

## **1 Inleiding**

### **1.1 Vraagstelling**

De hoorbaarheid van geluid wordt in eerste instantie bepaald door de sterkte van het geluid en de gehoordrempel van de luisteraar. De sterkte en hoorbaarheid van het geluid wordt bepaald door de sterkte van de geluidbron, de afstand tot die bron en de akoestische eigenschappen van de ruimte waarin geluisterd wordt. Uiteindelijk is dan bepalend of in het totale complexe geluid datgene gehoord wordt dat bijdraagt aan het welbevinden van de luisteraar die wil communiceren met zijn omgeving of naar muziek wil luisteren.

Deze bijdrage gaat nader in op wat er gebeurt met de geluidsniveaus in een ruimte. Op basis van deze kennis kan dan nagegaan worden op welke wijze de verstaanbaarheid al dan niet verbeterd door aanpassing van de akoestische eigenschappen van een ruimte of door gebruik van richtmicrofoons of FM-systemen.

### **1.2 Spraakverstaan in galm en lawaai**

Voor veel slechthorenden is het verstaan van spraak in een situatie met galm of andere lawaaibronnen een probleem. Dit probleem treedt met name op bij slechthorenden met een perceptief gehoorverlies. Uit onderzoek blijkt dat niet alleen sprake is van verzwakking van de geluiden maar ook dat de selectiviteit van het gehoor minder is voor frequenties en signalen die na elkaar komen in de tijd. Het verlies aan selectiviteit vertaalt zich in een verlies van de mogelijkheid om spraak te verstaan in lawaai.

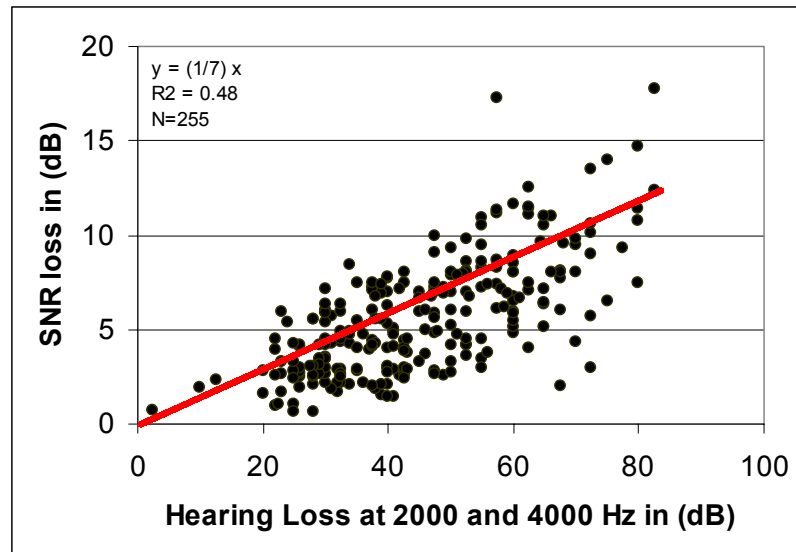
De afgenomen selectiviteit is toe te schrijven aan een verminderd functioneren van de cochlea maar een volledig begrip van het proces ontbreekt nog. Wel blijkt dat met name gehoorverlies in de 2000 en 4000 Hz octaafband zorgt voor een sterke achteruitgang van de mogelijkheid om spraak te verstaan in lawaai.

Figuur 1 geeft een samenvattend overzicht van het verlies van het spraakverstaan in lawaai in relatie tot het gemeten toonaudiogram zoals dat blijkt uit zeven onderzoeken. Het verlies in spraak in ruis is gegeven als functie van het gemiddeld verlies bij 2000 en 4000 Hz ten opzichte van een normaal horende. Elke decibel verlies komt overeen met een afname van 10-14% verstaanbaarheid in rumoer. Bij een verlies van 5 dB of meer betekent dit dat de verstaanbaarheid in lawaaiige situaties op minder dan 50% uitkomt en dat de slechthorende dan niet meer kan communiceren.

Uit de figuur blijkt dat het verlies voor spraakverstaan in lawaai toeneemt met het gemiddelde verlies bij 2000 en 4000 Hz. De getrokken lijn is bepaald via lineaire regressie en geeft aan dat elke 7 dB verlies voor 2000 en 4000 Hz uiteindelijk 1 dB verlies geeft voor spraakverstaan in ruis. Wel moet rekening worden gehouden met een grote, nog niet begrepen, individuele spreiding. De individuele situatie kan daarom het beste worden vastgesteld met een spraak in ruis test.

---

<sup>1</sup> Dr.ir. Wim Soede is werkzaam als zelfstandig akoestisch adviseur bij ARDEA Acoustics and Consult te Leiden. De advisering betreft beleid, vergunningen en procedures op het gebied van industrie- en verkeerslawaai, laagfrequent geluid en trillingen. In samenwerking met Etymotic Research (USA) werkt hij aan de productontwikkeling van een array richtmicrofoon voor slechthorenden. Daarnaast is hij werkzaam als audioloog en wetenschappelijk medewerker bij het audiologisch centrum van het LUMC. Voor nadere informatie zie [www.ardea.nl](http://www.ardea.nl) of email: [soede@ardea.nl](mailto:soede@ardea.nl).



**Figuur 1** Het verlies van spraakverstaan in lawaai ten opzichte van een normaal horende op basis van zeven onderzoeken (Soede, 2000). Het SNR-verlies is gelijk aan het gemiddelde verlies bij 2000 en 4000 Hz gedeeld door zeven.

### 1.3 De invloed van de akoestiek op de spraakverstaanbaarheid in lawaai

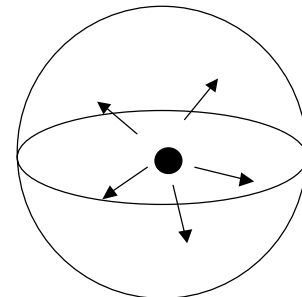
In paragraaf 1.2 is aangegeven dat omgevingsgeluid de spraakverstaanbaarheid in sterke mate kan beïnvloeden. De invloed van de akoestiek van een ruimte kan daarbij een rol spelen als sprake is van nagalm en/of geluid van andere bronnen. De mate van nagalm in de ruimte is belangrijk als de verhouding tussen de galm gaat overheersen ten opzichte van het directe geluid. De absorberende eigenschappen van een ruimte kunnen belangrijk zijn als er, bijvoorbeeld bij een verjaardag of receptie, meer geluidbronnen zijn.

Hoofdstuk 2 behandelt een aantal basisbegrippen over geluiduitbreiding in het vrije veld en in een besloten ruimte. Daarnaast wordt ingegaan op de richtwerking van de menselijke stem. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de mogelijkheden om de spraakverstaanbaarheid te verbeteren door akoestische maatregelen in de ruimte zelf, dan wel individuele oplossingen met een richtmicrofoon of een FM-systeem. Hierbij wordt een relatie gelegd tussen de nagalmtijd en de sterkte van het nagalmniveau. Met name de sterkte van het nagalmniveau blijkt belangrijk te zijn voor begrip van de situaties waarin veel slechthorenden moeten functioneren.

## 2 Basisbegrippen akoestiek

### 2.1 Geluid van een bron in het vrije veld

Wanneer een geluidbron zich in het vrije veld bevindt dan wordt het geluidsniveau op een bepaalde afstand van de bron bepaald door de bronsterkte  $L_w$  en de afstand tot de bron. Als het geluid zich in alle richtingen gelijk verspreid dan betekent dat het geluidsniveau op alle punten op een bol rond de geluidbron gelijk is en afhangt van de afstand of het oppervlak van de bol. Dit kan beschreven worden met de volgende formule:

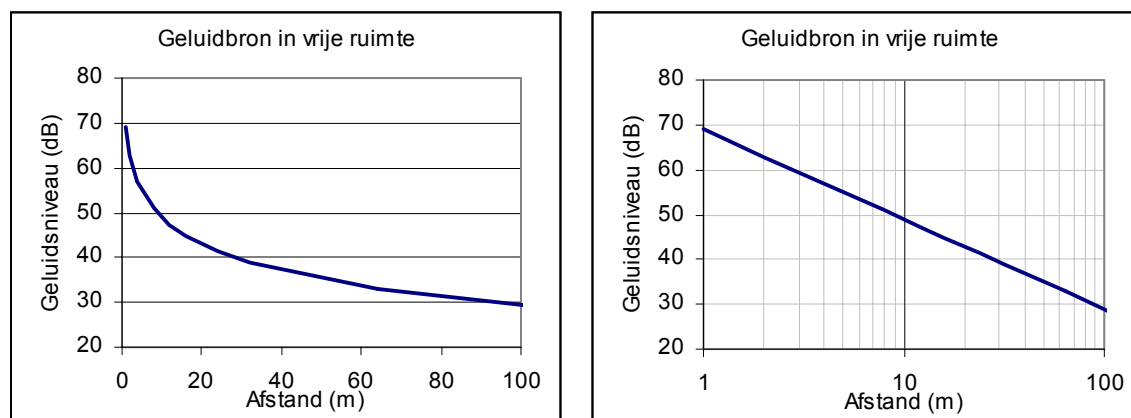


$$L_p = L_w + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

waarin  $L_p$  gelijk is aan het geluidsniveau op de bol,  $L_w$  het geluidvermogen van de bron en  $r$  de straal van de bron. De term  $4\pi r^2$  in de formule is daarbij niets anders dan de formule voor de oppervlakte van een bol.

**Figuur 2** Puntbron

Figuur 3 geeft op basis van vergelijking 2.1 het geluidsniveau als functie van de afstand voor een geluidbron met een sterkte van 80 dB. Het geluidsniveau neemt kwadratisch af met de afstand. Op een logaritmische schaal levert dat een rechte lijn. De afname is dan gelijk aan 6 dB per afstandsverdubbeling of 20 dB bij een afstandstoename van een factor 10.



Figuur 3 Het geluid van een bron met sterkte van 80 dB in een vrije ruimte ("vrije veld") lineair en logaritmisch geplot.

## 2.2 Nagalmgeluid, galmstraal en nagalmtijd T60

### nagalmgeluid

Wanneer een geluidbron in een besloten ruimte wordt geplaatst dan kaatst het geluid terug tegen de wanden. De sterkte van de reflecties is afhankelijk van de geluidabsorberende eigenschappen van de ruimte. Bij een ruimte met harde reflecterende wanden kunnen de reflecties vaak weerkaatsen en dempen langzaam uit door absorptie van de wanden en, in geringe mate, de absorptie van de lucht. Indien de geluidbron aan blijft staan dan bouwt zich in de ruimte een zogenoemd 'nagalmveld' op. Dit nagalmveld bestaat dan uit alle reflecties tegen de wanden en is bij een voldoende grote ruimte zal op alle plaatsen in de ruimte gelijk zijn.

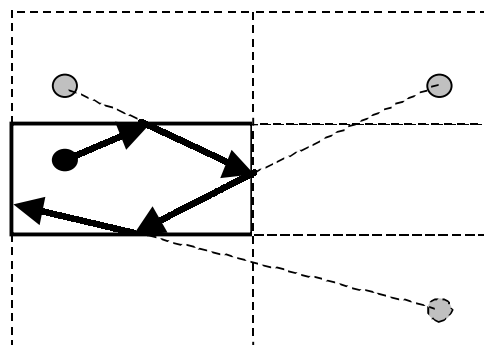
Dit nagalmveld kan worden beschreven met de formule:

$$L_g = L_w + 10 \log \frac{4(1 - \bar{\alpha})}{A} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

waarin  $L_g$  het **nagalmniveau**,  $\bar{\alpha}$  de gemiddelde absorptiecoëfficiënt en  $A$  het totale effectieve absorberende oppervlak in de ruimte uitgedrukt in  $\text{m}^2$ . Het effectieve absorberende oppervlak is gelijk aan de gemiddelde absorptie vermenigvuldigt met de totale oppervlakte  $S$ :

$$A = \bar{\alpha}S.$$

Het nagalmveld is dus onafhankelijk van de afstand  $r$ . Als er geen enkele absorptie is ( $A=0$ ) dan zou in theorie het nagalmveld tot oneindig toe kunnen nemen. In werkelijkheid is  $A$  echter altijd groter dan nul.



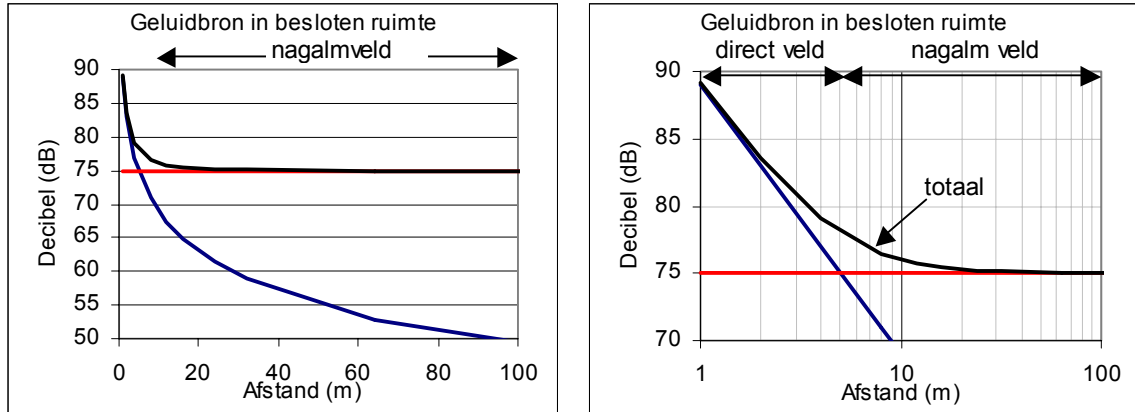
Figuur 4 Het geluid van een bron in een besloten ruimte weerkaatst net als licht. De richting van de reflectie wordt bepaald door de spiegelbron.

Het totale geluidsniveau in de ruimte wordt nu bepaald door de afstand tot de geluidbron en het heersende geluidsniveau. Figuur 5 geeft, als illustratie, een voorbeeld voor de situatie dat de geluidbron van 80 dB in een (grote) besloten ruimte wordt geplaatst met een effectieve absorptie van ca.  $1250 \text{ m}^2$  en Het nagalmniveau (op basis van eq. 2.2) is dan 25 dB lager en komt uit op 55 dB.

### galmstraal

Uit figuur 5 blijkt dat in deze situatie op ca. 5 m het directe geluid net zo sterk is als het nagalmgeluid. Het is gebruikelijk om deze afstand te definiëren als de zogenoemde **galmstraal** (of reverberation distance). Ter plaatse is sprake van een sommatie van 3 dB en is de signaal-ruisverhouding dus 0 dB. Voor afstanden groter dan de galmstraal is het nagalmgeluidsniveau overheersend, voor afstanden kleiner dan deze afstand is het directe veld overheersend. Op basis van eq. 2.1 en eq. 2.2 is de galmstraal dan gelijk aan:

$$r_g = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{A}{\pi(1-\alpha)}} \quad (\text{Eq. 2.3})$$



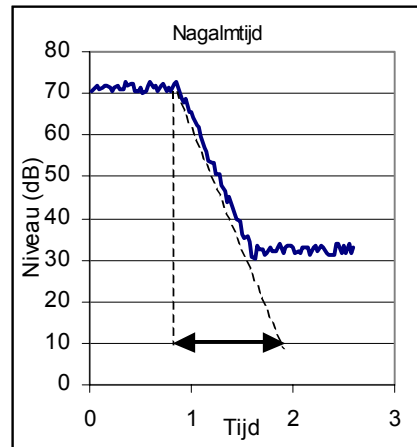
**Figuur 5** Geluidsniveau in (grote) besloten ruimte als functie van de afstand. Het totale veld is de som van het directe geluid van de bron en het nagalmveld.

Uit vergelijking 2.3 blijkt dat de galmstraal  $r_g$  onafhankelijk is van de afstand en geheel bepaald wordt door de ruimte zelf. Verder kan nog opgemerkt worden dat op een afstand van 3 maal de galmstraal de direct-galmverhouding gelijk is aan  $-10$  dB. In de zaalakoestiek wordt, in verband met spraakverstaanbaarheid, als vuistregel aangehouden dat de beste zitplaatsen gelegen zijn binnen een afstand van 3 maal de galmstraal. Het zal duidelijk zijn dat dit voor slechthorenden onvoldoende is.

### nagalmtijd T60

Hiervoor is aangegeven dat het nagalmniveau ontstaat door de reflecties van het geluid van de geluidbron. Als een bron wordt aangezet dan bouwt dit nagalmgeluid zich snel op totdat een evenwicht is bereikt. Als de geluidbron dan vervolgens in een keer wordt uitgezet dan blijft alleen het nagalmgeluid over en zal met de tijd afnemen. Figuur 6 geeft een illustratie van de afname van het geluid in een ruimte waar de geluidbron wordt uitgezet. Na het uitzetten van de bron neemt het geluid snel af van 70 dB tot het achtergrondniveau van ca. 30 dB.

De afname van het geluid blijkt een karakteristiek eigenschap te zijn voor een zaal. SABINE heeft, als een van de grondleggers van de zaalakoestiek, rond 1900 de nagalmtijd T gedefinieerd als de tijd waarin het geluidrukniveau 60 dB zakt na het afzetten van de bron. In het voorbeeld is de afname 40 dB zodat extrapolatie nodig is langs de verticale lijn waarmee de nagalmtijd uitkomt op ca. 1.2 s.



**Figuur 6** Meting nagalmtijd

Op basis van deze definitie heeft Sabine vervolgens afgeleid dat de nagalmtijd  $T$  van een galmende ruimte bij benadering overeenkomt met de volgende formule:

$$T_{60} = \frac{1}{6} \frac{V}{A} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

waarbij  $V$  het volume van de ruimte en  $A$  het effectieve absorberende oppervlak van de ruimte. De nagalmformule van Sabine wordt in de praktijk veel gebruikt omdat via een meting van de nagalmtijd het effectieve absorberende oppervlak  $A$  kan worden bepaald. Omgekeerd kan een prognose gemaakt worden van de nagalmtijd als de absorptiecoëfficiënten van de verschillende oppervlakken in een ruimte bekend zijn.

### 2.3 Richtwerking

In paragraaf 2.2 en 2.3 is steeds uitgegaan van een geluidbron die het geluid in alle richtingen even sterk uitstraalt. In de praktijk zal nagenoeg elke geluidbron een zekere richtwerking hebben. Denk bijvoorbeeld aan een luidspreker of aan de menselijke stem waarbij het geluid naar voren toe sterker is dan naar achter.

Figuur 7 geeft de sterkte van de menselijke stem gemeten op 1 m afstand van de mond. Voor het totale stemgeluid is er een verschil van ca. 4 dB tussen voor en achter. Voor de hogere frequenties is de richtwerking daarentegen des te sterker en is het verschil tussen voor en achter zelfs ca. 13 dB.

Deze richtwerking is duidelijk hoorbaar als iemand zich afwendt bij het spreken.

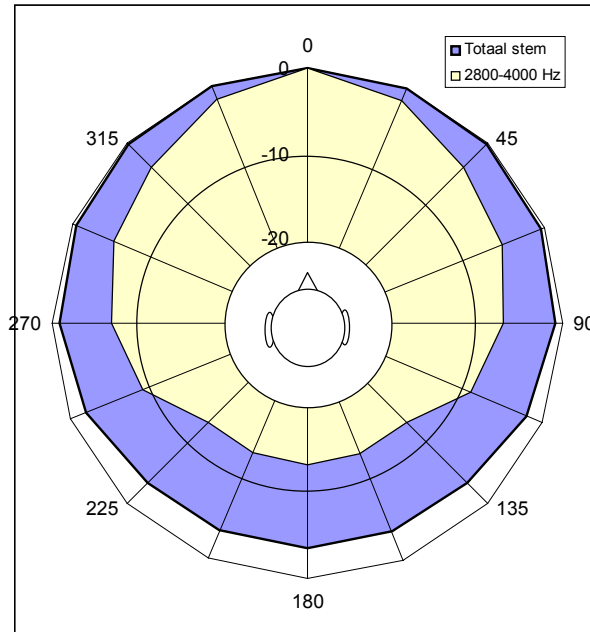
Het effect van de richtwerking zorgt ervoor dat het geluid nu niet meer gelijkmatig verdeelt over een bol maar dat er een soort ei-vorm ontstaat. Het geluidsniveau is nu afhankelijk van de richting. De sterkte van de richtwerking wordt uitgedrukt in de richtingsfactor  $Q_b(\theta)$  of richtingsindex (dB), waarbij de richtwerking wordt uitgedrukt ten opzichte van de hoofdrichting. Voor een bron die rondom uitstraalt is de factor gelijk aan 1 (is gelijk aan 0 dB). Voor de menselijke stem is de richtingsindex afhankelijk van de frequentie en varieert tussen 3 en 10 dB.

Wanneer een bron met richtwerking in een ruimte aanwezig is dan heeft dat ook effect op de verhouding tussen het directe geluid en het nagalmgeluid. Dit kan worden verwerkt in de formule voor de galmstraal door daarin de richtingsfactor op te nemen:

$$r_g(\theta) = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{AQ_b(\theta)}{\pi(1-\alpha)}} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

### 2.4 Vroege reflecties versus late reflecties/galm

Spraakverstaanbaarheid hangt af van parameters als nagalmtijd, verhouding tussen direct geluid en nagalmgeluid en het overige achtergrondlawaai. In het algemeen geldt dat voor een goede spraakverstaanbaarheid een sterk direct geluid nodig. Dit directe geluid kan ondersteund worden met enkele vroege reflecties van een klankweerkatser. Uit psychofysisch onderzoek blijkt dat deze reflecties bij voorkeur binnen 15 ms moeten volgen na het directe geluid (15 ms komt bij een geluidsniveau van 340 m/s overeen met een afstand van ca. 5 m). Het effect van de vroege reflecties is niet iets nieuws, denk aan veel oude kerken waar de preekstoel is voorzien van een luifel! Reflecties die later aankomen dragen bij aan verhoging van het galmniveau en worden, indien zij apart herkenbaar zijn, gehoord als een echo.



Figuur 7 Richtwerking menselijke stem op 1 m (naar Fletcher, 1972).

### 3 Oplossingen voor verbetering van spraakverstaanbaarheid in verschillende ruimten.

#### 3.1 Akoestische parameters van een viertal ruimtes

Met de achtergrond gegevens zoals beschreven in het voorgaande hoofdstuk kunnen we nu kijken naar een viertal ruimtes: kerk, woonkamer, werkkamer, klaslokaal.

Tabel 3.1 geeft een beschrijving van deze ruimtes, het effectieve absorberende oppervlak A en de daarbij behorende berekende nagalmtijd T60 en galmstraal  $R_g$ . Het relatieve galmniveau en de galmstraal  $R_g$  zijn gegeven voor de situatie met een rondomuitstralende geluidbron (zie eq. 2.3 en 2.4) en voor de menselijke stem met een richtwerking van  $Q_b = 3$  (5 dB). Hierbij is het relatieve galmniveau berekend volgens vergelijking 2.2 met een correctie voor de richtwerking.

Tabel 1 Akoestische parameters vier ruimtes

	Kerk	Woonkamer	Werkruimte Vergaderruimte	Klaslokaal
Ruimte	400 zitplaatsen pleistermuren stenen vloer 200 aanwezigen	Woonkamer Vloerbedekking Gordijnen	Lichte vloerbedekking Standaard systeemplafond	Lichte Vloerbedekking Standaard Systeemplafond 20 leerlingen
Maat (l*b*h)	24*18*7	9*5*2.5	4*2.5*2.5	10*6*3
Volume	3000 m <sup>3</sup>	112.5 m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>	180 m <sup>3</sup>
Effectieve absorptie (A)	250 m <sup>2</sup>	38 m <sup>2</sup>	6 m <sup>2</sup>	50 m <sup>2</sup>
<b>T60</b>	<b>2.0 s</b>	<b>0.5 s</b>	<b>0.7 s</b>	<b>0.6 s</b>
<b>Rondomgevoelige bron <math>Q_b = 1</math> (0 dB)</b>				
Relatief galmniveau	-18 dB	-10 dB	-2 dB	-11 dB
$R_g$ (S/N=0 dB)	2.2 m	0.9 m	0.3 m	1.0 m
$R_g * 3$ (S/N=-10 dB)	6.6 m	2.7 m	0.9 m	3.0 m
<b>Menselijke stem <math>Q_b = 3</math> (5 dB)</b>				
Relatief galmniveau	-23 dB	-15 dB	-7 dB	-16 dB
<b><math>R_g</math> (S/N=0 dB)</b>	<b>3.9 m</b>	<b>1.5 m</b>	<b>0.6 m</b>	<b>1.7 m</b>
$R_g * 3$ (S/N=-10 dB)	11.7 m	4.5 m	1.8 m	5.1 m

#### 3.1.1 Kerk

De kerkruimte heeft een nagalmtijd van ca. 2 s. Er is dus sprake van een lange nagalmtijd. Opvallend echter is dat de galmstraal ten opzichte van de andere ruimtes ook het langst is! Dat komt door het grote volume van de ruimte. Er is weliswaar weinig absorptie maar het geluid verspreidt zich over een groot volume en dat betekent dat het relatief galmniveau laag blijft.

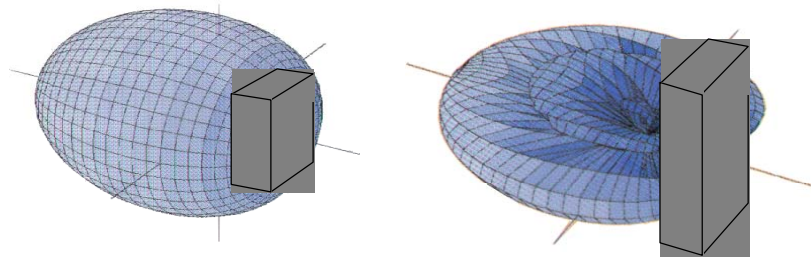
#### Verbetering verstaanbaarheid

De verstaanbaarheid van de ruimte kan worden verbeterd met:

- aanbrengen absorptie
- een luifel boven het spreekgestoelte
- gerichte elektronische geluidversterking.

Het aanbrengen van absorptie in de kerkruimte kan de spraakverstaanbaarheid verbeteren, maar zal averechts werken voor de muziekbeleving. Door het plaatsen van een luifel kan het geluid van de spreker teruggekaatst worden in de richting van de luisteraars en kan het geluid met zo'n 3 dB versterkt worden. De galmstraal neemt dan toe tot 5.5 m en de luisterafstand voor normaalhorenden komt uit op ca. 16.5 m zodat de ruimte bijna volledig wordt bestreken.

Met gerichte elektronische geluidversterking kan niet alleen het geluid van de spreker versterkt worden maar kan de bron ook "dichter bij" de luisteraar worden gebracht. Voorwaarde is dan wel dat de gebruikte luidsprekersboxen voldoende richtwerking hebben. Daarom worden vaak luidsprekerzuilen gebruikt die een schotelvormige richtwerkingen hebben. Figuur 8 laat de richtpatronen zien voor een gewone luidspreker en een luidsprekerzuil.



**Figuur 8 Schetsmatig voorbeeld richtpatronen voor een enkelvoudige luidspreker (links) en een kolomluidspreker (rechts).**

### 3.1.2 Woonkamer

De woonkamer heeft een korte nagalmtijd met een galmstraal van 0.9 m. Indien rekening gehouden wordt met de richtwerking van de stem dan komt de galmstraal uit op 1.5 m. Deze waarde is voor de voldoende voor het voeren van een gewoon gesprek. Er zijn voor deze inrichting geen concrete voorzieningen nodig. Wanneer echter geen gordijnen aanwezig zijn en/of de vloerbedekking bestaat uit parket of plavuizen dan neemt de nagalmtijd al snel toe tot 0.7 s en zal de galmstraal snel afnemen tot minder dan een 1 meter.

### 3.1.3 Werkruimte

Bij de beschreven werkruimte kan gedacht worden aan een standaard kantoorinrichting, kleine vergaderruimte of winkelruimte. De absorptie in de ruimte is beperkt en ook al is de nagalmtijd niet al te lang dan toch blijkt dat het nagalmniveau hoog is. De galmstraal is slechts 0.3 m en voor slechthorenden bedraagt de optimale afstand slechts 0.6 m!

Om deze situatie voor slechthorenden te verbeteren bestaan de mogelijkheden uit:

- Aanbrengen absorptie in de ruimte;
- Gebruik richtmicrofoon;
- Gebruik FM-systeem.

De situatie in de werkruimte kan aanzienlijk worden verbeterd door het aanbrengen van extra absorptie in de ruimte. Dit kan door het plaatsen van een plafondplatensysteem met maximale absorptie. Daarnaast is het zinvol, als het gaat om kleine ruimtes om ook op de verticale wanden enkele absorberende of diffuserende elementen aan te brengen. Voor een goede spraakverstaanbaarheid voor slechthorenden is het gewenst om de nagalmtijd van dergelijke ruimtes terug te brengen tot  $T=0.5$  s. Voor gebruik van richtmicrofoons en FM-systemen zie paragraaf 3.2.

### 3.1.4 Klaslokaal

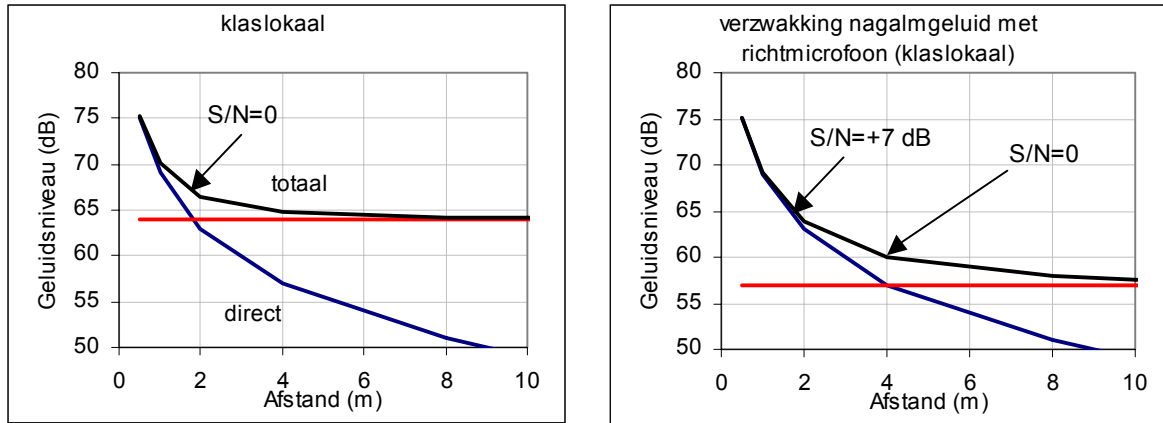
Voor een standaard klaslokaal komt de nagalmtijd uit op ca. 0.6 s en de galmstraal op ca. 1 m. Voor een goede verstaanbaarheid van spraak is de maximale afstand 5 m voor normaalhorenden. Dit betekent dat achter in de klas de verstaanbaarheid onvoldoende is. Om deze situatie voor slechthorenden te verbeteren bestaan de mogelijkheden uit:

- Aanbrengen absorptie in de ruimte en klankkaatsers;
- Gebruik richtmicrofoon;
- Gebruik FM-systeem.

Voor een klaslokaal is het enerzijds gewenst om zoveel mogelijk absorptie aan te brengen, anderzijds betekent dit dat de leraar in een akoestisch droge ruimte moet functioneren. In sommige situaties kan het dan een oplossing zijn om voor in de klas het plafond hard te houden ter ondersteuning van het stemgeluid van de leraar en achter in de klas meer absorptie aan te brengen. Verder is het gewenst om slechthorende kinderen een plaats te geven "binnen de galmstraal".

## 3.2 Gebruik richtmicrofoon voor slechthorenden

Indien de akoestische aanpassing onvoldoende is dan kan het gebruik van een richtmicrofoon een oplossing zijn om de nagalm (en andere stoorgeluiden) te verzwakken. Een eenvoudige 1<sup>e</sup> orde richtmicrofoon kan het nagalmgeluid met ca. 3-4 dB verzwakken. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om gebruik te maken van een array richtmicrofoon die het nagalmniveau met ca. 7 dB kan



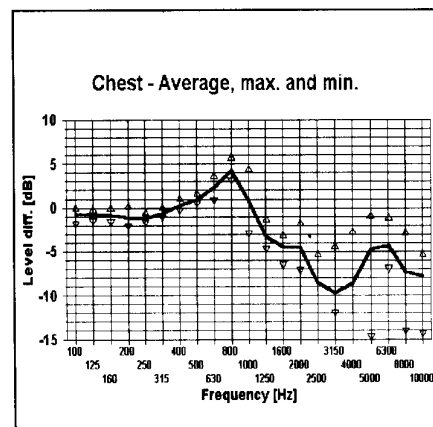
**Figuur 9** Verbetering van de signaal-ruisverhouding met een array richtmicrofoon die het nagalmgeluid met 7 dB verzwakt.

onderdrukken. Bij onderdrukking van het nagalmniveau met 7 dB(A) verbetert de direct-galmverhouding overeenkomstig en kan er dus ook op grotere afstand nog een voldoende spraakverstaanbaarheid zijn. Dit wordt geïllustreerd in figuur 9. Met behulp van de richtmicrofoon wordt het nagalmgeluid met 7 dB verzwakt. Daardoor verschuift de afstand waar de Signaal-Ruisverhouding gelijk is aan 0 dB naar een afstand van 4 m.

### 3.3 Gebruik FM-systeem

Indien de akoestische situatie bijzonder slecht is dan kan een FM-systeem een verbetering bieden voor die situaties waar de luisteraar (kind in klas of volwassene in vergadering) zich te ver van de bron bevindt en hinder ondervindt van nagalm (en andere stoorgeluiden). Bij een FM-systeem wordt een microfoon dichtbij de spreker geplaatst en dat signaal wordt dan draadloos naar een FM-ontvanger gestuurd. Dit systeem kan een aanzienlijke verbetering geven voor situaties waar de luisteraar zich op zo'n grote afstand van de bron bevindt dat het nagalmgeluid en andere stoorgeluiden duidelijk overheersen. Wel zijn er een aantal kanttekeningen te maken die belangrijk zijn bij de afweging om een FM-systeem toe te passen.

- Een FM-systeem wordt meestal monoraal gebruikt. Dit betekent dat binaurale verwerking niet meer mogelijk is. Daardoor wordt het lastiger om richting te horen en is binaurale ruisonderdrukking ook niet mogelijk.
- Als de leerling of luisteraar zich al binnen de galmstraal bevindt dan zal het FM-systeem, gezien ook het monaurale gebruik, een beperkte of geen verbetering opleveren, tenzij dat de spreker zich regelmatig verwijderd of afwendt van de luisteraar.
- Bij de plaatsing van de microfoon bij de spreker moet rekening worden gehouden met de akoestische situatie en de positie van de microfoon ten opzichte van de mond van de spreker. Als de microfoon te ver weg staat dan zal het galmniveau te hoog zijn en is er geen voordeel van een FM-systeem te verwachten. Daarnaast moet ook rekening worden gehouden met de richtwerking van de mond als de microfoon op de borst van de spreker wordt geplaatst. Figuur 8 laat zien dat er ten opzichte van het normale gemiddelde spectrum op 1 m afstand een aanzienlijke afname is van de hoge tonen en een versterking van de frequenties bij 800 Hz. Juist deze hoge tonen zijn belangrijk om een goede spraakverstaanbaarheid mogelijk te maken. Deze correctie is op dit moment vaak wel verwerkt in de speciale classesystemen maar is bij de multi-use FM-microfoons nog niet altijd aangebracht.



**Figuur 10** Spectraal verschil (Brixen).



#### 4 LITERATUUR

Gebruikte literatuur:

- Brixen, E.B., Spectral degradation of speech captured by miniature microphones mounted on persons' head and chest, paper, AES-convention 1996, Copenhagen.
- Etymotic Research, brochure ArrayMic, 2000.
- Fletcher, H., Speech and Hearing in Communication, Krieger Publishing Company, reprint 1972
- Lange, P.A., Zaalakoestiek, reader, Eindhoven.
- Soede, W., Improvement of Speech Intelligibility in Noise, proefschrift, TU-Delft, 1990.
- Soede, W., Christensen L, Killion, M.C., Schulein, R.B., SNR-Loss and Directional Microphones, presentation, AAA 2000, Chicago.
- Vries, D., Zaalakoestiek, 19<sup>e</sup> Hogere cursus akoestiek Antwerpen.
- Wulfften-Palthe, D.W., Vries, D., Inleiding in de akoestiek, collegedictaat, TU-Delft, 1986.