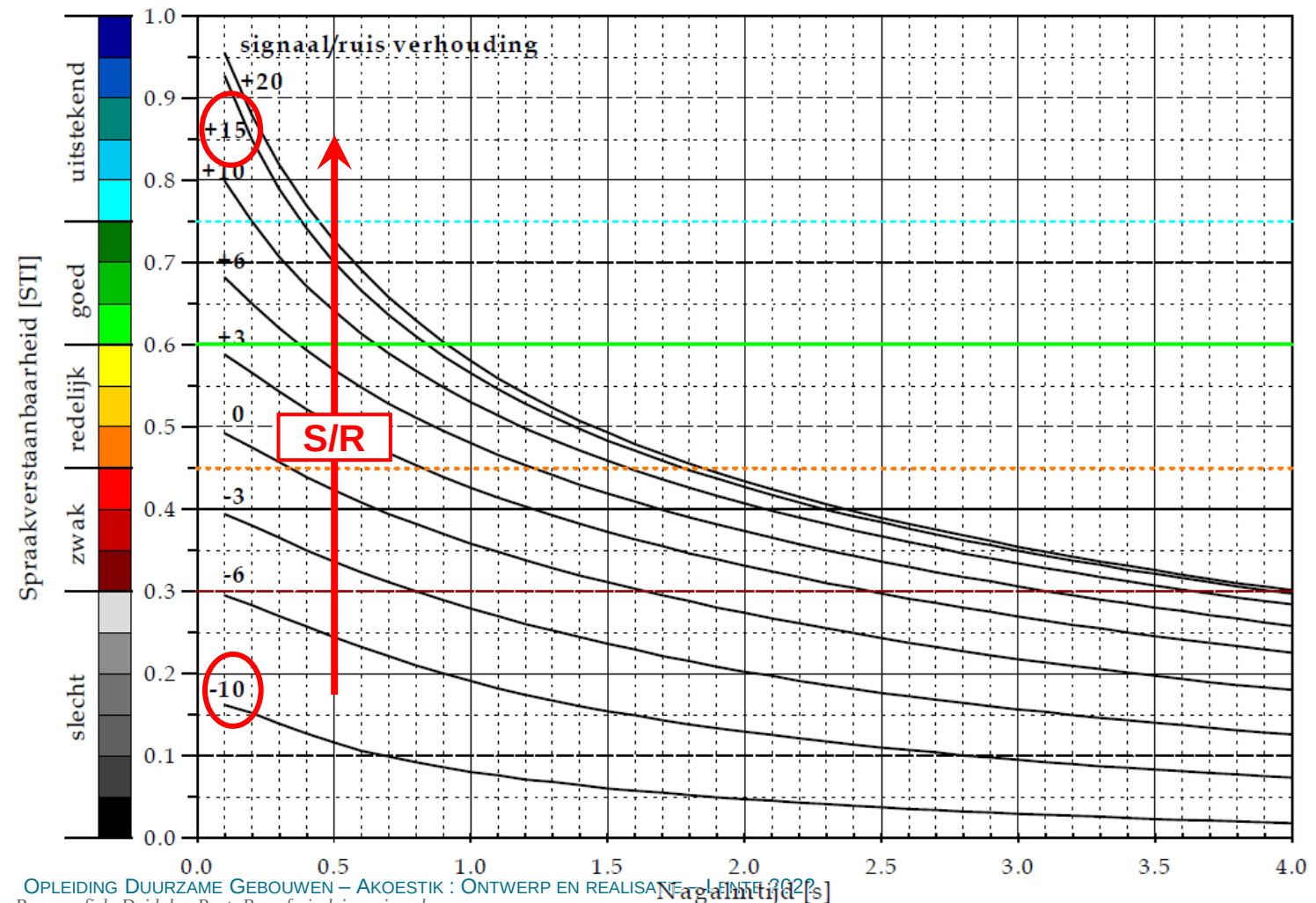
+1 dB 0.6



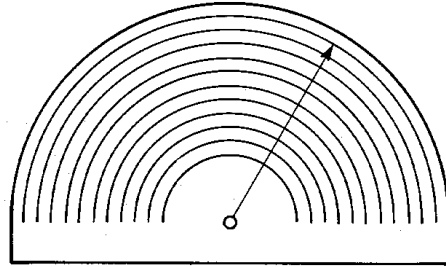
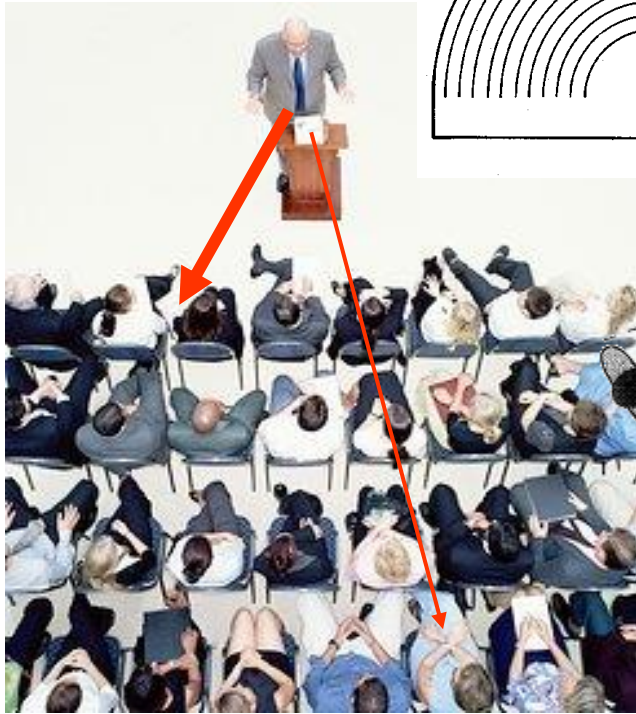
-9 dB 0.25



Signaal volledig gemaskeerd

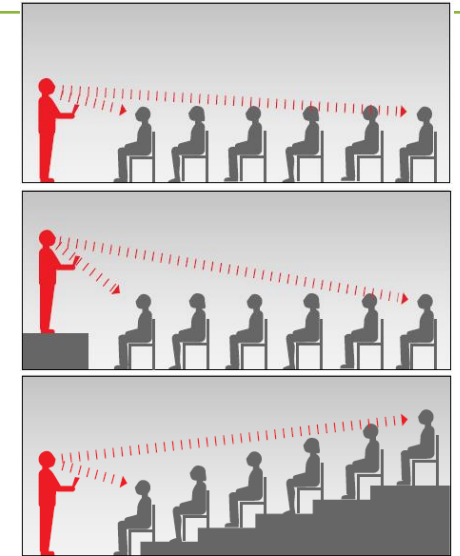
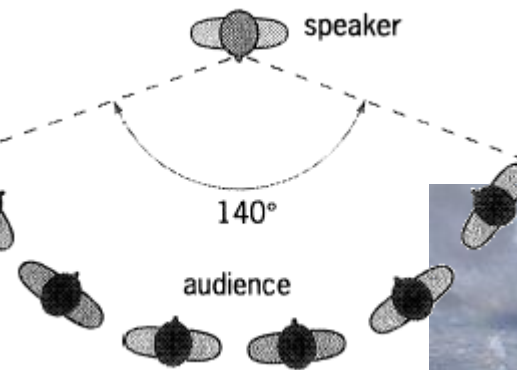


Belang van goede zichtlijnen

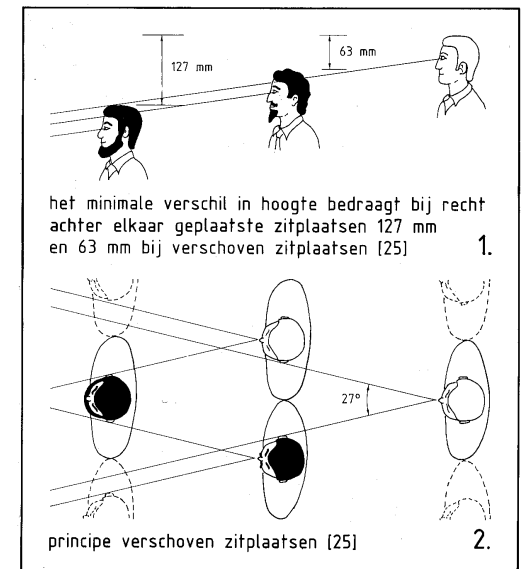


Korte, ononderbroken weg!

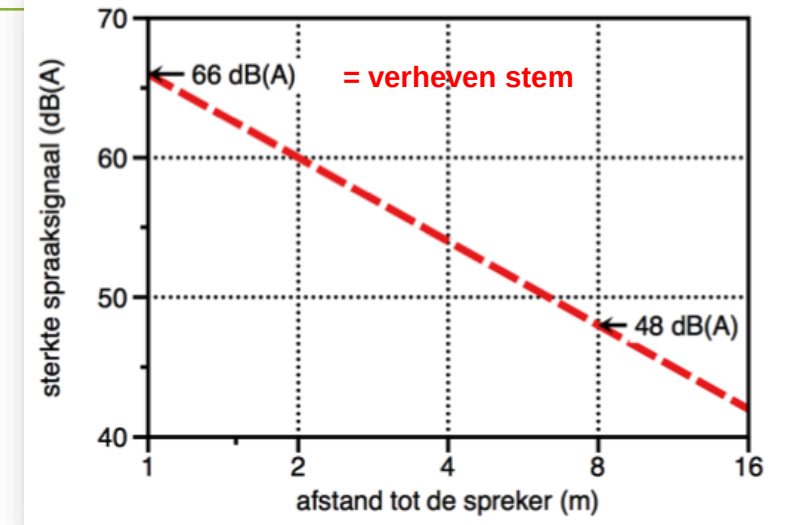
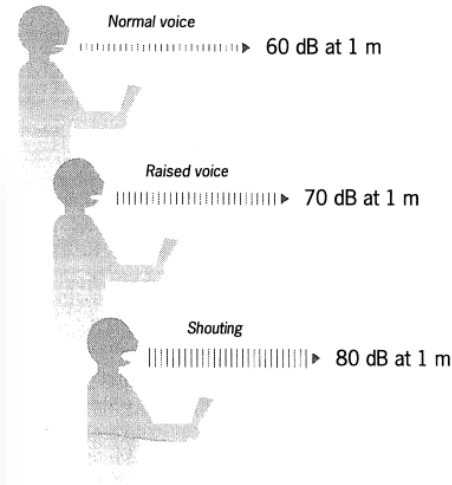
Directiviteit van spraakgeluid
($> 140^\circ$: groot verlies van medeklinkers)



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



Afstand tot de spreker

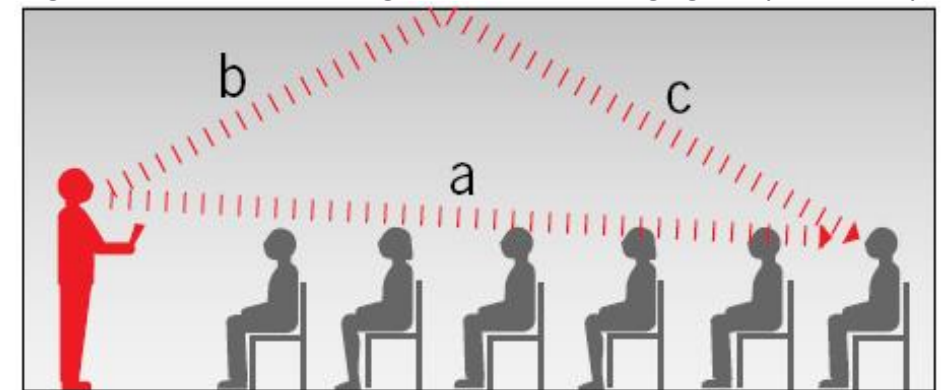


In het 'vrije veld' : $r \times 2 \rightarrow L_p - 6 \text{ dB}$

Zeer vroege reflecties (<20 à 50ms) versterken het directe geluid = natuurlijke spraakversterking

Spraakversterking noodzakelijk op **grotere afstand** van spreker en/of **storend achtergrondgeluid** ($R/S < 15 \text{ dB}$)

Building Bulletin 93: Acoustic design of schools - a design guide (2003, 2015)

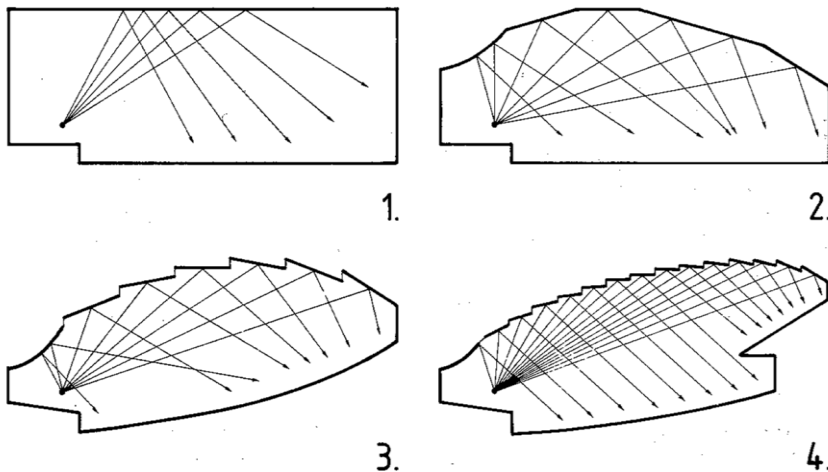
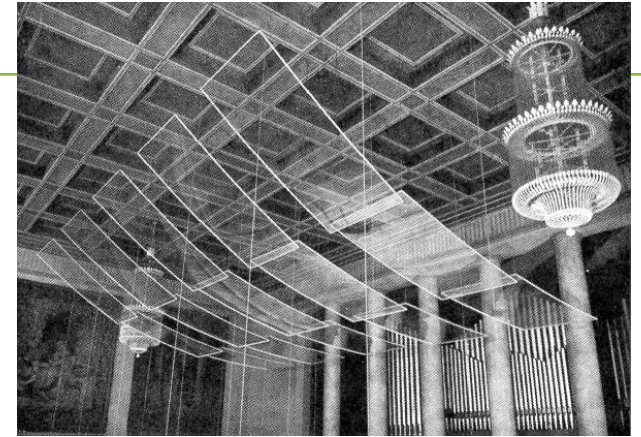


$$b + c - a = \Delta L \text{ "direct-reflectie"} \leq 7 \text{ à } 17 \text{ m (20 à 50 ms)}$$

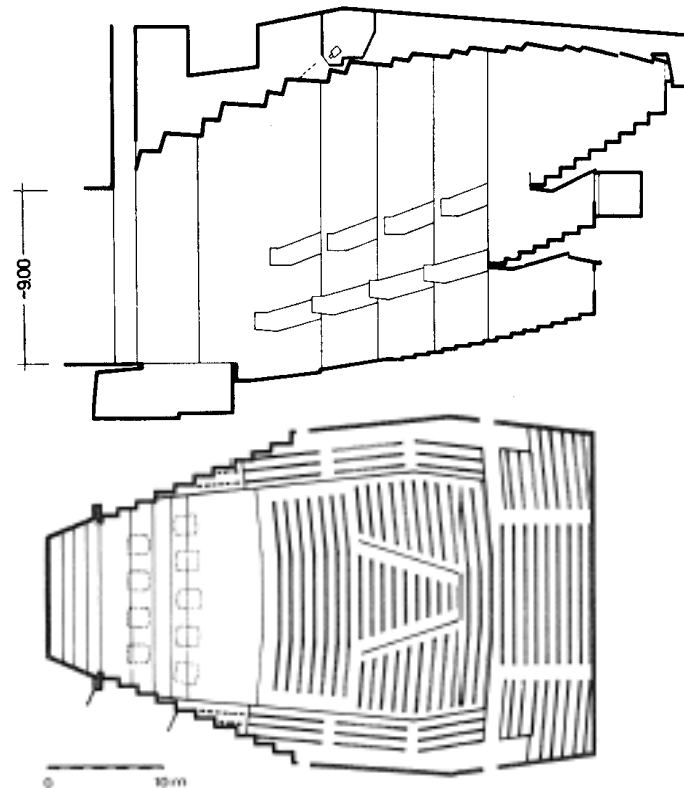


Zeer vroege, nuttige reflecties

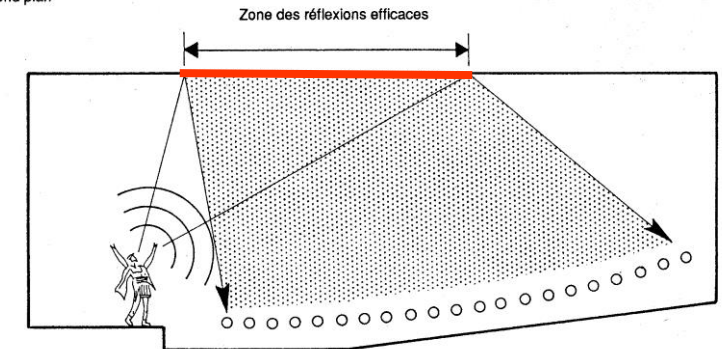
- Via plafond (doorsnede) en/of zijwanden (plan)
- Schuine vlakken, reflecterende materialen
- Overal goede spraakverstaanbaarheid



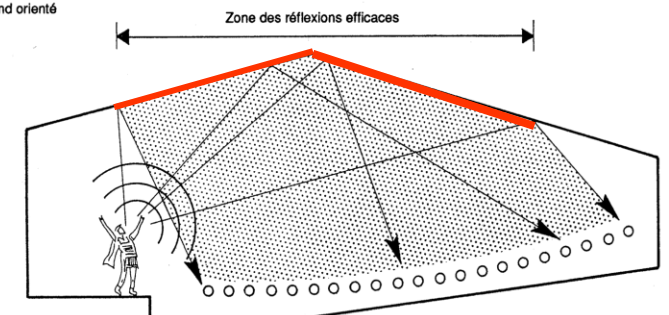
Zelfde principe voor concertzalen



Plafond plan



Plafond orienté



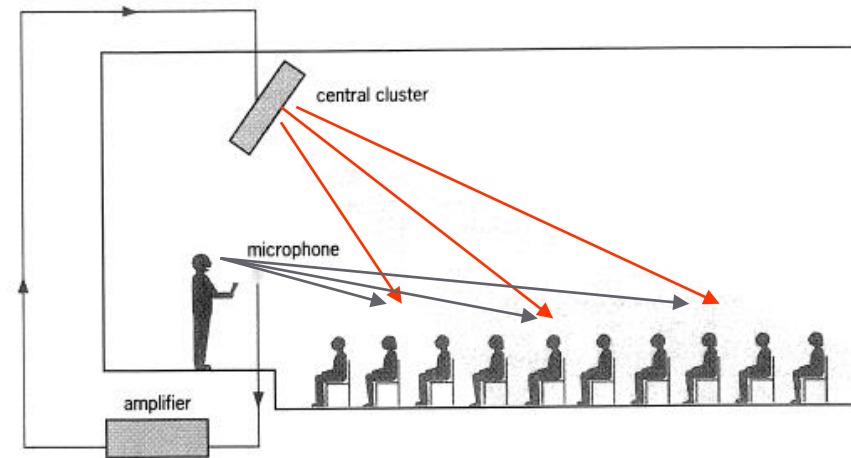
L'inclinaison différente de chaque partie du plafond permet d'exploiter un maximum d'ondes réfléchies.



Elektronische versterking



“Kunstmatige” zeer vroege reflecties



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

Aangepaste versterking &
vertraging !

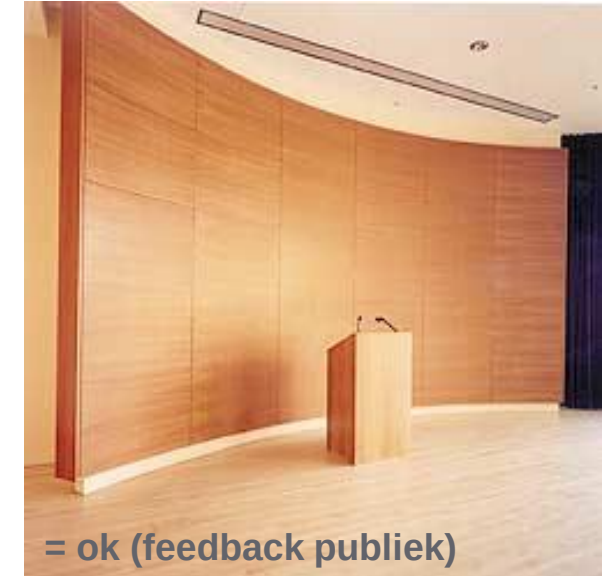
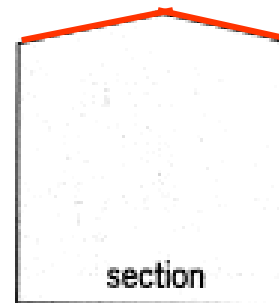
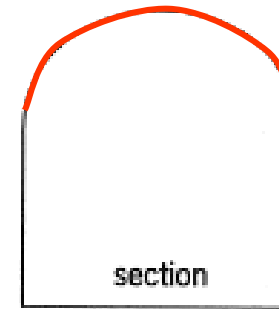
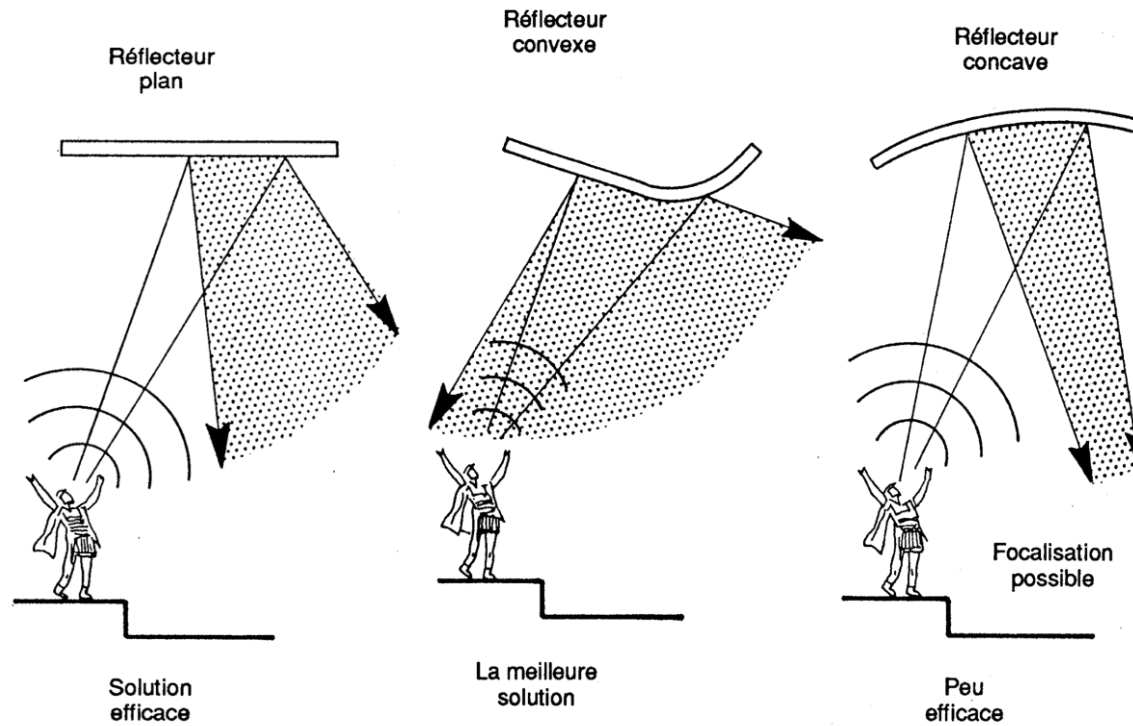
Afstanden micro-spreker, micro-
publiek, luidspreker publiek

= Specialistisch domein, vergt specialistisch advies !

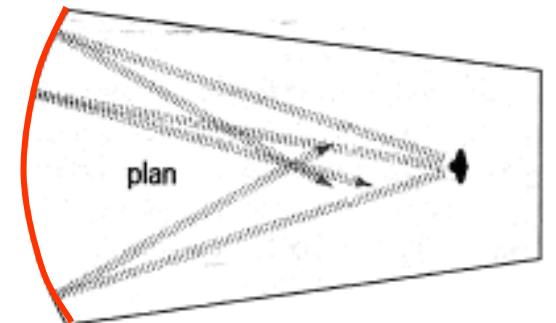


Ongewenste reflecties

➤ Focusering (concave vormen)



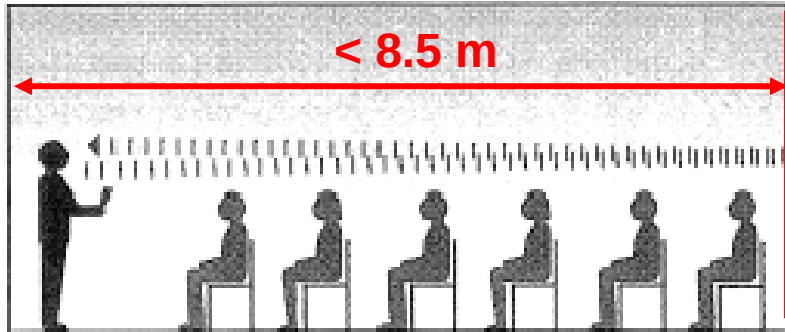
Bron: Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"



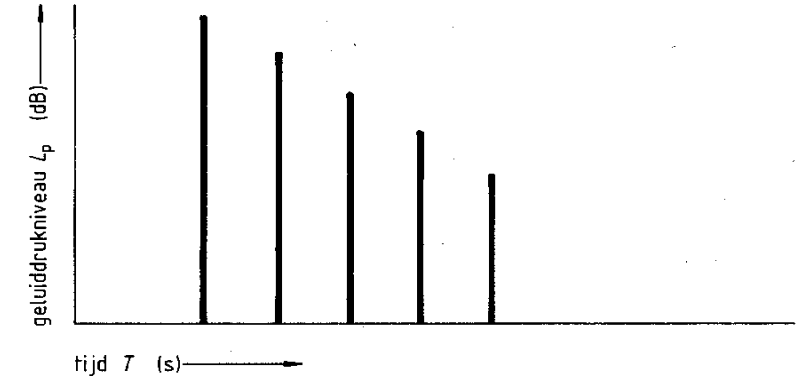
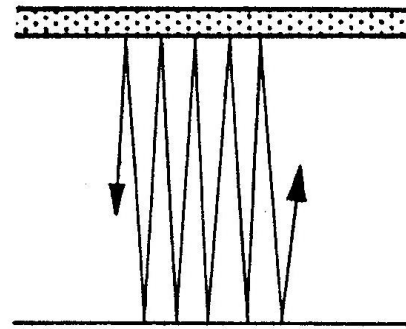
Absorberende/diffuserende behandeling !



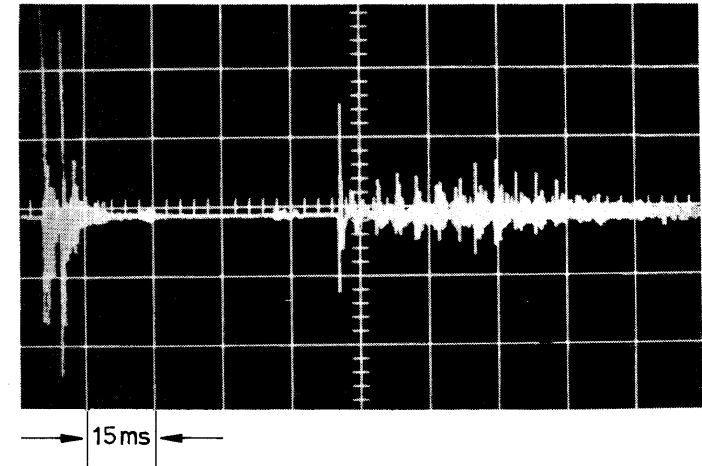
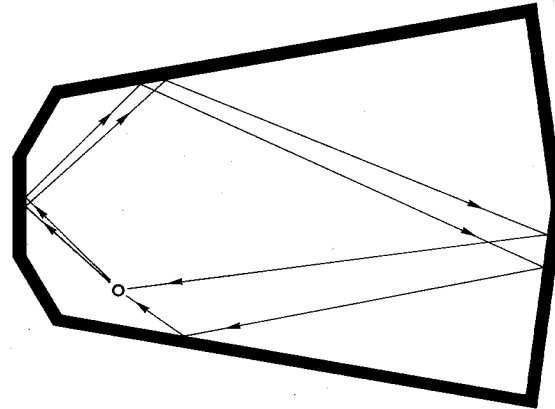
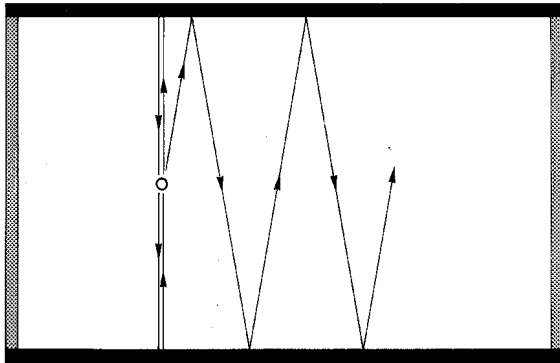
Vermijden van (flutter)echo's



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



Ver verwijderde, evenwijdige wanden & grote symmetrische volumes : plaatselijk absorberende behandeling



Bron: L. Cremer, H.A. Müller, "Principles and Applications of Room Acoustics"



Galmbeheersing

DUUR

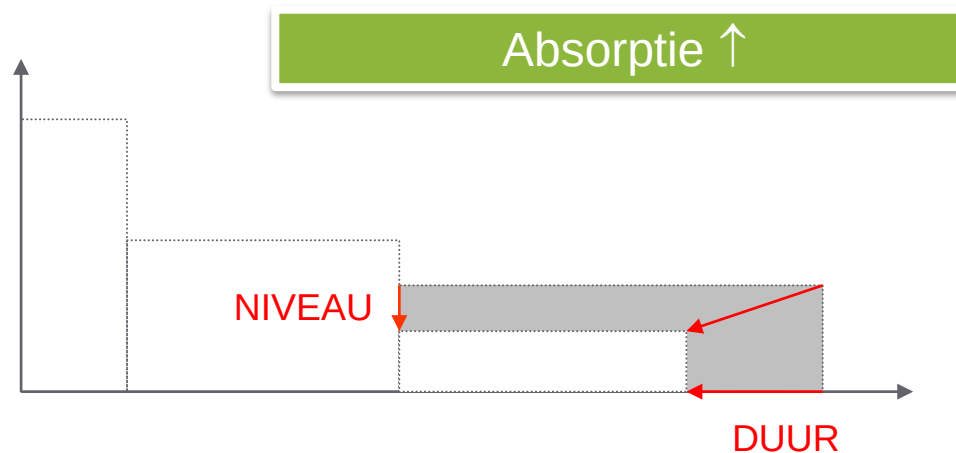
→ “nagalmtijd” ↓

NIVEAU

→ “galmniveau” ↓

ZONE

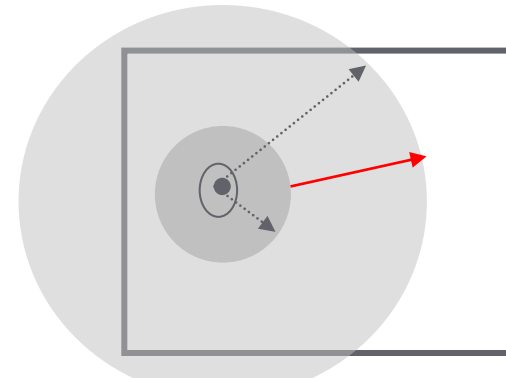
→ “direct geluidsveld” ↑



$$T = 0.16 \frac{V}{A}$$

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi \cdot r^2} + \frac{4}{A} \right]$$

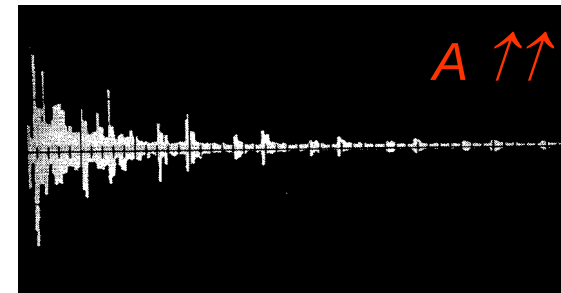
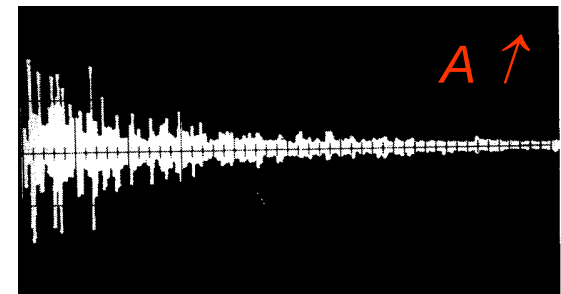
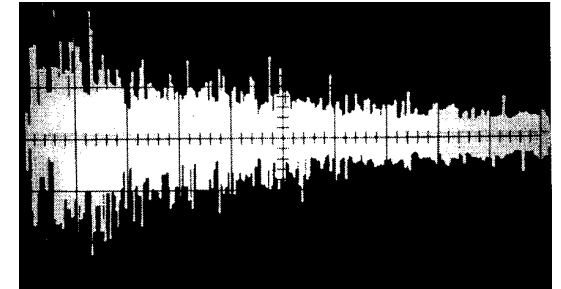
$$r_{galm} = \sqrt{\frac{A Q}{16\pi}}$$



DIRECTE VELD :

Zone waarbinnen directe geluid
(+zeer vroege reflecties) overheerst

Vanaf $3.5 \cdot r_{galm}$: spraakverwarring ~ nagalmtijd



Invloed van het volume

Grote, harde volumes ... !?



Elektronische
versterking (public
address system)
vaak enige optie...

Absorptie !
Signaalversterking !

Kleine volumes = OK?



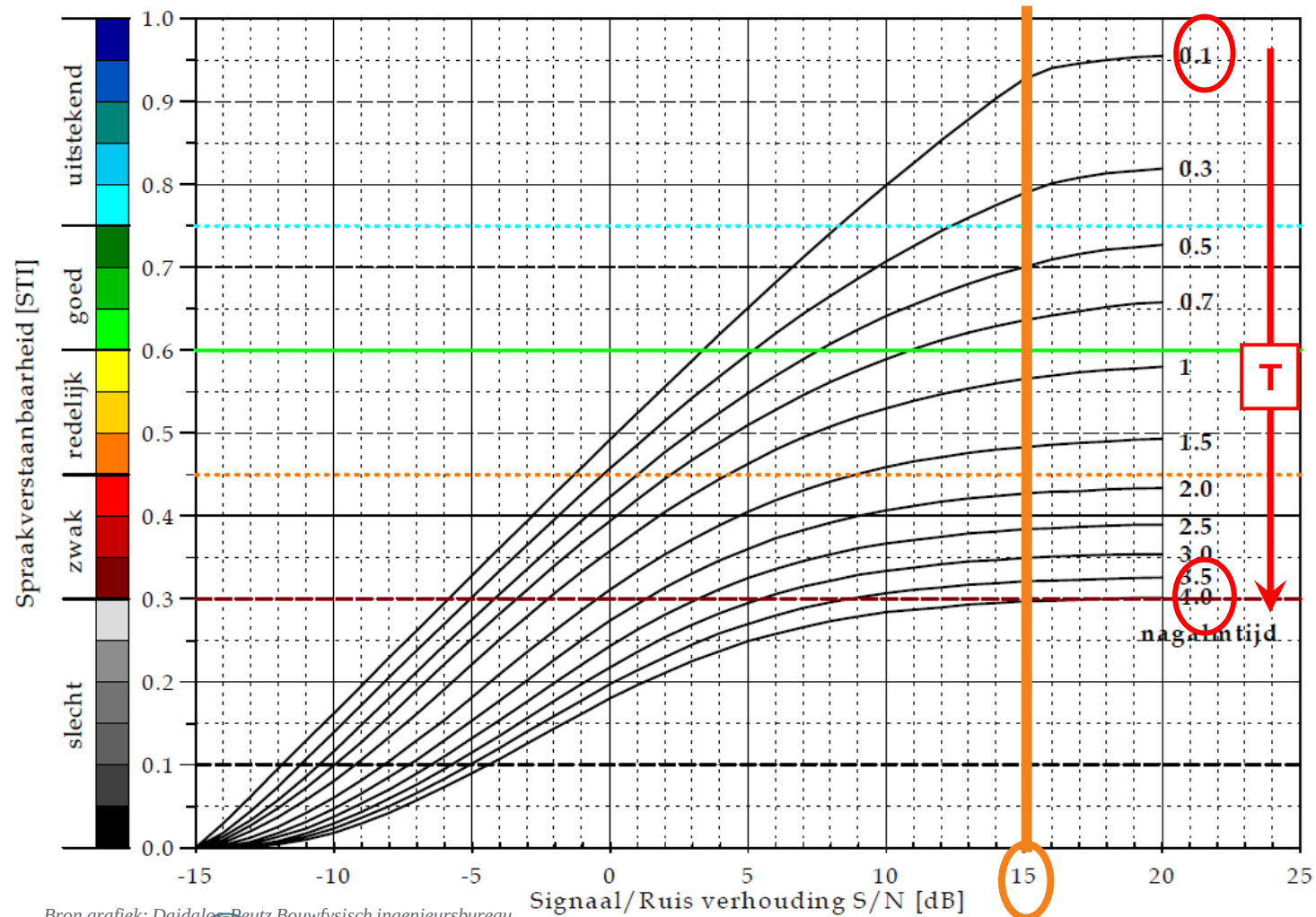
Te "droog" (feedback) !



Te luid !



Invloed van de nagalmtijd



Bron grafiek: Daidalos-Beutz Bouwfysisch ingenieursbureau



nagalmtijd STI



0.4 s 0.75



0.8 s 0.6

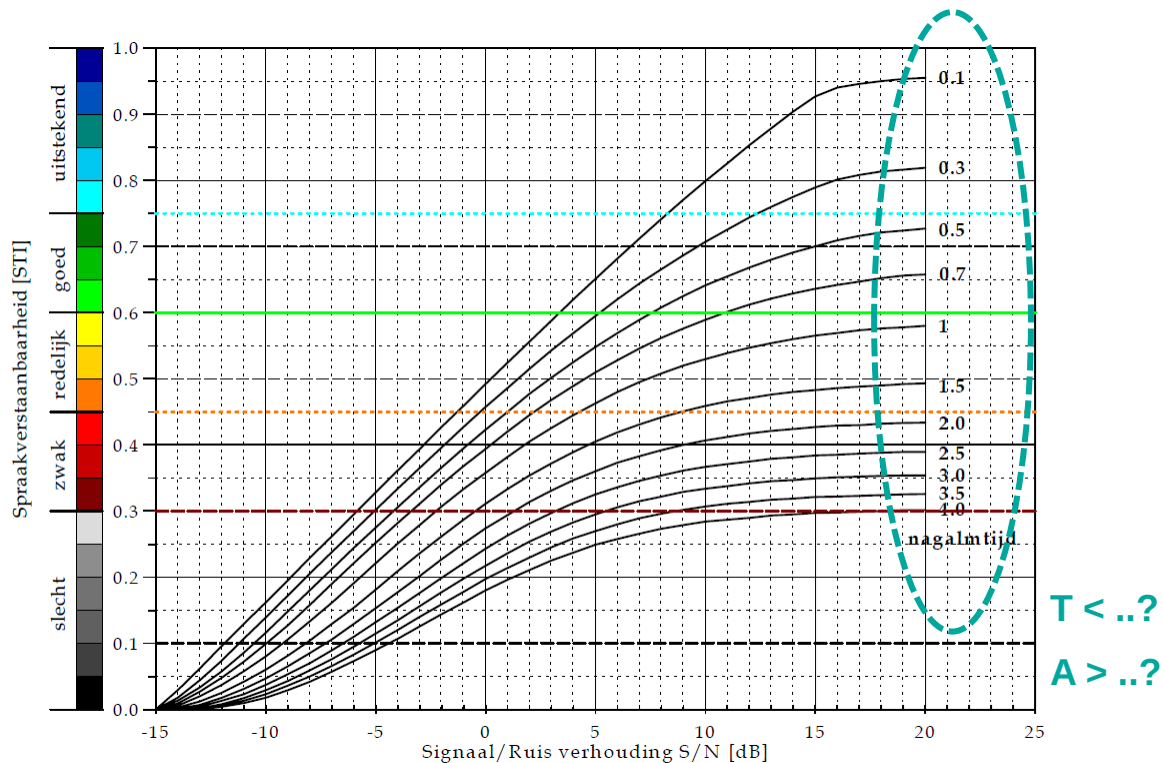


4.8 s 0.3



34 s 0.1

Hoeveel absorptie A ?



Maximale nagalmtijd T → Minimale absorptie A
(zie ook NBN-eisen)

uitstekend	dit is het ideale geval voor leslokalen en alle ruimten waar de overdracht van kennis of informatie primeert
goed	dit is de minimale waarde in leslokalen, auditoria,...
redelijk	dit is aanvaardbaar voor eenvoudige boodschappen
zwak	noch spraakverstaanbaarheid, noch privacy gegarandeerd
slecht	indien STI voldoende laag, kan men spreken van privacy i.p.v. spraakverstaanbaarheid

$$A = 0.16 \frac{V}{T}$$

Voor spraaktoepassingen : T = 0.5 à 1 s → minimale absorptie ~ V

- Absorptie uniform verspreid + strategisch (echo's, focusering)
- Oordeelkundige positionering van reflecterende materialen (zeer vroege reflecties)





November 2015

Waar absorberend materiaal ?

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

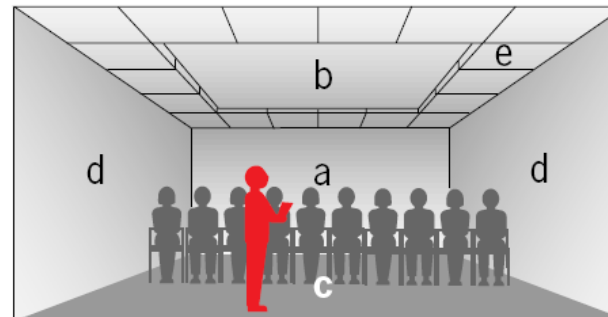
REFLECTEREND :

- Plafond & zijwanden
- Wand vooraan

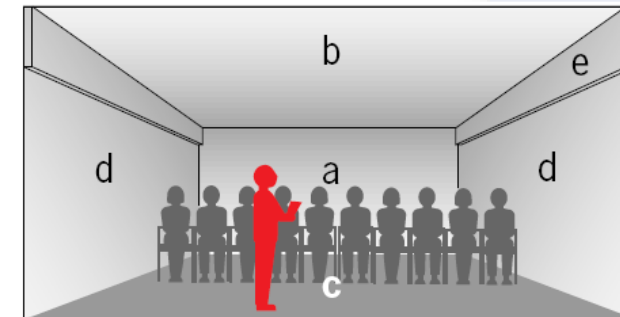
ABSORBEREND :

- Wand achteraan
- Vloer (*)
- Randen plafond/zijwanden

**Nuttige reflecties !
Absorptie !**



(a) Surface finishes in classroom or lecture theatre:
a. Rear wall - sound absorbing or diffusing
b. Ceiling - sound reflective (eg plasterboard)
c. Floor - sound absorbing (eg carpet)
d. Walls - sound reflective
e. Ceiling - sound absorbing



(b) Surface finishes in classroom or lecture theatre:
a. Rear wall - sound absorbing or diffusing
b. Ceiling - sound reflective (eg plasterboard)
c. Floor - sound absorbing (eg carpet)
d. Walls - sound reflective
e. Top of walls - sound absorbing or diffusing

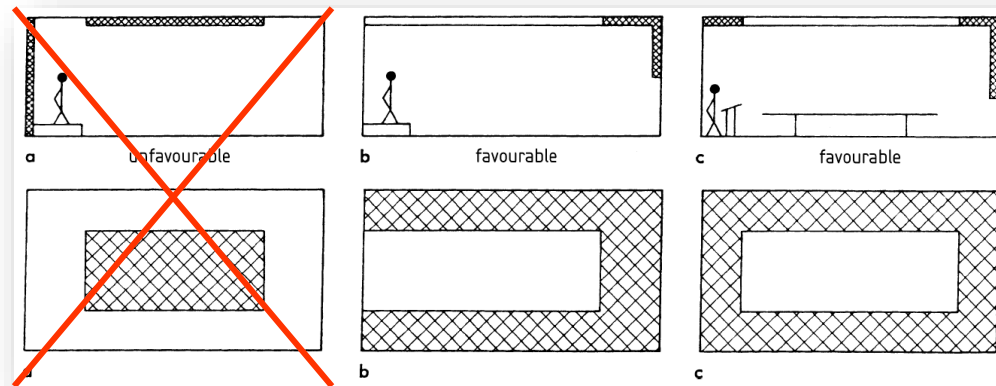
(*) In de praktijk : vaak absorberend plafond → verminderde verstaanbaarheid achteraan



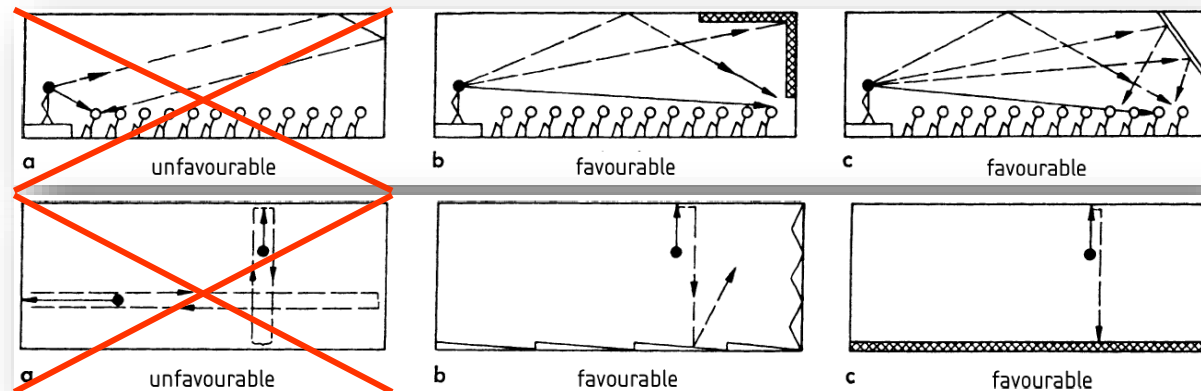
Waar absorberend materiaal ?

DIN 18041: Acoustic quality in small to medium-sized rooms (2004, 2016)

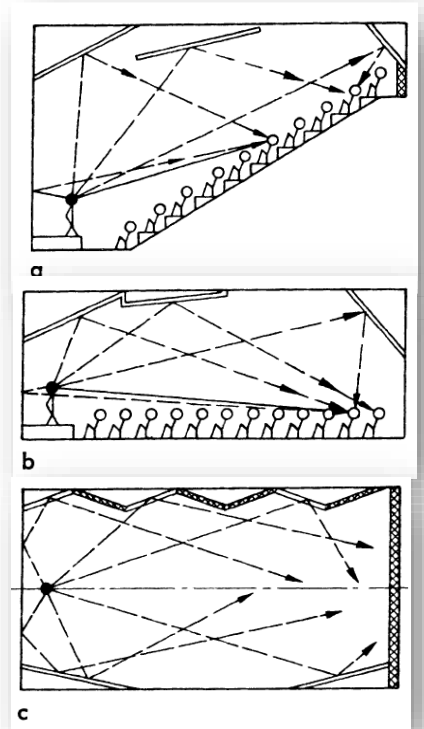
$V < 250 \text{ m}^3$



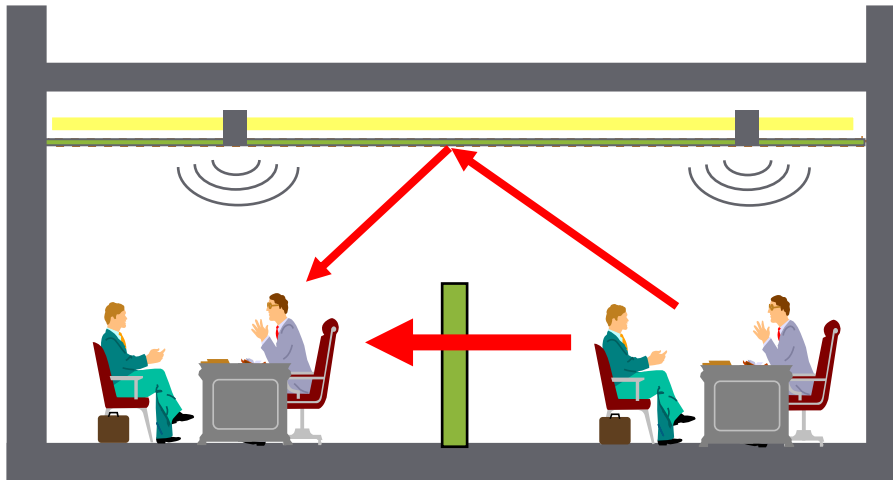
$V > 250 \text{ m}^3$



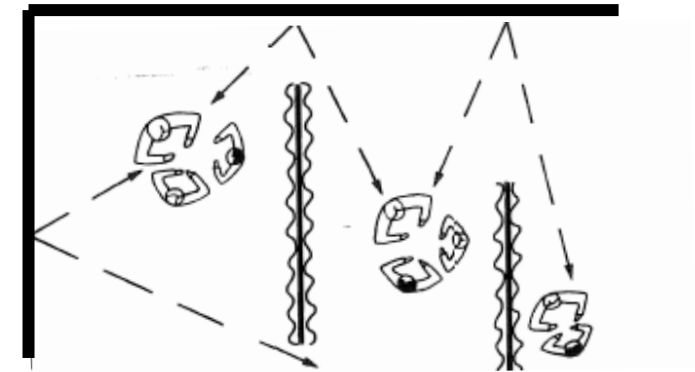
$d > 9 \text{ m}$



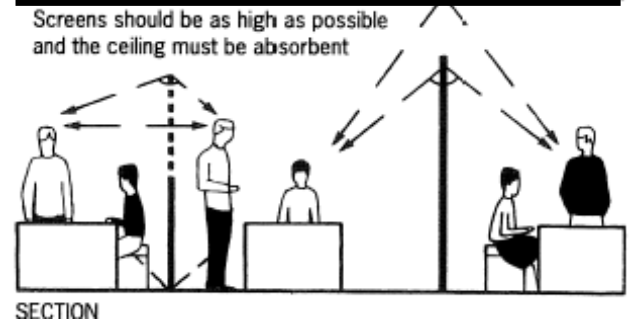
Landschapskantoren



Vermijden van directe overdracht + storende reflecties !

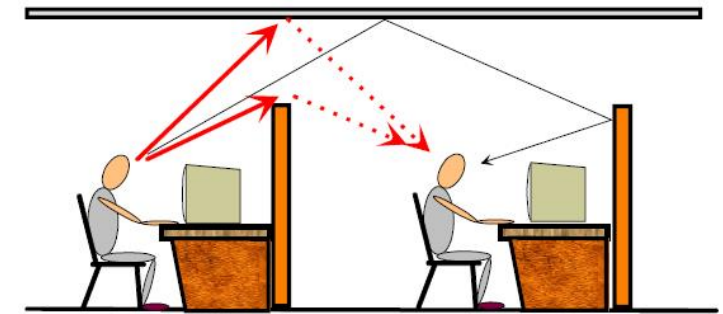


Bron: Building Bulletin 93, "Acoustic design of schools: A design guide"



Landschapskantoren

- Werkstations zo ver mogelijk uit elkaar
- Voldoende hoge schermen (absorptie + isolatie), $h \geq 1.7\text{m}$
- Absorberend plafond ($\alpha_w \approx 1$) of plafondeilanden
- Vermijden van laterale reflecties (lokale absorptie op wanden/gevels)
- Eventueel maskeersysteem (40 à 45 dB(A))

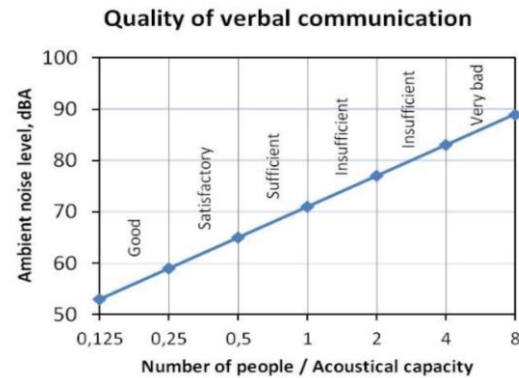


Restaurants, receptieruimtes

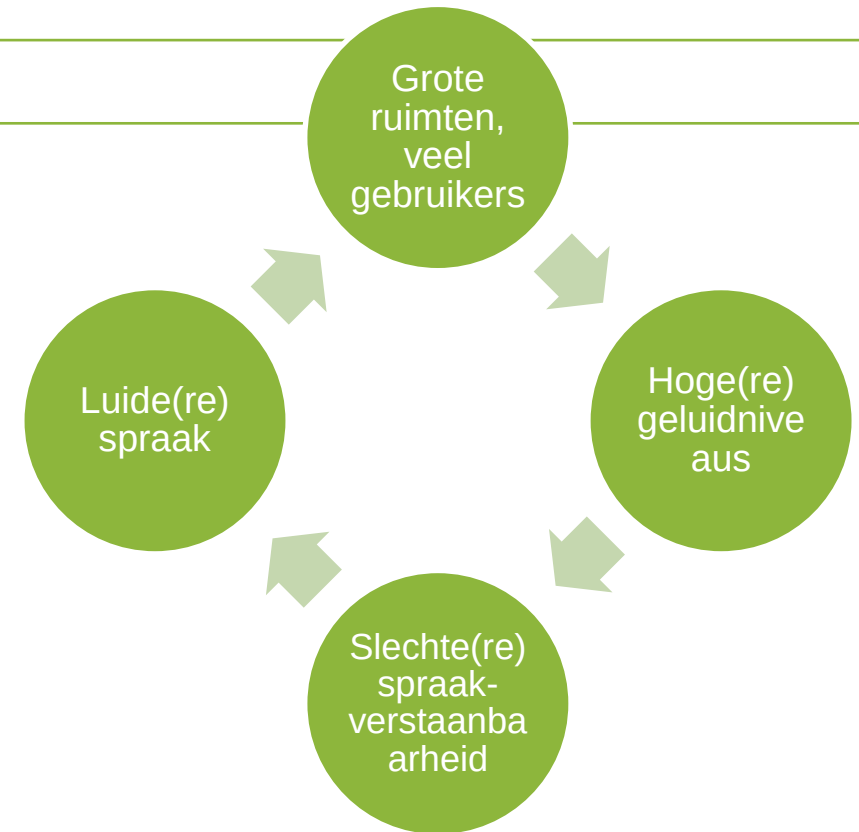
Slechte spraakverstaanbaarheid in grote, bevolkte ruimtes



Etienne Lombard
(1869-1920)



Auzou, S., P. Crestois, and R. Josse: *Le bruit dans les salles de restaurant*.
Cahiers du centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 1988



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

“Akoestische capaciteit van een ruimte”

Hoe kleiner de ruimte en/of hoger de nagalmtijd,
hoe minder personen

Aantal personen ≤	Nagalmtijd [s]			
Volume [m³]	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



Restaurants, receptieruimtes

Slechte spraakverstaanbaarheid in grote, bevolkte ruimtes

Nagalmtijd beperken om de maximale (akoestische) capaciteit op te drijven !

Aanbevolen maximale nagalmtijden (onbezet):

- Kleine eetgelegenheden: 0.4 s
- Refters in scholen: 1 s
- Grotere eetgelegenheden: 1.2 s

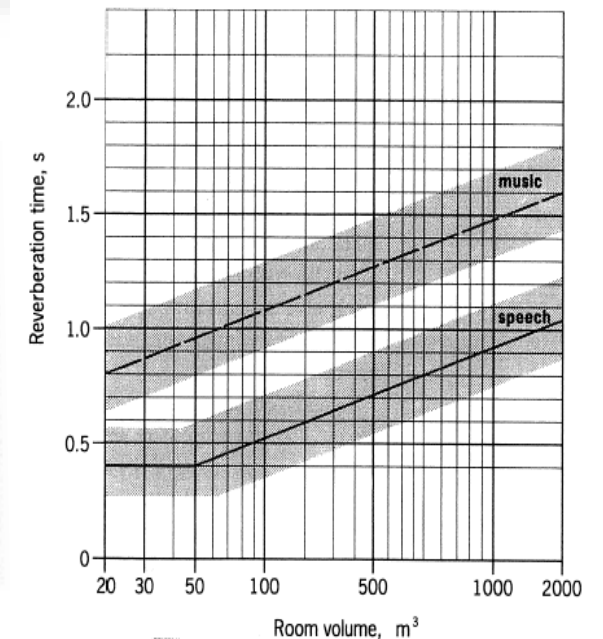
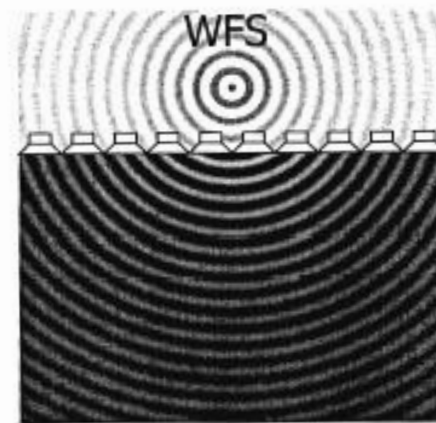


Polyvalente ruimten

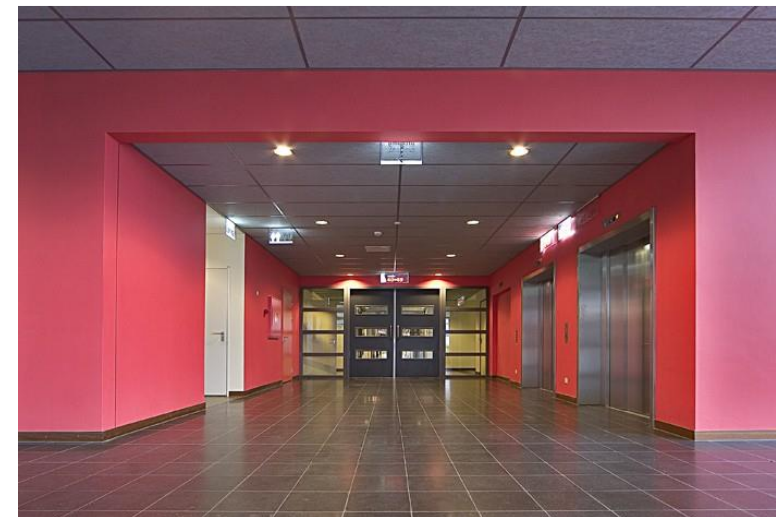
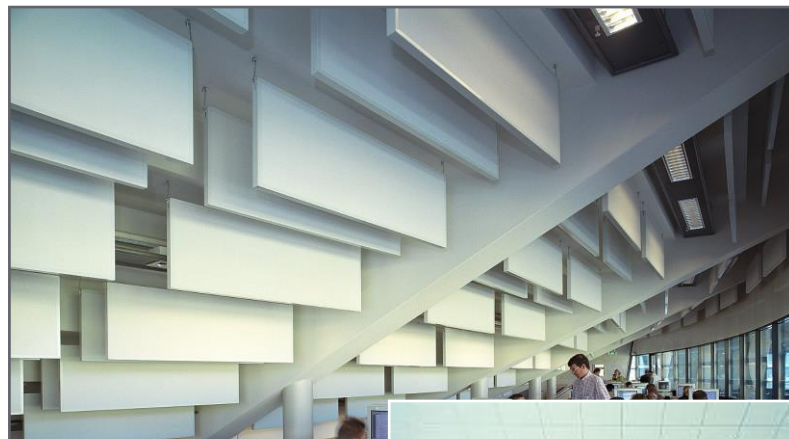
- Laag achtergrondniveau
- Gelijkmatige spreiding geluid
- Geen storende echo's of focusering
- Luidheid
- Goede zichtlijnen
- Nuttige vroege reflecties (publiek & scene)
- Feedback

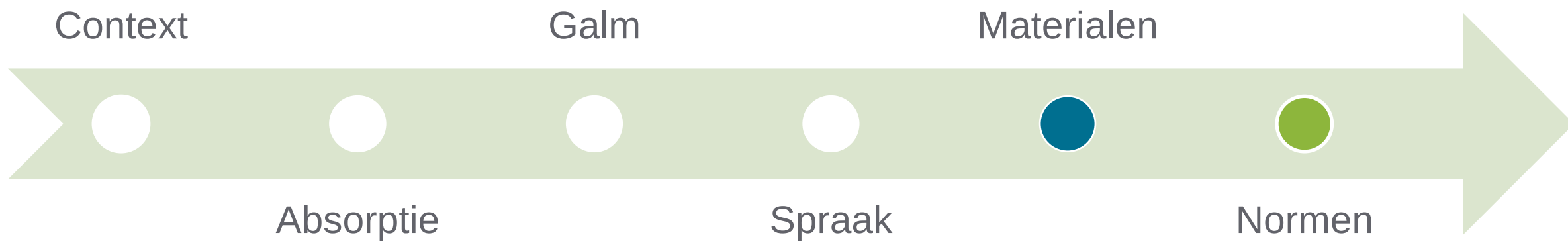
Variabele akoestiek (compromissen...)

**Elektro-akoestische systemen zijn vaak aangewezen
= specialistisch domein**



Zo veel mogelijk absorptie !





Enkele richtwaarden

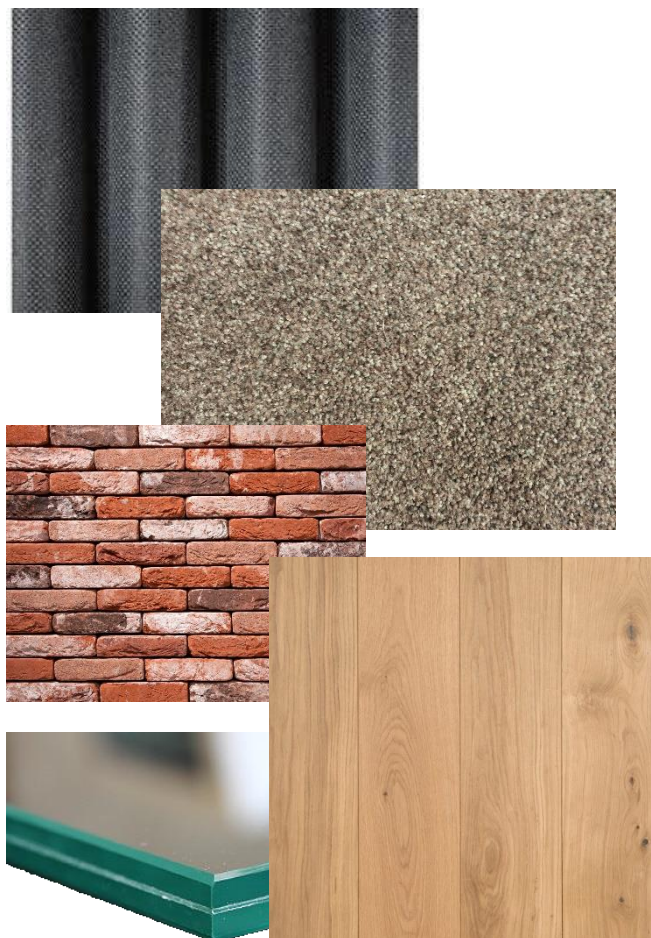


Tableau B.1 — Valeurs type pour le coefficient d'absorption

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 $\approx 0,4$ 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.						



Enkele richtwaarden

Bvb. dunne betonwand bij 1000 Hz,
 $\alpha = 0.02 = \text{slechts } 2\% \text{ absorptie...}$



Matériau	Épaisseur (espace vide compris en mm)	Fréquence (Hz)						
		63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Mur de finition normale								
Briques	—	0,05	0,05	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05
Bloc en machefer	—	0,10	0,20	0,45	0,60	0,40	0,45	0,40
Béton	—	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Vitre (jusqu'à 4 mm) de 1 m ² environ	4	0,25	0,35	0,25	0,20	0,10	0,05	0,05
Vitre de 6 mm et de 1 m ² environ	6	0,08	0,15	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02
Marbre ou tuile en verre	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Plâtre sur mur plein	12	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Eau (d'une piscine par exemple)	—	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Traitement du mur ou du plafond								
Rideaux plissés sur mur plein	—	0,05	0,05	0,15	0,35	0,40	0,50	0,40
Plâtre acoustique (valeurs types)	12	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Amiante projetée sur le mur ou le plafond	25	0,05	0,10	0,30	0,65	0,85	0,85	0,75
Amiante projetée sur du métal avec vide d'air de 75 mm	100	0,20	0,30	0,40	0,65	0,80	0,75	0,70
Verre ou couche de laine de roche, valeurs types pour matériaux de densité moyenne	25	0,05	0,10	0,35	0,60	0,70	0,75	0,75
	50	0,10	0,20	0,45	0,65	0,75	0,80	0,80
	100	0,25	0,45	0,75	0,80	0,85	0,85	0,85
	150	0,35	0,55	0,90	0,90	0,85	0,90	0,95
Polyuréthane expansé	25	0,10	0,15	0,30	0,60	0,75	0,85	0,90
	50	0,15	0,25	0,50	0,85	0,95	0,90	0,90
	100	0,30	0,50	0,70	0,95	1,00	1,00	1,00
	27	0,25	0,30	0,20	0,15	0,05	0,05	0,05
Plaque de plâtre de 9 mm sur armature à 0,5 m, 18 mm de vide d'air rempli de laine de verre								
Contreplaqué de 5 mm sur armature à 1 m, 50 mm de vide d'air rempli de laine de verre	55	0,30	0,40	0,35	0,20	0,15	0,05	0,05
Contreplaqué de 12 mm sur armature à 1 m, 59 mm de vide d'air rempli de laine de verre	71	0,25	0,30	0,20	0,15	0,10	0,15	0,10
Isorel de 3 mm	53	0,50	0,90	0,45	0,25	0,15	0,10	0,10
Plaque de plâtre suspendue ou plafond en plâtre (avec vide d'air important)	—	0,20	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05
Plaque de fibres de bois sur supports pleins	12	0,05	0,05	0,10	0,15	0,25	0,30	0,30
Revêtements du sol								
Dalle composite	—	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Moquette bouclée	6	0,05	0,05	0,05	0,10	0,20	0,45	0,65
Moquette d'épaisseur moyenne sur thibaude de caoutchouc	10	0,05	0,05	0,10	0,30	0,50	0,65	0,70
Moquette de grande épaisseur sur thibaude de caoutchouc	15	0,05	0,15	0,25	0,50	0,60	0,70	0,65
Revêtement de dalles souples	6	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05
Propriété des plaques ou carrelages acoustiques (A noter que la performance varie suivant le type de la construction et la méthode de fixation. Obtenir toujours des chiffres exacts de la part du fabricant, les chiffres ci-contre donnent une moyenne acceptable de performance)								
Fixés directement sur le mur ou au plafond ou avec un espace minimum	12 à 75	0,05	0,10	0,25	0,50	0,60	0,60	0,45
maximum	12 à 75	0,15	0,20	0,60	0,80	0,85	0,80	0,75
Sous forme de plafond suspendu minimum	—	0,15	0,30	0,40	0,50	0,65	0,75	0,70
maximum	—	0,30	0,50	0,60	0,90	0,90	0,85	0,80
Contenu du local (Les chiffres donnés sont des valeurs totales représentant l'aire d'absorption équivalente en m ² Sabines par siège)								
Auditoire, par personne sur siège entièrement tapissé	—	0,15	0,20	0,40	0,45	0,45	0,50	0,45
Auditoire, par personne sur siège en bois ou partiellement capitonné	—	0,10	0,15	0,25	0,40	0,40	0,45	0,35
Auditoire vide, par siège entièrement tapissé	—	0,05	0,10	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30
Auditoire vide, par siège en bois ou partiellement capitonné	—	0,02	0,03	0,05	0,05	0,10	0,15	0,10

A [m²] per stoel

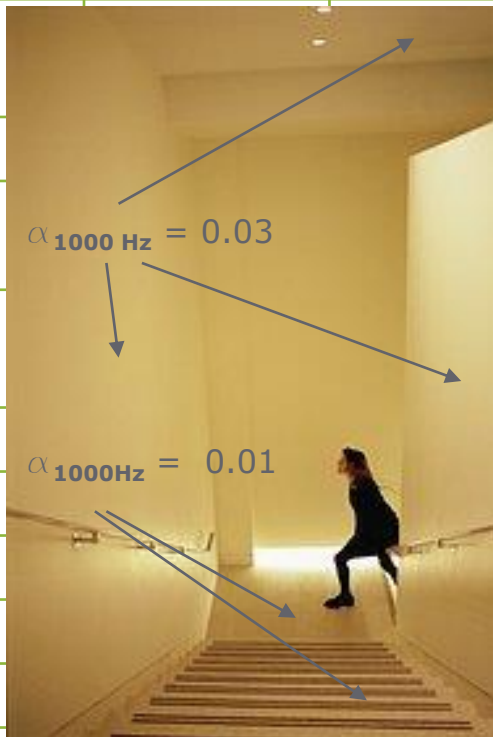


Enkele richtwaarden

Spectraal ...

Snelle vergelijking

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	α_w
Ramen	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.05
Niet-geverfd gietbeton			0.02	0.02	0.02	0.03	0.00
Pleisterkalk			0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
Gelakt hout (bijv. deur)			0.03	0.03	0.03	0.03	0.05
Minerale wol 100kg/m ³			0.88	0.93	0.81	0.76	0.85
Marmer			0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Tegelvloer			0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
Parketvloer			0.07	0.07	0.07	0.07	0.05
Linoleum			0.08	0.12	0.04	0.04	0.10
Vasttapijt			0.21	0.26	0.27	0.37	0.25



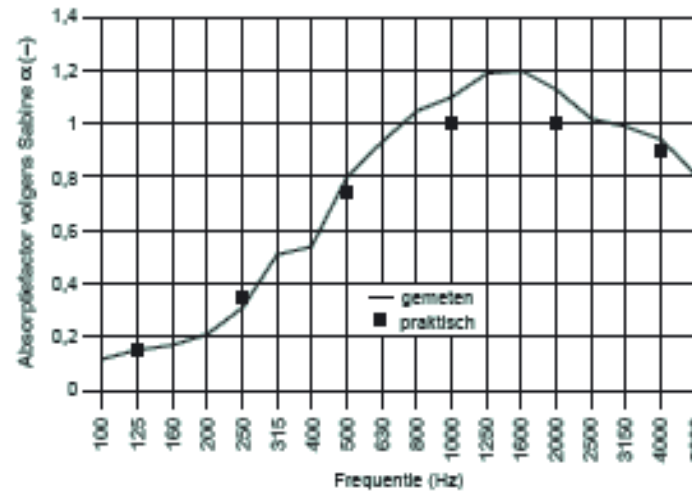
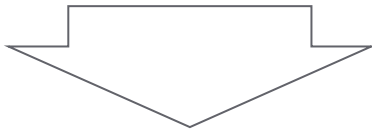
Gemeenschappelijke **circulatieruimten** : meestal bekleed met **weinig absorberende** materialen ($\alpha < 0.10$).

Correcte interpretatie van de productfiche !



Productkarakteristiek

- ✓ waarde tussen 0 en 1 : van 0% tot 100% absorptie van het invallend geluid
- ✓ frequentieafhankelijk
- ✓ functie van de invalshoek
- ✓ **gemeten in laboratorium**

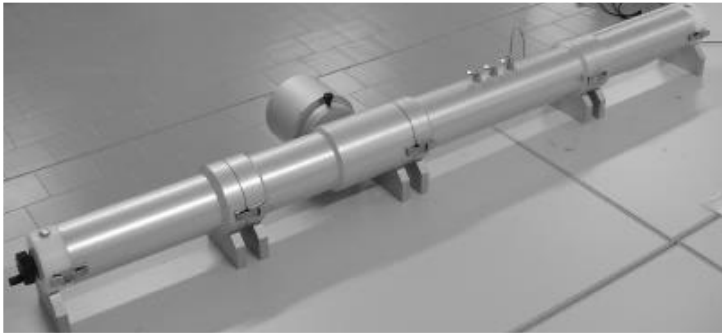


- ☐ "Reverberation room method" voor diffuse geluidinval (ISO 354)
- ☐ "Impedance tube method" voor loodrechte geluidinval (ISO 10534)
- ☐ "Tone burst method" voor variabele invalshoeken



Buis van Kundt of nagalmkamer ?

“buis van Kundt”



- ✓ *Kleine proefmonsters*
- ✓ *Reproduceerbare resultaten*
- ✓ *Directe schaal voor absorptie*

nagalmkamer

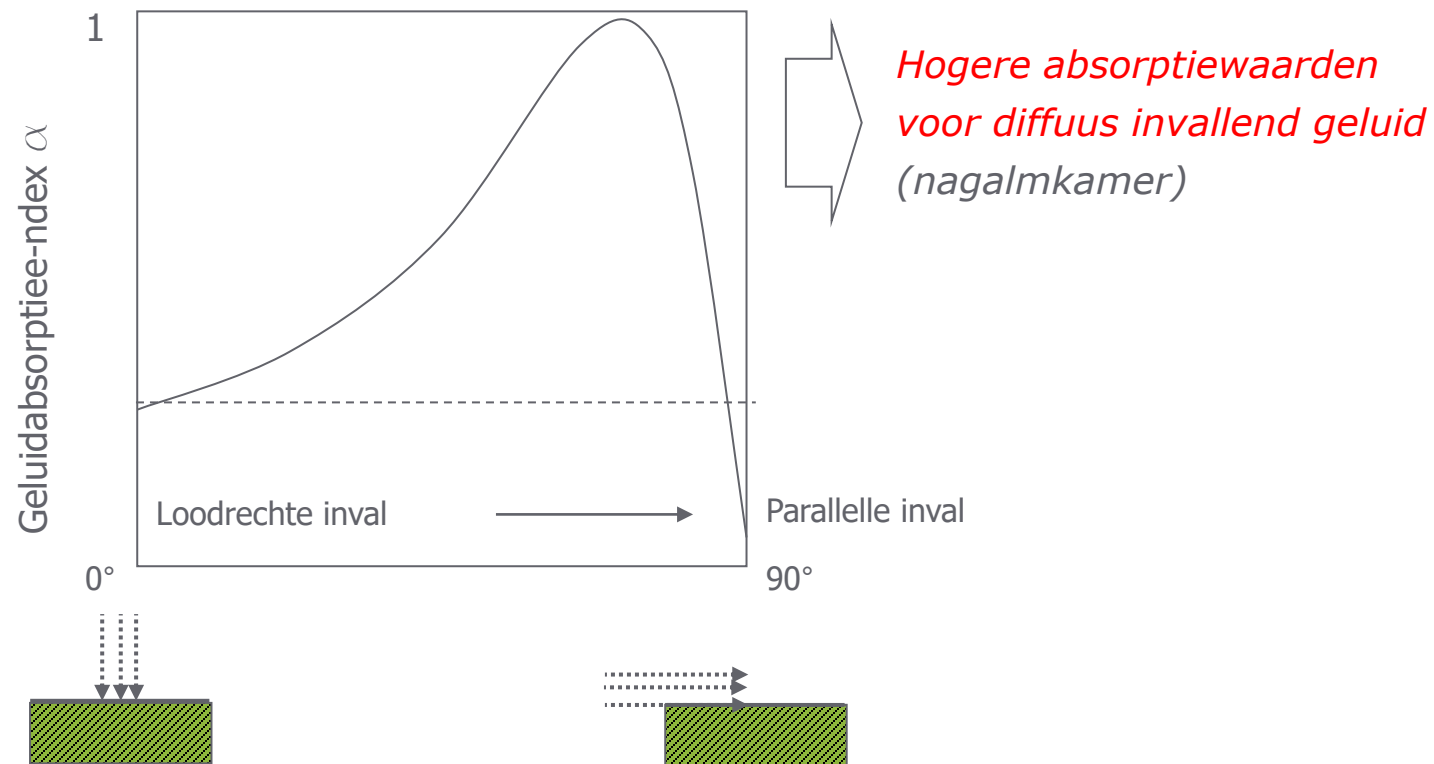


- ✓ *Volledige systemen of objecten*
- ✓ *Voor diffuus invallend geluid*



Buis van Kundt of nagalmkamer ?

Invloed van de invalshoek



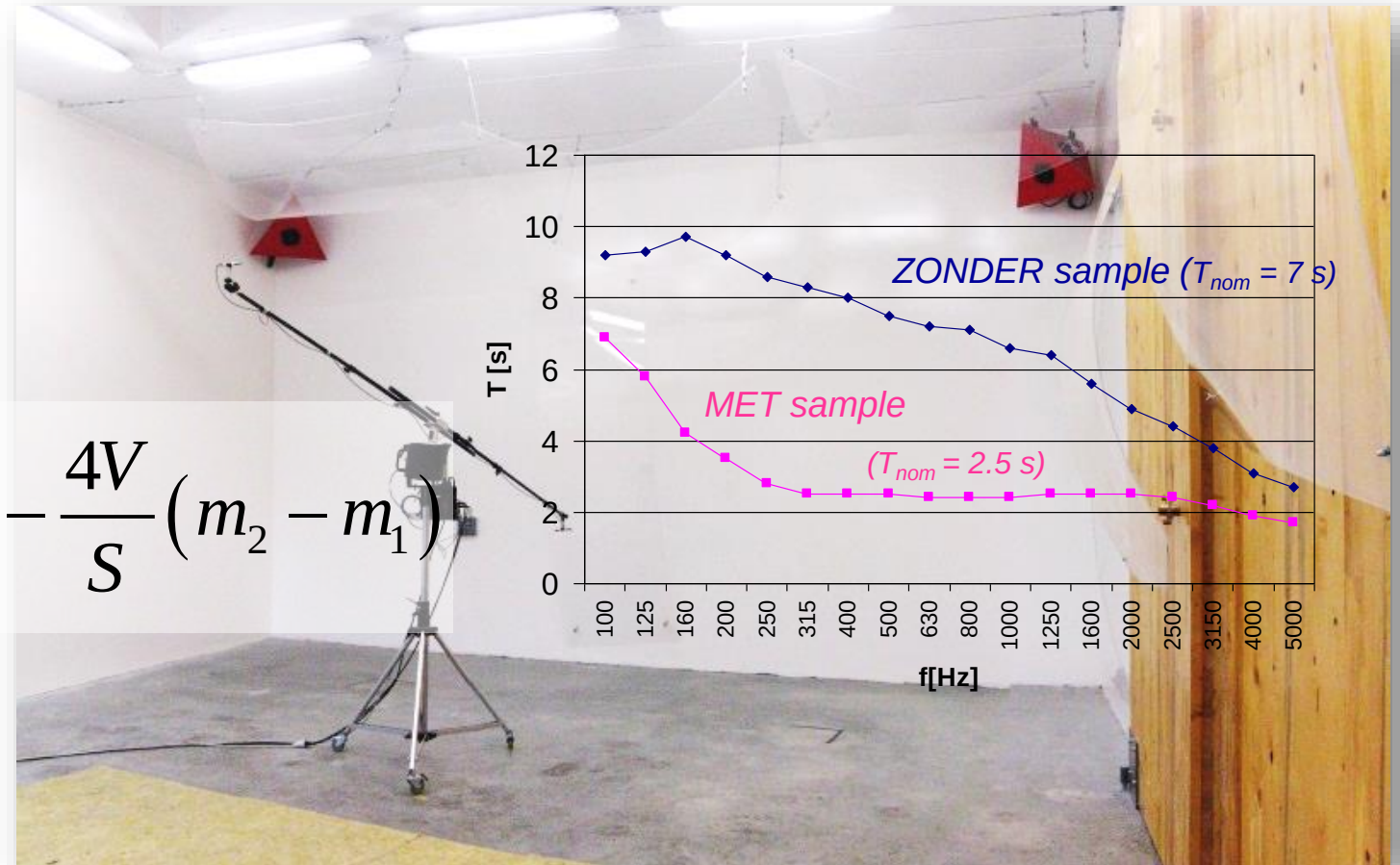
Nagalmkamer

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

- Meetprincipe : meting van de nagalmtijd, met én zonder proefmonster

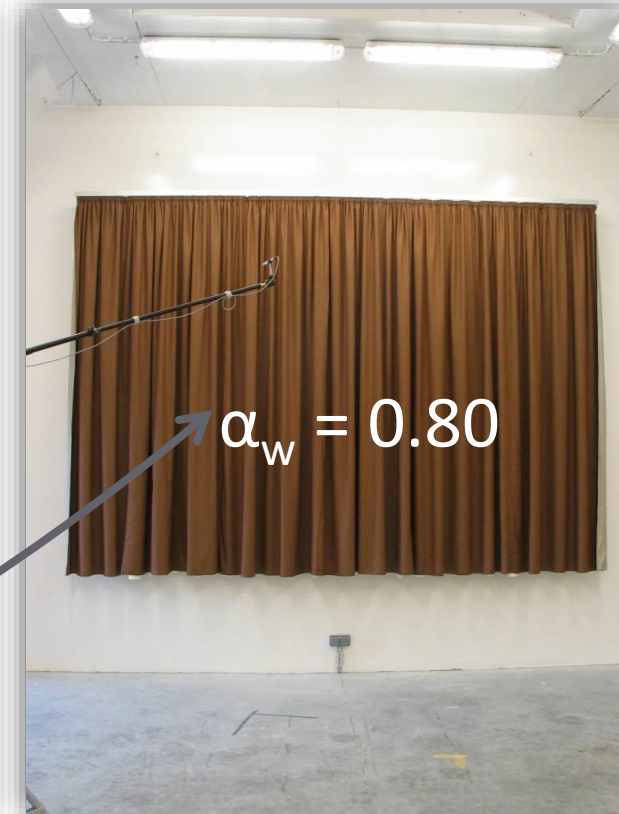
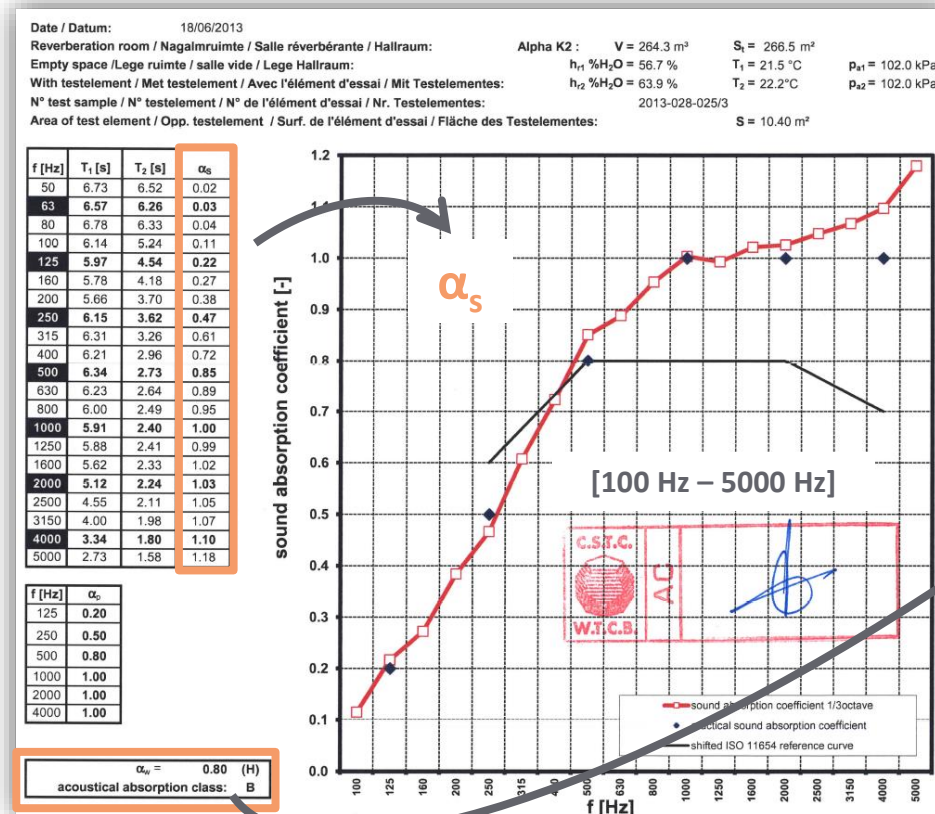
$$\alpha_s = \frac{55,3V}{S} \left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - \frac{4V}{S} (m_2 - m_1)$$

Wet van Sabine (gedetailleerde formule)



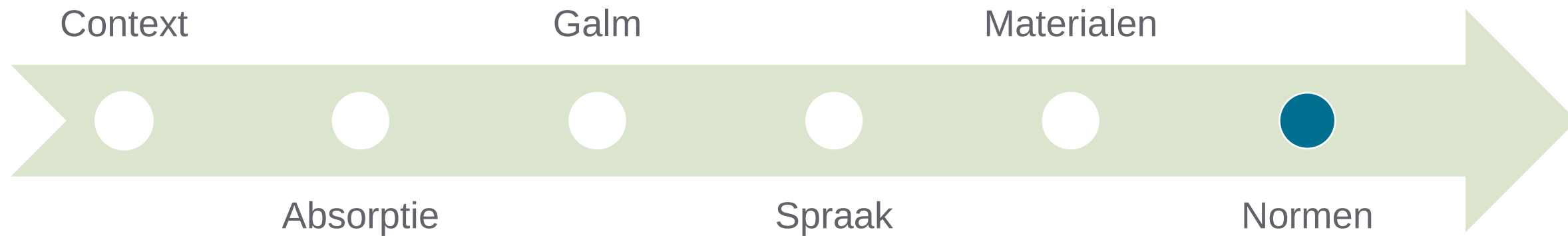
Absorptiespectrum

α_s "geluidabsorptiecoëfficiënt" [50-5000 Hz] (gemeten volgens ISO 354 in de nagalmkamer)



α_w "gewogen geluidabsorptiecoëfficiënt" (ééngetalswaarde berekend volgens ISO 11654)





Op vlak van nagalm & absorptie, eisen sinds 2008 ...



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 (2008)

- Gemeenschappelijke circulatieruimten

➡ prNBN S 01-400-1 (2019)

- idem



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

- Gevoelige ruimten



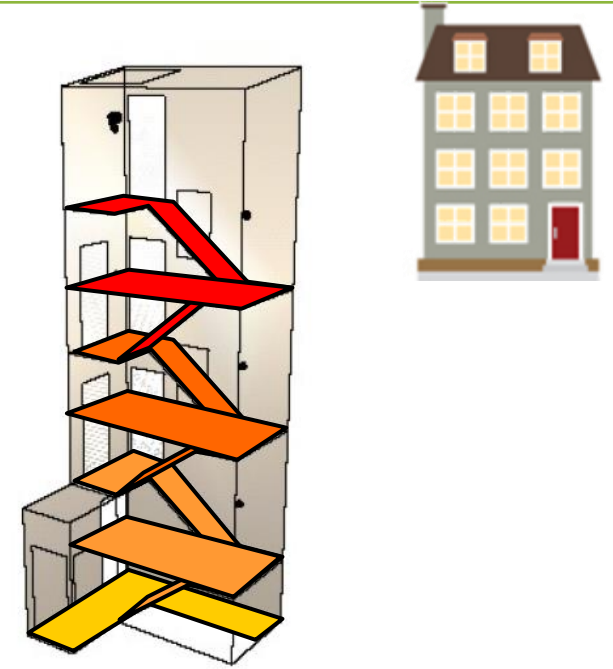
Gangen, inkomhallen, traphallen :



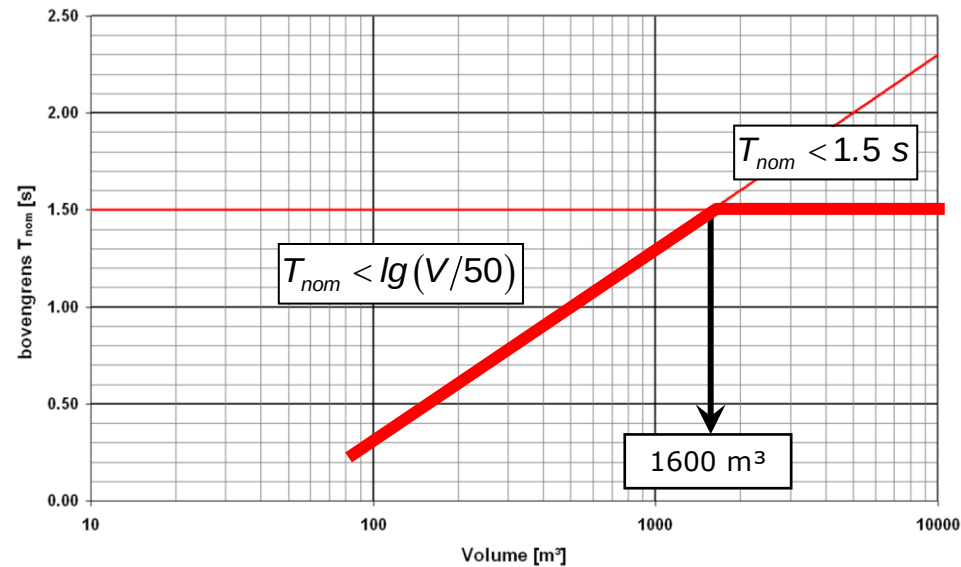
$$A_w \geq 0.3 S_H$$

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

horizontaal geprojecteerde
begaanbare oppervlakte



Atria :



$$T_{nom} = \frac{T_{500\text{Hz}} + T_{1000\text{Hz}}}{2}$$





"Het sociale contact en de interactie tussen de kinderen is essentieel. Samen aan tafel zitten is een belangrijk aspect van de opvoeding."

Zwijgen in de refter

LERAAR

- Steminspanning
- Lawaaiigheid en stress

LEERLING

- Hoorbaar?
- Luisterinspanning?
- Lawaaiigheid en stress
- Concentratie ...

Rafter

Sportzaal

Gangen

Speelplaats

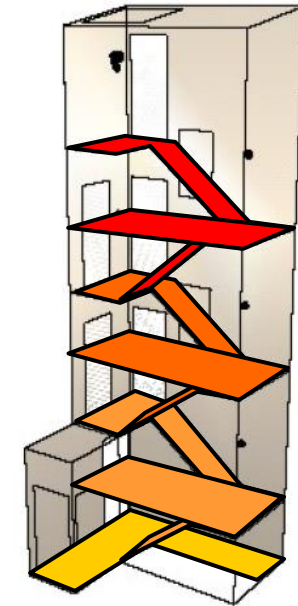
Klaslokaal





Ontwerpeisen (minimale absorptie)

	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	$A_W \geq 0,4 \times S_H (*)$	$A_W \geq 0,5 \times S_H (*)$



“Oppervlakte-gewogen gewogen geluidabsorptiecoëfficiënt” :

$$\overline{\alpha_W} = \frac{\sum \alpha_{W,i} S_i}{\sum S_i} = \frac{A_W}{S_{tot}}$$

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





Eisen bij oplevering (max. nagalmtijd)

- Controle door meting, onbemeubeld en onbezet (anders -10%)

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

- Evaluatiemarge : +10%
- Voor andere geluidgevoelige ruimten: $T_{nom} \leq T_0$

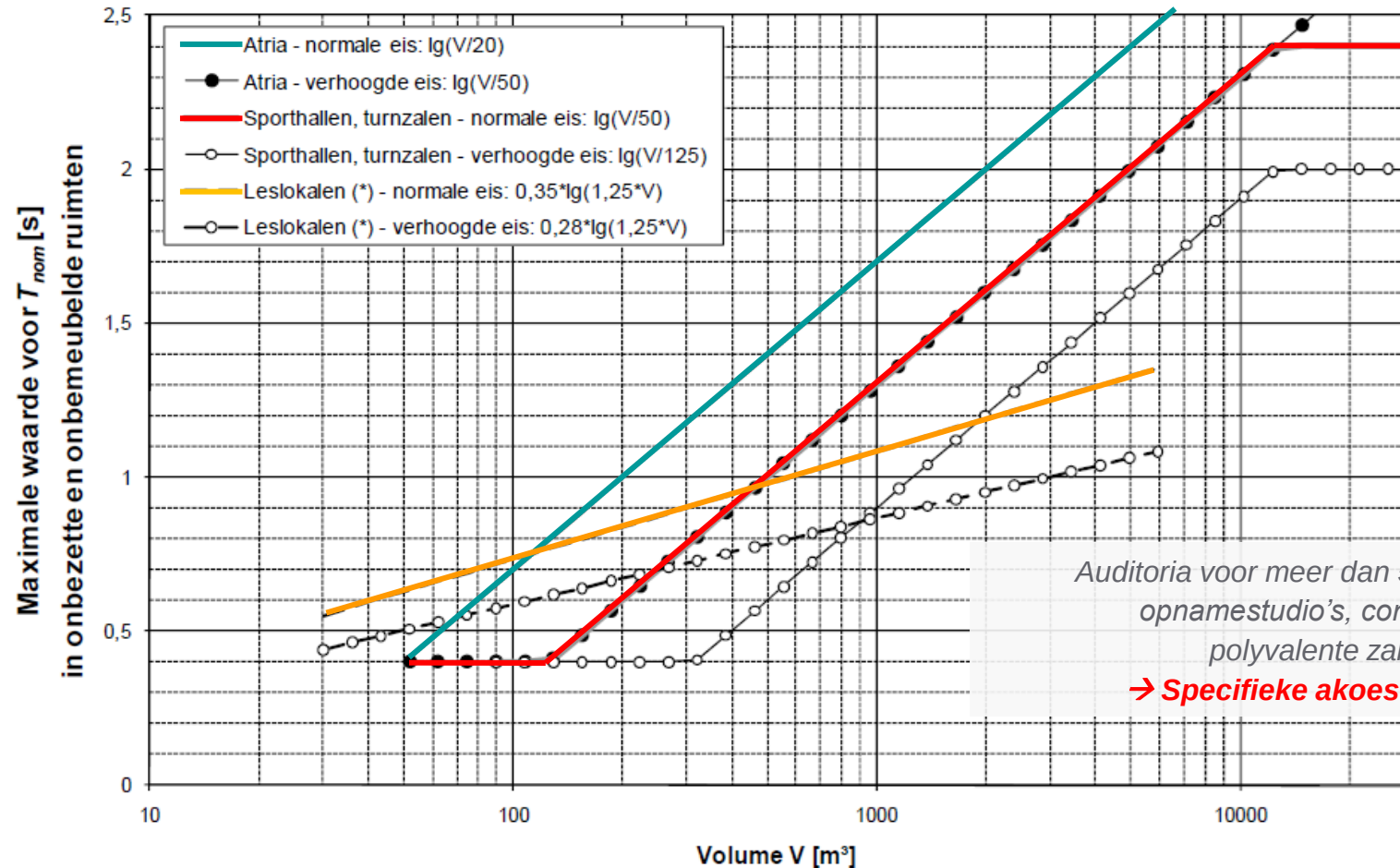
	T_0 [s] ⁽¹⁾	Normale eis	Verhoogde eis
Leslokaal ⁽²⁾			
regulier klaslokaal, auditorium, seminarielokaal, bijleslokaal, taallabo	$0,35 \times \lg(1,25 \times V)$	$T_{nom} \leq T_0$	$T_{nom} \leq 0,8 \times T_0$
kleuterschool spelruimte en kleuterschool rustige ruimte	0,6 s		
landschapsleslokaal	specifieke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

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





Eisen bij oplevering (max. nagalmtijd)



(*) uitgezonderd landschapsleslokalen, kleuterschool spelruimten en kleuterschool rustige ruimten



- GIDS DUURZAME GEBOUWEN [Voorziening | Voorzieningen voor geluidsabsorptie | Gids Duurzame Gebouwen](#)
- www.normen.be/akoestiek
- https://www.youtube.com/watch?v=dWNV_JFolLg
- http://www.acousticbulletin.com/EN/Essex_Final%20report%20V4_28_05_12.pdf





Gids Duurzame Gebouwen

www.guidebatimentdurable.brussels

- ▶ Dispositif | [Voorzieningen voor geluidsabsorptie](#)



Ouvrages

- ▶ NBN S 01-400-1: Akoestische criteria voor woongebouwen, NBN, 2008
- ▶ prNBN S 01-400-1: akoestische criteria voor woongebouwen, NBN, 2019
- ▶ NBN S 01-400-2: Akoestische criteria voor schoolgebouwen, NBN, 2012
- ▶ NBN EN ISO 345 : Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room, NBN, 2003
- ▶ NBN EN 11654 : Acoustics - Sound absorbers for use in buildings - Rating of sound absorption, NBN 1997
- ▶ NBN EN 12354-6: Building acoustics - Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements - Part 6: Sound absorption in enclosed spaces, NBN, 2004
- ▶ Building Bulletin 93: Acoustic design of schools - a design guide (2003, 2015)
- ▶ Bouwakoestiek, Hogere Cursus Akoestiek, KVIV, G. Vermeir, 2003
- ▶ Zaalakoestiek, Hogere Cursus Akoestiek, KVIV, D. De Vries, 2003
- ▶ Noise and vibration control, L.L. Beranek, 1988



Sites internet

- ▶ www.normes.be/acoustique
- ▶ https://www.youtube.com/watch?v=dWNV_JFoLLg
- ▶ http://www.acousticbulletin.com/EN/Essex_Final%20report%20V4_28_05_12.pdf



Debby WUYTS, ir. arch.

Hoofd Laboratorium Akoestiek, WTCB

Coördinaten :

 : +32 2 655 77 11

E-mail : debby.wuyts@bbri.be



BEDANKT VOOR UW AANDACHT



Bent u een Brusselse bouwprofessioneel...

- Actief in de sector van **duurzaam bouwen en bouw 4.0**
- Die inzet op **nieuwe en innovatieve bouwtechnieken**
- Om uw **competentie, rendement en marktaandeel** te verhogen?

Bent u hiervoor op zoek naar ...

- Professionele **technologische ondersteuning**
- Betrouwbare en onafhankelijke **marktinformatie**
- **Financieringsmogelijkheden en subsidies**
- **Informatiesessies over de nieuwste technologieën** binnen uw domein

om uw **innovatief idee** verder uit te werken en te realiseren?

Neem dan vandaag nog contact op met “C-Tech”, uw WTCB-partner met:

- een groot **multidisciplinair** team van experts
- jarenlange **ervaring** op de **werf** en in **onderzoek**
- een uitgebreid **regionaal én internationaal** netwerk

om uw innovatief idee of nieuwe praktijk in **alle vertrouwelijkheid** te concretiseren!



Wenst u gebruik te maken van deze gratis ondersteuning? Bel of mail ons dan vandaag nog!



C-TECH c/o WTCB
Technologische Dienstverlening
«Duurzaam Bouwen» Brussel
Dieudonné Lefèvrestraat 17
1020 Brussel



Telefoonnummer: 02 655 77 11
E-mail: c-tech.brussels@bbri.be
www.c-tech.brussels

