

7. Nagalmtijd

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk gaan we in op de nagalmtijd van een ruimte en in relatie daarmee op de geluidabsorptie. De nagalmtijd is belangrijk voor de akoestiek van een ruimte. Ruimten met een lange nagalmtijd worden ervaren als “holle” ruimten (zoals een echoput), ruimten met een korte nagalmtijd als “dode ruimten”. Naast het feit dat de nagalmtijd van belang is voor de sfeer in de ruimte, is hij ook bepalend voor het goed kunnen waarnemen van spraak en muziek. Ook beïnvloedt de nagalmtijd het geluiddrukkniveau (luidheid) in een ruimte.

Na een korte introductie van de theorie, zullen we de eis die het Bouwbesluit met betrekking tot galm stelt, toelichten. We laten zien hoe je de geluidabsorptie van een ruimte berekent. Deze berekening heb je nodig om te controleren of een gebouw voldoet aan de Bouwbesluit eis. Dergelijke berekeningen moet je na het bestuderen van dit hoofdstuk zelfstandig kunnen uitvoeren.

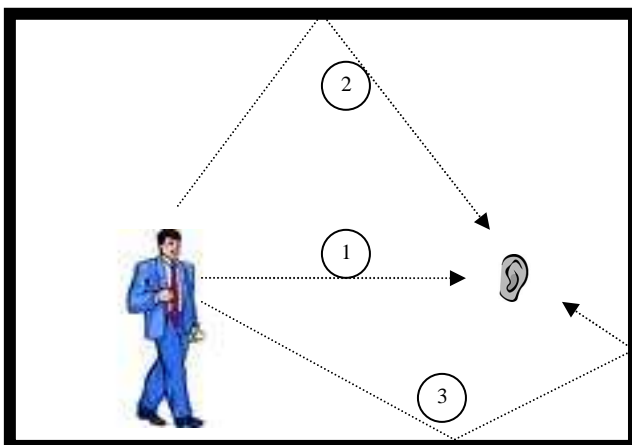
De aandacht voor de nagalmtijd in het Bouwbesluit is maar beperkt en heeft niets te maken met de akoestische kwaliteit van ruimten, maar met het voorkomen van geluidsoverlast. Het realiseren van een goede ruimteakoestiek kan zeker voor ruimten met specifieke functies (bijvoorbeeld gehoorzalen, concertzalen) van essentieel belang zijn voor een goed ontwerp. Eisen hieraan stelt de opdrachtgever in het programma van eisen. We zullen daarom bij de aanvullende eisen kort ingaan op goede ruimte-akoestiek.

7.2 Wat is de nagalmtijd?

De nagalmtijd geeft aan hoe snel een geluidssignaal in een ruimte in sterkte afneemt. Een manier om de nagalmtijd te ervaren, is om in een ruimte in je handen te klappen en te luisteren naar het geluid. Je zult merken dat in sommige ruimten het geluid direct wegsterft terwijl het in andere ruimten lang nagalmt.

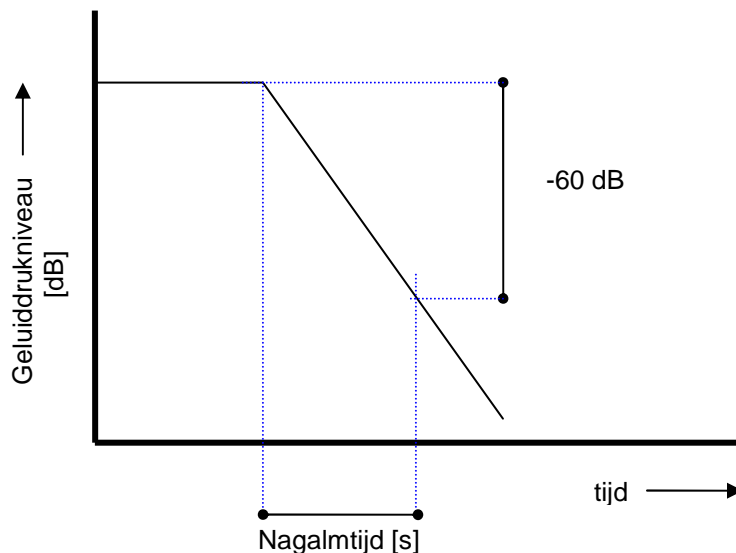
Wanneer geluid door een bron in een ruimte wordt uitgezonden, kun je direct en indirect geluid opvangen. Direct geluid is geluid dat rechtstreeks vanaf de bron komt, zonder dat er reflecties hebben plaatsgevonden. Na één of meer reflecties spreken we van indirect geluid. Zie figuur 7.1.

Direct geluid
Indirect geluid



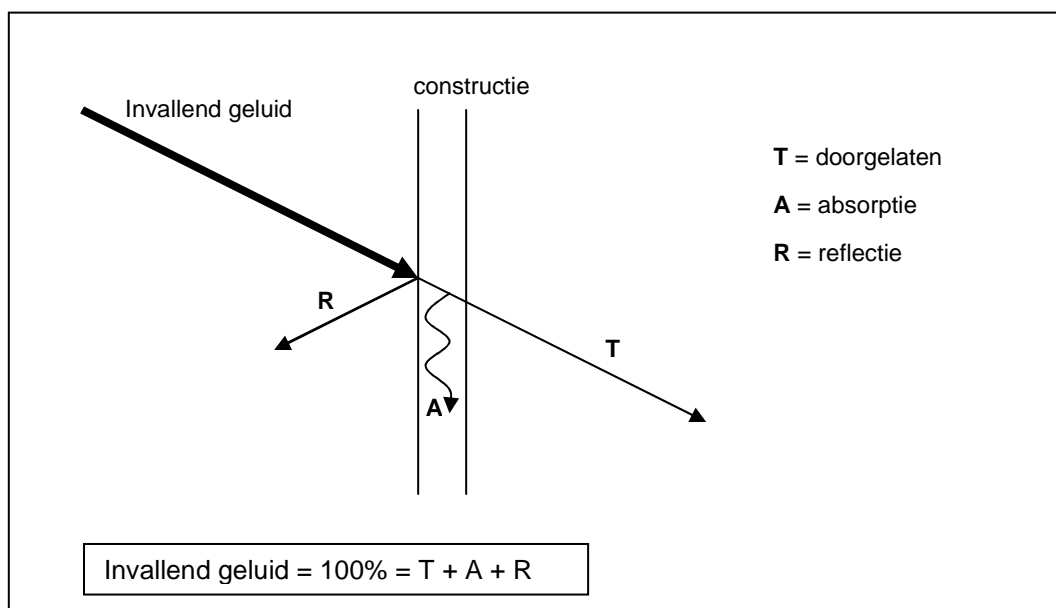
Figuur 7.1: Geluid vanaf de bron (in dit geval een persoon) bereikt het oor, direct geluid (1) en indirect geluid (2 en 3).

De nagalmtijd (T) van een ruimte zoals bedoeld in de regelgeving is de tijd waarin het geluiddrukkniveau met 60 dB daalt, zie figuur 7.2. Om de nagalmtijd van een ruimte te kunnen bepalen, moet je gedurende korte tijd een hoog geluiddrukkniveau in de ruimte realiseren. Nadat je de geluidbron hebt uitgeschakeld, blijf je het geluiddrukkniveau meten. Om een van het geluiddrukkniveau van 60 dB waar te kunnen nemen, moet er een erg hoog geluiddrukkniveau in de ruimte worden gerealiseerd, namelijk van ten minste 60 dB vermeerderd met het al aanwezige geluiddrukkniveau in de ruimte. De nagalmtijd kan ook worden bepaald door gebruik te maken van extrapolatie. Je meet dan bijvoorbeeld hoe lang het duurt voordat het geluiddrukkniveau met 30 dB is gedaald. De nagalmtijd is de dan twee keer zo lang als de gemeten tijd.



Figuur 7.2: Nagalmtijd van een ruimte

Geluid dat op een oppervlak valt wordt voor een deel gereflecteerd, voor een deel geabsorbeerd (opgenomen door de constructie) en voor een deel doorgelaten door de constructie (zie figuur 7.3). Als de constructies in een ruimte veel geluid reflecteren en weinig geluid absorberen of doorlaten, duurt het lang voordat een uitgezonden signaal is uitgedoofd. De nagalmtijd is dan lang. Wanneer er veel geluidabsorptie in een ruimte aanwezig is, is de nagalmtijd kort.



Figuur 7.3: Op een constructie invallend geluid

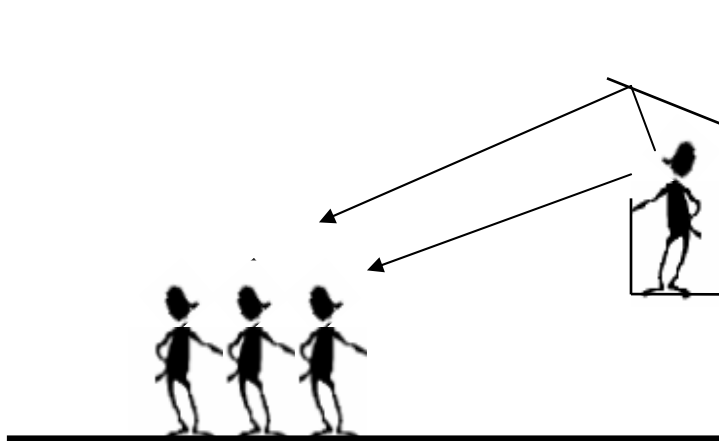
7.3 Functies van de nagalmtijd in een ruimte

De nagalmtijd van een ruimte is erg belangrijk voor de manier waarop geluid in een ruimte wordt ervaren. Het verschil is waarschijnlijk het meest treffend bij dezelfde ruimte voor en nadat deze is ingericht. Voordat vloerbedekking, gordijnen, meubels en dergelijke in een ruimte zijn aangebracht, klinkt de ruimte erg hol (een hoge nagalmtijd). Daarom klinken moderne, strak ingerichte woningen luider dan woningen van bejaarden met een klassieke inrichting.

Naast dat er een verschil in sfeer is tussen ruimtes met verschillende nagalmtijd, is er ook een praktisch verschil: namelijk een verschil in spraakverstaanbaarheid. Voor een goede spraakverstaanbaarheid is een luid direct geluid nodig. Indirect geluid dat erg kort na het directe geluid het oor bereikt ($< \text{circa } 30 \text{ ms}$) wordt door het oor niet als afzonderlijk geluid onderscheiden en versterkt het directe geluid [1]. Reflecties die later arriveren bij de waarnemer, worden als echo ervaren en zijn ongunstig voor de spraakverstaanbaarheid. Wanneer de nagalmtijd lang is, zullen er veel van deze late reflecties zijn.

Spraakver-
staanbaarheid

Voordat er allerlei elektrische hulpmiddelen waren om geluid te versterken, werd gebruik gemaakt van vroege directe reflecties om de spraakverstaanbaarheid te verbeteren. Door dicht bij de bron te zorgen voor vlakken die het geluid in de richting van de waarnemers reflecteren, zullen de vroege reflecties het directe geluid ondersteunen. Van dit principe wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt in theaters en kerken (zie figuur 7.4)



Figuur 7.4: Vroege reflecties via het klankbord boven een kansel ondersteunen het directe geluid.

Welke nagalmtijd wenselijk is in een ruimte, hangt af van het gebruik van een ruimte. In een ruimte die is bedoeld voor het ten gehore brengen van muziek, zijn langere nagalmtijden gewenst dan in een spreekkamer waar veel privacy gewenst is (dokerssprekkamer).

Het geluiddrukkniveau dat in een ruimte heerst vanwege de geluidproductie van een bron, is hoger in een ruimte met een lange nagalmtijd dan in een ruimte met een korte nagalmtijd. Omdat alle geluidenergie langer in de ruimte aanwezig blijft, zal het geluiddrukkniveau in de ruimte hoger zijn. (Vroege) reflecties kunnen bewust worden toegepast om het directe geluid te ondersteunen. Een hoger geluiddrukkniveau veroorzaakt door een hoge nagalmtijd kan ook tot geluidoverlast leiden.

7.4 Bouwbesluiten

Het Bouwbesluit stelt een eis aan de nagalmtijd van gemeenschappelijke verkeersruimten in woongebouwen. Deze eis is niet gericht op de akoestische kwaliteit van deze ruimten, maar op het beperken van het geluiddrukkniveau om geluidoverlast in aangrenzende ruimten te voorkomen. De eis uit afdeling 3.4. van het Bouwbesluit is weergegeven in het onderstaande kader.

Artikel 3.15 stuurartikel

Lid 1.

Een te bouwen bouwwerk heeft in een verblijfsruimte of een gemeenschappelijke verkeersruimte een zodanige geluidsabsorptie, dat geluidhinder door galm wordt beperkt.

Lid 2.

Voorzover voor een gebruiksfunctie in tabel 3.15 voorschriften zijn aangewezen, wordt voor die gebruiksfunctie aan de in het eerste lid gestelde eis voldaan door toepassing van die voorschriften.

Lid 3.

Het eerste lid is niet van toepassing op de gebruiksfuncties waarvoor in tabel 3.15 geen voorschrift is aangewezen.

Artikel 3.16 galm

Een aan een niet-gemeenschappelijke ruimte van een woonfunctie grenzende besloten gemeenschappelijke verkeersruimte voor het ontsluiten van een woonfunctie gelegen in een woongebouw, heeft een volgens NEN 5078 bepaalde totale geluidsabsorptie met een getalwaarde, uitgedrukt in m², die niet kleiner is dan 1/8 van de getalwaarde van de inhoud van die ruimte, uitgedrukt in m³, in elk van de octaafbanden met middenfrequenties van 250. 500. 1.000 en 2.000 Hz.

Met andere woorden:

De eis geldt alleen voor gemeenschappelijke verkeersruimten in woongebouwen die grenzen aan niet-gemeenschappelijke ruimten van een woonfunctie. Deze aangrenzende ruimten hoeven dus geen verblijfsruimten te zijn. De eis is uitgedrukt in m² geluidsabsorptie in de vier voor spraakgeluid belangrijkste frequentiebanden.

In artikel 3.16 wordt NEN 5078 aangewezen als bepalingsmethode. In de Regeling Bouwbesluit, die bij het Bouwbesluit hoort, vinden we het onderstaande terug:

Artikel 4.12 NEN 5078

Waar in artikel 3.16 van het besluit wordt verwezen naar NEN 5078, is bedoeld: NEN-EN 12354-6.

De norm NEN 5078 is vervangen door de internationale norm NEN-EN 12354-6 [2].

7.5 Werken met NEN-EN 12354-6**7.5.1 Geluidabsorptie**

De geluidabsorptiecoëfficiënt (α) van een vlak is de verhouding tussen het gedeelte van het geluidvermogen dat wordt geabsorbeerd en het totale op dat vlak invallende geluidvermogen. In deze context kan "geabsorbeerd" worden vervangen door "niet gereflecteerd". Het is hier niet van belang of dit geluid door de constructie wordt doorgegeven of wordt opgenomen; het gaat er om welk gedeelte van het geluidvermogen in de ruimte aanwezig blijft (reflectie) en welk gedeelte uit de ruimte verdwijnt (absorptie):

**Absorptie-
coëfficiënt**

$$\frac{T + A}{T + A + R} \quad (1)$$

Waarin T, A en R het doorgelaten, geabsorbeerde en gereflecteerde deel zijn zoals weergegeven in figuur 7.3.

Stel je een ruimte voor waar voor alle vlakken dezelfde geluidabsorptiecoëfficiënt geldt. Plaats vervolgens in die ruimte een geluidbron die maar in één richting geluid uitzendt. Het geluidvermogen kan dan als functie van het aantal reflecties als volgt worden bepaald:

$$W_i = W_0 \times (1 - \alpha)^i \quad (2)$$

Waarin:

- W_i is het geluidvermogen na i reflecties [W]
- W_0 is het door de bron uitgezonden geluidvermogen [W]
- α is de geluidabsorptiecoëfficiënt van het oppervlak [-]
- i is het aantal reflecties [-]

De geluidabsorptiecoëfficiënt van een materiaal is frequentieafhankelijk. In tabel 7.1 staan voor enkele materialen de absorptiecoëfficiënten per octaafband gegeven.

Tabel 7.1: absorptiecoëfficiënten [3]

Materiaal	Octaafband (middenfrequentie in Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Grindbeton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04
Gasbeton (70 kg/m ²)	0,14	0,19	0,24	0,32	0,41	-
Akoestische pleister	0,15	0,20	0,35	0,60	0,60	0,50
Gipskarton 6% geperforeerd (dikte 9,5 mm op spouw van 100 mm met 30 mm absorptiemateriaal)	0,39	0,81	0,68	0,44	0,25	0,20
Parket gelijmd op ondergrond	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,15
Tapijt (5 mm) met onderlaag (8 mm) vilt.	0,04	0,10	0,31	0,70	0,93	0,74
Glas in kozijn	0,10	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02

De geluidabsorptie van een vlak (A) wordt als volgt berekend:

$$A = S \times \alpha \quad (3)$$

Geluid-
absorptie

Waarin:

A is de geluidabsorptie van een vlak [m² open raam]

S is de oppervlakte van een vlak [m²]

α is de geluidabsorptiecoëfficiënt van het vlak.

De geluidabsorptie van een vlak wordt uitgedrukt in “m² open raam”. De geluidabsorptiecoëfficiënt van een open raam is 1 of 100% van het geluidvermogen dat invalt op een raam “verdwijnt” uit de ruimte. Dit is de referentie voor de eenheid voor geluidabsorptie.

Open raam

De geluidabsorptie van een ruimte wordt bepaald door de geluidabsorptie van de ruimtebegrenzende oppervlakken en van objecten die in de ruimte staan. Daarnaast wordt er nog geluid geabsorbeerd door de lucht. Het Bouwbesluit stelt alleen een eis aan de absorptie van verkeersruimten (gangen, hallen, trappenhuisen). Dit zijn normaal gesproken lege ruimten. De bijdrage van objecten in de ruimte aan de absorptie is verwaarloosbaar. De absorptie door lucht mag voor ruimten met een volume tot circa 200 m³ worden verwaarloosd. Rekening houdend met deze vereenvoudigingen, kan de geluidabsorptie van een ruimte worden berekend door de geluidabsorptie van de afzonderlijke vlakken in iedere octaafband bij elkaar op te tellen:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{s,i} S_i \quad (4)$$

Waarin:

A is de geluidabsorptie van de ruimte [m² open raam]

n is het aantal oppervlakken [-]

i is het rangnummer voor de oppervlakken [-]

$\alpha_{s,i}$ is de geluidabsorptiecoëfficiënt voor vlak i [-]

S_i is de oppervlakte van vlak i [m²]

7.5.2 Realiseren van geluidabsorptie

7.5.2.1 Absorptiemechanismen

Er zijn twee manieren om geluidabsorptie te realiseren [3]:

1. door poreuze materialen;
2. door resonantie van panelen. Hier kan nog onderscheid worden gemaakt tussen
 - a. gesloten panelen en
 - b. geperforeerde panelen.

7.5.2.2 Poreuze materialen

Geluidabsorptie in een poreus materiaal wordt veroorzaakt door wrijving. Wanneer trillende lucht (geluid) invalt op een poreus materiaal, zal deze binnendringen in de poriën. De lucht ondervindt wrijving aan de wanden van de poriën. Dit kost energie waardoor het trillen van de lucht afneemt [4]; er treedt geluidabsorptie op.

**Poreus
materiaal**

De porositeit van een materiaal is het aandeel van de openingen op het totale volume van het materiaal. Hoe hoger de porositeit, hoe groter in principe de absorptie.

Porositeit

Voor het optreden van absorptie is het dan wel noodzakelijk dat de poriën van een materiaal open zijn, met andere woorden: toegankelijk voor de lucht vanuit de ruimte. Een materiaal met gesloten cellen (bijvoorbeeld gasbeton en PUR) zal niet of nauwelijks absorberen.

Wanneer de poriën nauw zijn, treedt er meer wrijving op. Daardoor stijgt de absorptie. In twee nauwe poriën treedt meer absorptie op dan in één grotere porie met hetzelfde volume. Dit wordt veroorzaakt doordat er meer wrijvingsoppervlak (de poriënwand) aanwezig is. Maar wanneer de poriën te nauw zijn, zal het geluid niet in het materiaal doordringen. Er moet dus naar een optimum worden gezocht [4].

Hoe langer de weg die de trilling door het materiaal moet afleggen, hoe meer absorptie er op treedt. Voor een goede werking van een absorberend materiaal is dus een voldoende grote laagdikte nodig.

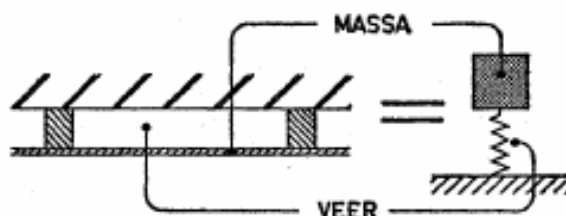
Hoe lager de frequentie van geluid, hoe groter de golflengte. Om lage tonen goed te absorberen, moet de door het materiaal afgelegde weg voldoende groot zijn. Voor de absorptie van lage tonen, zijn daarom dikkere lagen nodig dan voor de absorptie van hoge tonen met korte golflengtes [4].

Wanneer een absorberend materiaal direct op een harde achterconstructie wordt aangebracht, zal een gedeelte van het geluid dat door het absorptiemateriaal gaat, worden gereflecteerd. Dit geluid zal zowel op de heenweg als de terugweg worden gedempt door wrijving in de poriën. Het absorberend materiaal verhoogt dus wel de absorptie van de constructie. De absorptie is echter lager dan alleen op basis van het absorberende materiaal zou worden verwacht [4].

Om absorberende materialen te beschermen, wordt er vaak een geperforeerde plaat voor aangebracht (bijvoorbeeld gipskarton of hout). Zo lang deze plaat voldoende open is ($> 20\%$) en de openingen zich niet te ver van elkaar bevinden (< 2 cm), dan mag er van worden uitgegaan dat de plaat geen invloed heeft op de werking van het absorptiemateriaal.

7.5.2.3 Gesloten panelen

Een gesloten paneel op een luchtlaag functioneert als een massa-veer-systeem (figuur 7.5). In de praktijk worden bijvoorbeeld gipsplaat, hardboard of multiplex op een regelwerk toegepast.



Figuur 7.5: Een gesloten paneel op een luchtlaag is een massa-veer-systeem [5].

De absorberende werking van dergelijke panelen kan worden verklaard door het optreden van resonantie. Dit is het verschijnsel dat een constructie bij een bepaalde frequentie van het geluid heel makkelijk meertilt. Als dit gebeurt, wordt er veel geluidenergie uit de lucht omgezet in trillingsenergie in het paneel: de geluidenergie wordt geabsorbeerd door het paneel. De absorberende werking is beperkt tot het gebied direct rondom de resonantiefrequentie van het systeem. De resonantiefrequentie blijkt uit:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{m_1 C}} \quad (5)$$

Waarin:

f_r is de resonantiefrequentie [Hz]

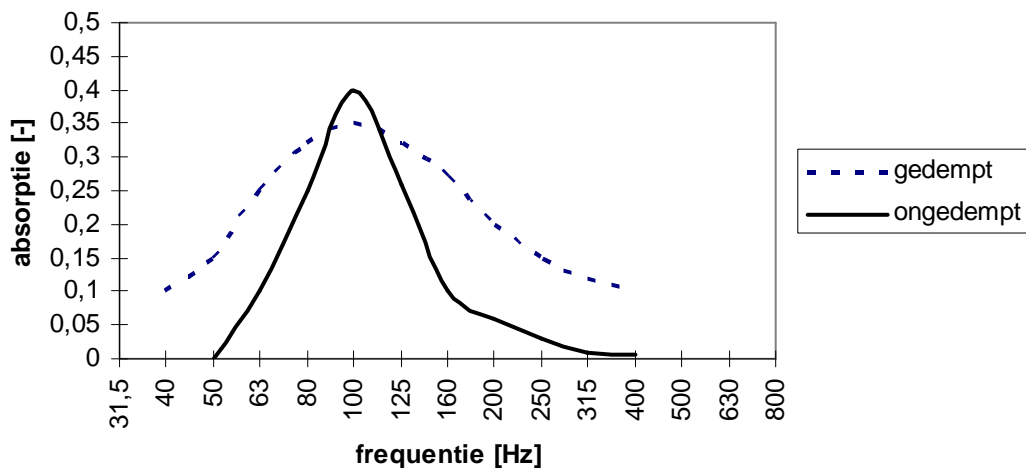
m_1 is de massa van het paneel [kg/m^2]

C is de stijfheid van de veer (in dit geval van de luchtlaag)



Beredeneer wat de invloed van het verhogen van de massa van het gebruikte plaatmateriaal is op de resonantiefrequentie.

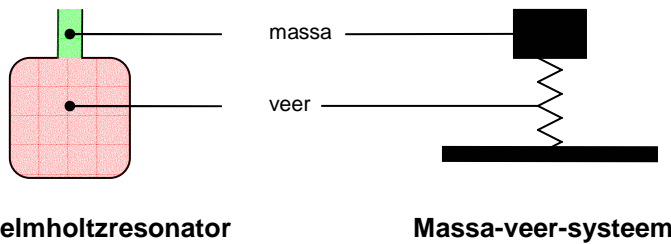
Wanneer de luchtlaag achter de plaat gedeeltelijk wordt gevuld met een absorberend materiaal, bijvoorbeeld minerale wol, dan wordt het gebied waarin absorptie optreedt vergroot. De absorptiecoëfficiënt neemt hierdoor af [5]. Dit effect is weergegeven in figuur 7.6.



Figuur 7.6: Illustratie van de invloed van demping in de luchtlaag op de absorptie van een paneel [5].

7.5.2.4 Geperforeerde panelen

Om de werking van geperforeerde panelen te begrijpen, zullen we kort het principe van de Helmholtzresonator toelichten. Een Helmholtzresonator bestaat uit een opening (bijvoorbeeld een flessenhals) op een luchtvolume. Ook nu is er sprake van een massa-veer-systeem. In dit geval bestaat de massa uit de lucht in de hals. De veer is de het achterliggende luchtvolume (zie figuur 7.7).



Helmholtzresonator

Massa-veer-systeem

Figuur 7.7: Een Helmholtzresonator is een massa-veer-systeem

Net als bij de gesloten panelen geldt ook voor dit systeem een resonantiefrequentie. Wanneer geluid met die frequentie invalt op het systeem, zal de massa (de lucht in de hals) hard gaan trillen. Dit is vergelijkbaar met een gesloten paneel op een luchtlaag. Omdat de massa van lucht lager is dan van een plaatmateriaal, zal de resonantiefrequentie van dit systeem hoger zijn. Het meetrillen van de lucht in de flessenhals leidt op zich niet tot veel geluidabsorptie. Door wrijving van de lucht aan de hals zal wel enig verlies van geluidenergie optreden. Door absorberend materiaal aan te brengen nabij of in de flessenhals, kan de absorptie van het systeem worden verhoogd. De wrijving wordt dan namelijk vergroot.

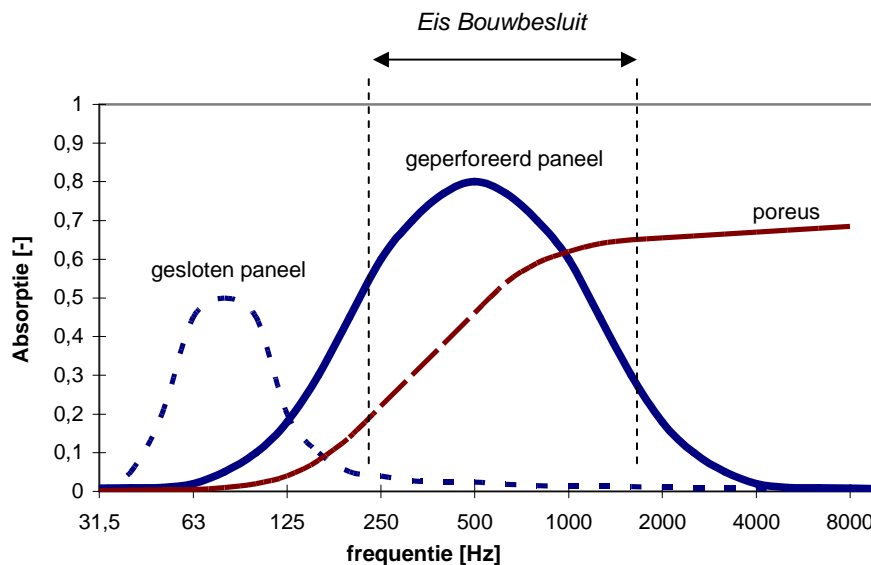
Een geperforeerde plaat met daarachter een absorptiemateriaal is een verzameling van Helmholtzresonatoren.

De resonantiefrequentie van een geperforeerde plaat kan worden verhoogd door:

- de openingen groter te maken (wanneer de porositeit van de plaat hoger dan circa 20% wordt, zal het achterliggende materiaal zich als een poreus materiaal zonder afscherming gedragen, zie "poreuze materialen");
- de diepte van de openingen te verkleinen;
- het volume achter de plaat te verkleinen.

7.5.2.5 Toepassingsgebied

In figuur 7.8 staat voor de soorten absorberende systemen schematisch het absorberend gedrag weergegeven. Uit de grafiek valt duidelijk af te lezen dat een poreus materiaal vooral hoge tonen goed absorbeert. Een gesloten paneel heeft een piek in de geluidabsorptie bij lage tonen. De eis in het Bouwbesluit heeft betrekking op de octaafbanden met middenfrequenties 250, 500, 1000 en 2000 Hz. In dit frequentiegebied presteren de geperforeerde panelen goed met betrekking tot absorptie.



Figuur 7.8: Schematisch absorberend gedrag van absorberende systemen [5]

7.5.3 Nagalmtijd

Hoeveel geluidabsorptie in een ruimte aanwezig is, bepaalt de nagalmtijd in de ruimte. Het verband tussen deze twee grootheden kan voor een lege ruimte worden uitgedrukt met de formule van Sabine:

Formule van Sabine

$$T = \frac{1}{6} \frac{V}{A} \quad (6)$$

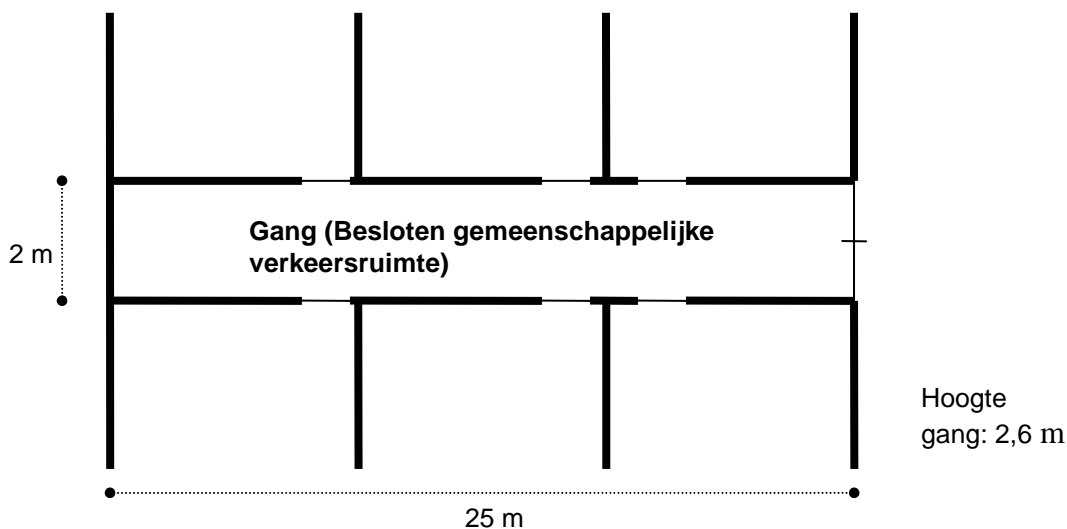
Waarin:

T is de nagalmtijd [s]
 V is het volume van de ruimte [m³]
 A is de geluidabsorptie [m²]
 De dimensie van de factor 1/6 is s/m.

☞ Ga aan de hand van formule (6) na wat de nagalmtijd is bij de in het Bouwbesluit vereiste geluidabsorptie.

7.5.4 Voorbeeldberekening

In een woongebouw liggen een aantal appartementen aan een gang (zie figuur 7.9). Deze gang is een besloten gemeenschappelijke verkeersruimte die grenst aan niet-gemeenschappelijke ruimten van woonfuncties, namelijk de appartementen. Conform artikel 3.16 van het Bouwbesluit geldt er dus een eis voor de geluidabsorptie in de gang.



Figuur 7.9: Situatie voorbeeldberekening

In tabel 7.2 staat een overzicht van de oppervlakken die de ruimte begrenzen, in tabel 7.3 staan per octaafband de geluidabsorptiecoëfficiënt en de geluidabsorptie per materiaal en voor de ruimte als geheel gegeven.

Tabel 7.2: Materialisatie van de ruimtebegrenzings voorbeeldberekening

Positie	Materiaal	S [m ²]
Deuren	Houten deuren	18,4
Wanden	Kalkzandsteen	122
Vloer	Linoleum	50
Plafond	Kalkcement pleisterlaag	50

Tabel 7.3: geluidabsorptiecoëfficiënten en geluidabsorptie voorbeeldberekening

Materiaal	Octaafband							
	250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz	
	α [-]	A [m ²]	α [-]	A [m ²]	α [-]	A [m ²]	α [-]	A [m ²]
Houten deuren	0,04	0,74	0,03	0,55	0,02	0,37	0,02	0,37
Kalkzandsteen	0,03	3,66	0,03	3,66	0,04	4,88	0,05	6,10
Linoleum	0,03	1,50	0,03	1,50	0,03	1,50	0,03	1,50
Kalkcement pleisterlaag	0,01	0,50	0,02	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00
Totaal		6,40		6,71		7,75		8,97
Vereist (1/8 x 130 m ³)		16,25		16,25		16,25		16,25

Uit tabel 7.3 blijkt dat in geen enkele octaafband aan de Bouwbesluit-eis wordt voldaan. Er zal in deze situatie extra absorptie moeten worden aangebracht. Vaak zal dit tegen het plafond worden aangebracht. Op basis van het beschikbare plafondoppervlak en de benodigde extra absorptie kun je berekenen wat de geluidabsorptiecoëfficiënten van het betreffende materiaal moeten zijn in iedere octaafband. Hierbij moet je wel rekening houden met het feit dat de absorptie die in de Ausgangssituatie door het plafond wordt geleverd, komt te vervallen:

$$\text{Voor 250 Hz: } \alpha_{250\text{Hz}} = \frac{16,25 - (6,40 - 0,5)}{50} = 0,21$$

In tabel 7.4 staat gegeven wat de geluidabsorptiecoëfficiënten van een plafond in deze situatie minimaal moeten zijn om de vereiste geluidabsorptie te realiseren.

Tabel 7.4: Minimale geluidabsorptiecoëfficiënten plafond [-] per octaafband

Octaafband			
250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
0,21	0,21	0,19	0,17

In tabel 7.5 staan gegevens van enkele geluidabsorberende plafonds gegevens. Deze gegevens worden door de leveranciers als productinformatie verstrekt.

Tabel 7.5: geluidabsorptiecoëfficiënten van enkele geluidabsorberende plafonds

Plafond	α [-]				Bron
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	
BIG Gyptone Line 6 beplating met een perforatiegraad van 13% op een plenum van 45 mm.	0,40	0,75	0,65	0,45	http://gyproc.bpb.nl/
Herakustik Star, geen plenum	0,15	0,25	0,50	0,80	http://www.heraklith.nl/
Rockfon Lithos	0,68	0,70	0,66	0,81	http://www.rockfon.nl/
Sonaspary K-13 16 mm (spuitpleister)	0,43	0,91	0,94	1,05	http://www.asona.nl/



Bepaal zelf de totale geluidabsorptie in de vier octaafbanden wanneer in dit voorbeeld over het hele plafondoppervlak een Rockfon Lithos plaat wordt toegepast.



Bepaal wat de nagalmtijd in de vier relevante octaafbanden in de gang zal zijn als 16 mm Sonaspary K-13 tegen het plafond wordt aangebracht.

7.6 *Beperkingen van de norm*

De berekeningen in de norm zijn van toepassing op rechthoekige kamers. Voor grote ruimten en/of ruimten met onregelmatige vormen moeten andere, complexere methoden worden gebruikt.

De berekeningsmethode in de norm gaat uit van een gelijkmatige verdeling van het absorptiemateriaal over de ruimte. In werkelijkheid wordt de isolatie vaak geconcentreerd op bepaalde locaties, zoals plafonds en de hogere delen van wanden. Vooral voor grote ruimten, zoals bijvoorbeeld sporthallen en fabriekshallen kan de nagalmtijd zoals die met de formule van Sabine wordt berekend behoorlijk afwijken van de werkelijkheid. De totale geluidabsorptie in de ruimte kan wel gewoon met de gegeven formules worden bepaald, maar het verband tussen de geluidabsorptie en de nagalmtijd is in deze gevallen met de formule van Sabine slechts indicatief. In dat geval is het toepassen andere formules, bijvoorbeeld van Fitzroy of Eyring, een betere keus.



Stel dat zich tussen een woning en een gemeenschappelijke verkeersruimte een wand van 300 mm beton bevindt. Beredeneer of het in dat geval wel zinvol is om een eis te stellen aan de geluidabsorptie in de gemeenschappelijke verkeersruimte.

7.7 *Gerelateerde onderwerpen*

Geluidabsorptie zal in verkeersruimten vaak tegen het plafond worden aangebracht. Het is belangrijk om hierbij in de gaten te houden dat de vereiste vrije hoogte niet in het gedrang komt. In woongebouwen moeten verkeersroutes een vrije hoogte van minimaal 2,3 meter hebben.

Bij de keuze van een geluidabsorberend materiaal spelen naast de geluidabsorptiecoëfficiënt nog enkele andere aspecten mee:

- Brandveiligheid: wanneer het materiaal toegepast wordt, in een vluchtroute, moet de rookontwikkeling aan eisen voldoen. Niet alle materialen zijn dan toepasbaar.
- Esthetische kwaliteit: bij de keuze voor een absorberend materiaal moet niet alleen worden gekeken naar de functionele prestatie ten aanzien van de geluidabsorptie. Bij geluidabsorptie hebben we bijna altijd te maken met oppervlakken die zich in het zicht bevinden. Een absorberend materiaal hoeft gelukkig geen negatief effect op het uiterlijk te hebben.
- Vandaalbestendigheid: sommige absorberende materialen zijn erg gevoelig voor vernieling. Zachte poreuze materialen kunnen vaak makkelijk worden aangetast. Bij de keuze voor een materiaal moet ook rekening worden gehouden met het aantal bezoekers, de doelgroep (veel kinderen of jongeren?) en de bereikbaarheid van het akoestisch materiaal.

7.8 *Aanvullende eisen*

De eis die in het Bouwbesluit wordt gesteld aan de geluidabsorptie heeft als doel te voorkomen dat het geluiddrukkniveau in gemeenschappelijke verkeersruimten te hoog wordt waardoor overlast in aangrenzende woningen kan ontstaan. Dit kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door stemgeluiden of slaande deuren.

Deze eis heeft dus niet te maken met goede ruimte-akoestiek. Afhankelijk van het gebruik van een ruimte, is de ruimte-akoestiek wel degelijk een belangrijk onderwerp. In klaslokalen en aula's is spraakverstaanbaarheid essentieel. In een concertzaal zal de akoestiek van de ruimte vanaf het begin van het ontwerpproces een belangrijk aandachtspunt zijn. Het succes van een dergelijk gebouw valt of staat immers met de akoestiek. Hierbij zal overigens nog veel meer meespelen dan alleen het realiseren van een geschikte nagalmtijd. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een goede verdeling van het geluid in de ruimte.

In tabel 7.6 zijn richtwaarden aangegeven voor nagalmtijden in verschillende soorten ruimten.

Tabel 7.6: Richtwaarden voor nagalmtijden (volgens [1])

Ruimte	Nagalmtijd [s]	Toepassingsgebied
Geluidstudio	0,5	Sprak
Klaslokaal/woonkamer	0,6 - 0,8	
Bioscoop	0,7 - 0,9	Sprak/ muziek
Vergaderzaal	0,7 - 1,1	
Theater	1,1 - 1,4	
Auditorium	1,5 - 1,8	
Opera/kamermuziek	1,2 - 1,8	Muziek
Concertzaal	1,7 - 2,3	
Kerken	1,4 - 2,6	



In vergaderruimten wordt voor de meeste gebouwen van de Rijksoverheid als eis een nagalmtijd van 0,8 seconden aangehouden. Bedenk zelf of het plaatsen van absorptie boven een vergadertafel gewenst is.

7.9 Plaats in het bouwproces

We zullen tot slot nog kort aangeven op welke momenten in het bouwproces het onderwerp geluidabsorptie een rol speelt.

Verklaring kleuren:								
Toenemende aandacht voor dit onderwerp in dit stadium								
	Programma van eisen (PvE)	Schetsontwerp (SO)	Voorlopig ontwerp (VO)	Definitief ontwerp (DO)	Bestek	Bouwvoor-bereiding	Uitvoering	Beheer
Geluidabsorptie								

Programma van eisen (PvE)

Hierin stelt de opdrachtgever aan welke eisen de uitwerking van het gebouw moet voldoen (aanvulling op de wettelijke eisen).

Bij bepaalde gebouwfuncties zullen in dit stadium aanvullende eisen ten aanzien van de nagalmtijden en absorptie worden geformuleerd. Voor de Bouwbesluiteis zal in dit stadium normaal gesproken geen aandacht zijn.

Schetsontwerp (SO)

Een zeer globaal ontwerp van het gebouw, de gebouwindeling en de gevels

Geen aandacht voor geluidabsorptie.

Voorlopig ontwerp (VO)

Een verder uitgewerkt ontwerp dan het schetsontwerp, op een kleiner schaalniveau. Nog niet alles is uitgedetailleerd.

Geen aandacht voor geluidabsorptie.

Definitief ontwerp (DO)

Het ontwerp ligt nu vast. De tekeningen zullen ook worden gebruikt voor de uitwerking van het bestek.

In de praktijk vaak geen aandacht voor geluidabsorptie. Het kan echter verstandig zijn om in dit stadium al over de geluidabsorptie na te denken. Zie hiervoor ook de toelichting bij het onderdeel "Bestek".

Bestek

In het bestek wordt de technische omschrijving gegeven op basis waarvan een aannemer het werk moet kunnen maken.

Iets eerder in het proces zou de voorkeur hebben, maar vaak komt het onderwerp geluidabsorptie hier pas aan de orde. De eis wordt in het bestek soms zelfs nog als functionele eis geformuleerd zonder dat er een specifiek materiaal of de geluidabsorberende eigenschappen waar het materiaal aan moet voldoen, wordt geformuleerd. Vanwege de relatie met bijvoorbeeld de brandveiligheid en de vrije hoogte moet dit onderwerp wellicht als in de DO-fase aan bod komen.

Bouwvoorbereiding

De aannemer voert zijn calculaties uit, producten worden besteld.

Er zal een materiaal worden gekozen en besteld op basis van de in het bestek geformuleerde eis. Indien het uiterlijk van het materiaal een belangrijke rol speelt, zal een ontwerper of ontwikkelaar zich hier nog mee bemoeien.

Uitvoering

De daadwerkelijke realisatie van het bouwwerk.

Geen aandacht voor geluidabsorptie.

Beheer

Na het gereedkomen van een gebouw, moet er aandacht blijven voor het in een goede staat houden van het gebouw.

De geluidabsorptie van een materiaal moet in stand worden gehouden. Dit betekent dat voorkomen moet worden dat materialen bewust of onbewust beschadigd kunnen worden (bijvoorbeeld door stoten).

Praktijkvoorbeelden

- In industriële gebouwen, worden vaak ook één of enkele kantoorruimten gerealiseerd (bijvoorbeeld voor management of administratieve werkzaamheden die bij het productieproces horen). Vaak hebben dergelijke ruimtes harde wanden, vloeren en plafond (beton, linoleum en dergelijke). Het gevolg zal een galmende ruimte zijn. Dit is geen prettige werkomgeving. Hoewel het Bouwbesluit hier geen eisen aan stelt, is het goed hier bij ontwerp en materialisatie rekening mee te houden om klachten tijdens het gebruik te voorkomen.
- Bij poreuze materialen wordt na verloop van tijd nog wel eens fout de gemaakt dat het materiaal wordt overgeschilderd. Wanneer de poriën worden afgesloten door een verflaag gaat de absorberende werking van het materiaal verloren. Het is dus niet alleen zaak het goede materiaal te kiezen, maar ook om er voor te zorgen dat het materiaal goed blijft functioneren. Wanneer er bij een bestaand gebouw klachten optreden ten aanzien van galm, zou dit de oorzaak kunnen zijn.

Literatuurverwijzingen:

[1] Nederhof, L, Cauberg, J.J.M.: *Nagalmtijd*, Kennisbank bouwfysica, 2005. (toegankelijk via www.kennisbankbouwfysica.nl)

[2] *NEN EN 12354-6 (en) Geluidwering in gebouwen – Berekening van de akoestische eigenschappen van gebouwen met de eigenschappen van bouwelementen – Deel 6: Geluidabsorptie in gesloten ruimten*, Nederlands Normalisatie Instituut, 2004.

[3] Nederhof, L, Cauberg, J.J.M.: *Geluidabsorptie*, Kennisbank bouwfysica, 2005. (toegankelijk via www.kennisbankbouwfysica.nl)

[4] Nederhof, L, Cauberg, J.J.M.: *Absorptiemechanismen*, Kennisbank bouwfysica, 2005. (toegankelijk via www.kennisbankbouwfysica.nl)

[5] Nederhof, L, Cauberg, J.J.M.: *Paneelabsorptie*, Kennisbank bouwfysica, 2005. (toegankelijk via www.kennisbankbouwfysica.nl)

Overige bronnen:

[6] Dessing, J.: *Praktijkids Bouwbesluit – Geluid*, Nederlands Normalisatie Instituut, 2005.

[7] Linden van der, A.C. e.a.: *Bouwfysica*, ThiemeMeulenhoff bv, 2006.