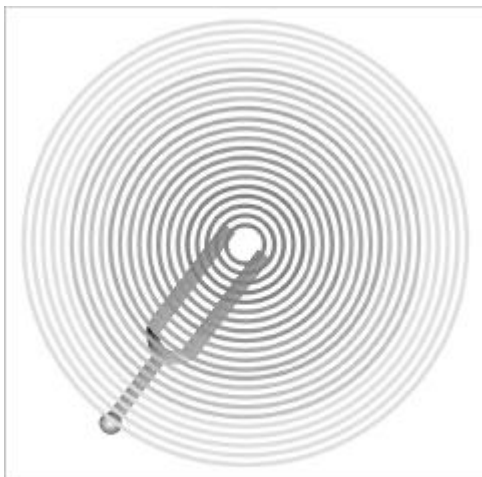


Vorige maand hebben we uitvoerig het begrip fase beschreven. Wat we berekend hebben voor één frequentie, geldt voor alle hoorbare frequenties. Dit heeft als gevolg dat er zich in een “Real world” situatie ontelbare reflecties met de daarmee gepaard gaande versterkingen en annulaties in het totale spectrum voordoen. Net dit geheel van onevenwicht zal ervoor zorgen dat elke kamer, hal, zaal, enz... zijn eigen geluid heeft. Heb je je al eens afgevraagd hoe het komt dat bijvoorbeeld een telefooncel zo bekrompen klinkt. Ook dit heeft weer met dezelfde factoren te maken. Let wel : zodra je de telefoonconversatie begint zal je vlug vergeten dat die ruimte zo klinkt. In feite zullen de combinatie van zicht en gehoor de perceptie van de ruimte in onze geest bepalen. Plaats nu een microfoon in de telefooncel en beluister de captatie in een ander lokaal. Het zal je onmiddellijk opvallen dat deze ruimte echt niet normaal klinkt, je zal je er zelfs aan storen. Laat de spreker nu continu van positie veranderen en dan zal blijken dat de opname bijna niet meer bruikbaar wordt.

Hieruit blijkt dat als je opnames maakt, je voortdurend moet uitkijken dat je geest je oren niet voor schut zet. Maar het kan zelfs nog erger : ook onze oren houden ons voor de gek. Een situatie die je zeker al meegemaakt hebt is de volgende : je stapt tijdens een concert binnen in een zaal en je stelt vast dat het geluid bijzonder slecht klinkt ( de oorzaak kan zowel de afregeling of de slechte akoestische eigenschappen van de zaal zijn ). Toch zal blijken dat je er na een 10 tal minuten niet meer aan zal storen : onze oren ( hersenen ) wennen aan geluid. Het is enkel bij het registreren van het concert, dat bij beluistering zal blijken hoe slecht het geluid wel was. Een goed geluidstechniker moet zich daar heel goed van bewust zijn en er zich steeds rekenschap van geven !!!

## 5. Decibel

Gelukkig zijn de fysische wetten van geluid ook een beetje in ons voordeel : geluid sterft uit, dus ook storend geluid. We hebben gezien dat geluid zich voortplant door het samendrukken en expanderen van luchtmoleculen. Dit vergt een zekere energie. Bij een puntbron wordt de energie in een vlak van  $360^\circ$  verspreid, de drukgolven zullen een steeds groter vlak in beweging moeten brengen, maar de totale uitgeoefende kracht blijft dezelfde. Dit heeft als gevolg dat hoe verder we ons van de bron verwijderen, hoe minder sterk de druk zal zijn. Zie



Figuur 1.14 : geluid afkomstig van een puntbron verspreid zich bolvormig

figuur 1.14. Tot nu toe gebruikten we de term amplitude zonder daar een waarde aan te koppelen, maar wanneer we geluid als een echte wetenschap willen beschouwen zullen we referentiepunten en een waardeschaal moeten vastleggen. Het belang van dergelijke waardeschalen werd reeds lang geleden aangetoond in geschriften van onderzoekers zoals Ernst Weber in 1834, Gustaf Fechner in 1860 en Hermann von Helmholtz in 1873. Uiteindelijk zijn het de ingenieurs van het Bell Telephone Laboratory die eerst de term TU ( Transmission Unit ) invoerden om die dan in 1923 te veranderen in de Bel, afgeleid van

Alexander Graham Bell \* . In de praktijk wordt er gewerkt met tienden van de Bel, deci-Bel of dB afgekort.

Men heeft vrij vlug ontdekt dat een gemiddeld persoon zoveel geluidsdrukverschillen kan waarnemen ( van muisstil tot trommelvliesbeschadiging ) dat we een verhouding krijgen van 1 tot 10.000.000.000.000. Deze verhouding is niet goed werkbaar en om de zaken wat eenvoudiger te maken is men beginnen rekenen in logaritmen.

### 5.1. Maar wat is nu eigenlijk een decibel ?

Wel de dB wordt gebruikt om een geluidsniveau te meten. Hiervoor gebruikt men een logaritmische eenheid. Deze verhouding kan zowel gebruikt worden in relatie met vermogen, geluidsdruk, spanning of stroomsterkte. Om vertrouwt te raken met logaritmen nemen we volgend voorbeeld : veronderstel 2 luidsprekers, een 1<sup>ste</sup> met vermogen P1 en een 2<sup>de</sup> met vermogen P2 ( zie figuur 1.15 ).

De verhouding in Bel wordt dan :

$$\log(P1/P2)$$

Maar aangezien we rekenen in decibel :

$$10\log(P1/P2)$$

Is P1 twee maal zo groot dan P2 dan krijgen we :

$$10\log(P1/P2) = 10\log 2 = 3 \text{ dB}$$

Is P1 de helft van P2 dan krijgen we :

$$10\log(P1/P2) = 10\log 0,5 = -3 \text{ dB}$$

Is P1 10 maal zo groot dan P2 dan krijgen we :

$$10\log(P1/P2) = 10\log 10 = 10 \text{ dB}$$

Is P1 1000 maal zo groot dan P2 dan krijgen we :

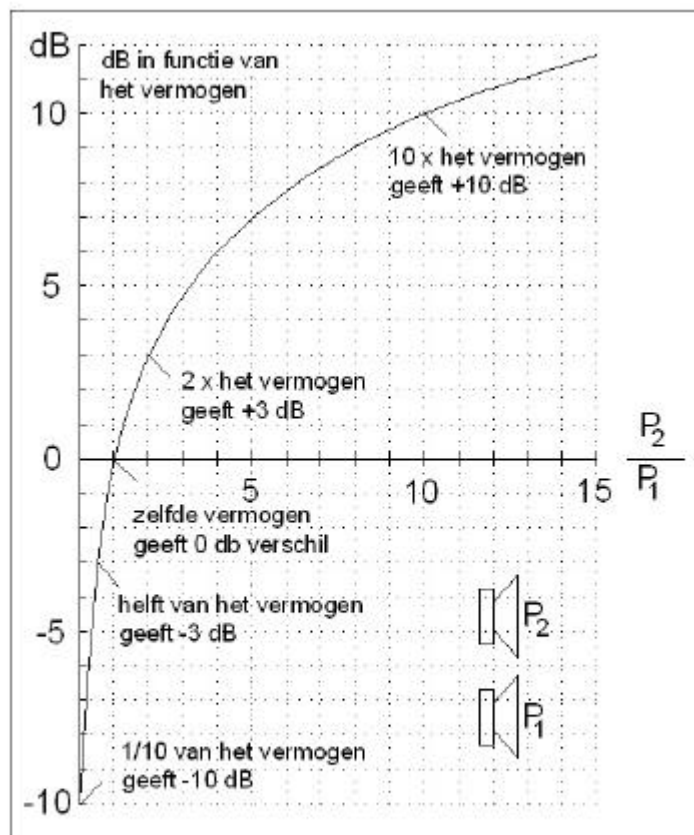
$$10\log(P1/P2) = 10\log 1000 = 30 \text{ dB}$$

Is P1 10 000 000 maal zo groot dan P2 dan krijgen we :

$$10\log(P1/P2) = 10\log 10000000 = 70 \text{ dB}$$

Is P1 1 000 000 000 maal zo groot dan P2 dan krijgen we :

$$10\log(P1/P2) = 10\log 1000000000 = 90 \text{ dB}$$



In figuur 1.15 zien we de vorm van de curve

Let wel deze formules hebben enkel betrekking tot **decibels in relatie met vermogen**

Figuur 1.15 : vergelijking van 2 luidsprekers, de 1ste met vermogen  $P_1$  en de 2de met vermogen  $P_2$

## 5.2. Decibel in functie van geluidsdruk

Wanneer we nu deze dB waarde in relatie brengen met de druk ( Pascal of Pa ) die een bron op de lucht uitoefent, kunnen we de geluidsdruk of dB SPL ( Sound Pressure Level ) gaan meten. Maar we moeten hierbij rekening houden dat de druk van een geluidsbron zich in de ruimte voortplant en dus een extra dimensie zal krijgen. Dit kunnen we in onze formule oplossen door van beide drukverschillen het kwadraat te nemen. Daarom rekenen we ditmaal op volgende wijze :

$$10\log(P_1^2 / P_2^2) = 20\log(P_1/P_2)$$

Is  $P_1$  twee maal zo groot dan  $P_2$  dan krijgen we :

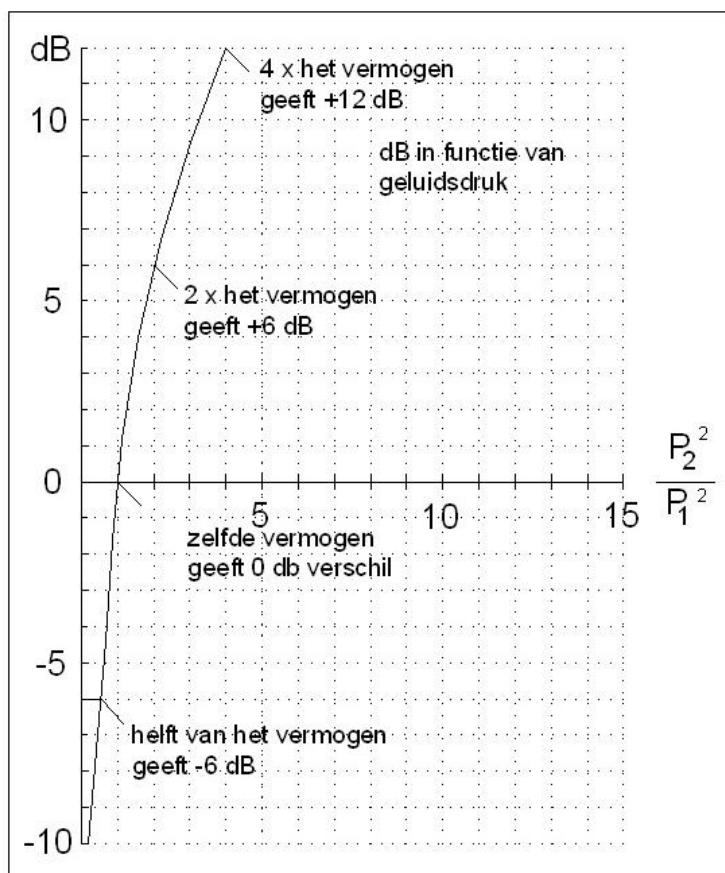
$$20\log(P_1/P_2) = 20\log 2 = 6 \text{ dB}$$

Is  $P_1$  10 maal zo groot dan  $P_2$  dan krijgen we :

$$20\log(P_1/P_2) = 20\log 10 = 20 \text{ dB}$$

Is  $P_1$  de helft van  $P_2$  dan krijgen we :

$$20\log(P_1/P_2) = 20\log 0,5 = -6 \text{ dB}$$



In figuur 1.16 zien we een heel andere curve t.o.v. die in figuur 1.15

Figuur 1.16 : vergelijking van decibels in functie van de geluidsdruk

Handige hulpmiddelen om de geluidsdruk te meten zijn SPL meters. Je kan een voorbeeld van een dergelijke meter zien in figuur 1.17.



Figuur 1.17 : een SPL meter. De microfoon zit helemaal bovenaan

Deze instrumenten steunen op het gelijkwaardige verloop van een ( goede ) microfoon t.o.v. ons gehoor. Bij gebruik van dergelijke meters zal vrij snel blijken dat we in een zeer luidruchtige wereld leven. Ik heb net een geijkte SPL meter aangezet en kom reeds tot een eerste verbazend resultaat : ik zit nu alleen in mijn kantoor, er staat geen radio aan, het is zaterdagmorgen 07:30u en dus bijna geen geluid van verkeer, de ramen zijn van dubbelglas met extra geluidsdemping voorzien, en toch geeft mijn SPL meter een waarde van 45,6 dB aan ! De enige geluiden die ikzelf waarneem zijn het geruis van de computerventilator en het tikken van de klok. Maar wanneer ik nu een opname maak van deze “stille” ruimte, zal pas bij het herbeluisteren blijken wat onze oren allemaal te verwerken krijgen. Je hoort dus continu een soort achtergrond geroezemoes waaruit onze oren een paar typische geluiden naar voor brengen zoals de computer en het tikken van de klok, alle

andere geluiden, zoals ruis, worden door onze oren ( of brein ) weggedrukt omdat we die geluiden irrelevant vinden.

De eerste meting ( in een vrij stille omgeving ) geeft 45,6 dB

SPL aan, maar wat moeten wij dan doen met de 90 dB die de Vlarem oplegt voor kroegen en dancings, ik zit reeds aan de helft van de 90 dB grens ! Fout : willen we de geluidsdruk in mijn kantoor verdubbelen dan komen we aan .... Juist : 51,6 dB SPL. Herinner u :  $20\log(2) = 6 \text{ dB}$ . Hieruit blijkt hoe belangrijk het is om met deze logaritmische schaal te werken. Wil ik nu de radio opzetten en dit op een achtergrondniveau waarbij ik de stem net duidelijk kan verstaan, krijg ik een gemiddelde waarde van 51 dB SPL. Maar wanneer de publiciteit uitgezonden wordt krijg ik onmiddellijk 56 dB SPL.

Nemen we nu een puntbron en doen we een meting ( in openlucht of kamer zonder reflecties op de wanden ) op 1 meter van onze bron dan zullen we bijvoorbeeld een waarde van 98 dB SPL bekomen. Meten we nu op 2 meter dan zullen we 92 dB SPL krijgen. Meten we vervolgens op respectievelijk 4 en 8 meter dan krijgen we 86 dB SPL en 80 dB SPL als resultaat. Dat wil zeggen dat we bij elke verdubbeling van onze afstand tot de geluidsbron 6 dB verliezen. Dit is exact wat we konden afleiden uit onze eerste formules i.v.m. geluidsdruk. In Engelse geschriften zal je deze wet terugvinden onder de term "Inverse Square Law".

Deze wet is heel handig om bijvoorbeeld de geluidsdruk van een PA systeem in een zaal te berekenen.

Stel : je hebt een luidsprekersysteem dat met een vermogen van 1 Watt 100 dB SPL kan leveren op 1 meter afstand. Je kan nu uitrekenen wat de geluidsdruk op 16 meter zal zijn bij een versterking van 100 Watt.

Voor het vermogen van de versterker geldt :

$$10\log(100/1) = 20\text{dB}$$

Voor het vermogen van de luidspreker geldt :

$$100 \text{ dB} + 20 \text{ dB} = 120 \text{ dB SPL}$$

Op een afstand van 2 meter zullen we een geluidsdruk van hebben van :

$$120 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = 114 \text{ dB SPL}$$

Op een afstand van 4 meter zullen we een geluidsdruk van hebben van :

$$114 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = 108 \text{ dB SPL}$$

Op een afstand van 8 meter zullen we een geluidsdruk van hebben van :

$$108 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = 102 \text{ dB SPL}$$

Op een afstand van 16 meter zullen we een geluidsdruk van hebben van :

$$102 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = 96 \text{ dB SPL}$$

Nu we weten dat de afstand tot de geluidsbron van groot belang is voor de meting van SPL waarden kunnen we een overzicht maken :

Straal vliegtuig met naverbranding	2000 Pa	160 dB SPL
Revolverschot ( 2 m )		145 dB SPL
Sirene ( 2 m ), vliegtuig met 4 schroefmotoren	200 Pa	140 dB SPL
Pijngrens		130 dB SPL
Rock muziek live ( 2 m )		125 dB SPL
Beluistering rock muziek in een studio ( 3 m )	20 Pa	120 dB SPL
Crescendo klassiek muziek		110 dB SPL
Zware vrachtwagen	2 Pa	100 dB SPL
Verkeerslawaaï autosnelweg ( 10 m )		90 dB SPL
Luide conversatie	0,2 Pa	80 dB SPL
Normale conversatie	0,02 Pa	60 dB SPL
Stil auditorium	0,002 Pa	40 dB SPL
Huiskamer 's nachts		35 dB SPL
Stille opnamestudio, ruisende bladeren	0,0002 Pa	20 dB SPL
Gehoorgrens	0,000 02 Pa	0 dB SPL

Er is nog een 2<sup>de</sup> manier om tot de geluidsdruk berekening te komen. Zoals je in figuur 1.14 kon zien, plant geluid afkomstig van een puntbron zich bolvormig voort. Als we voor een dergelijke bol de oppervlakte zouden berekenen hebben we volgende formule nodig :

$$\text{Opp. bol} = 4 \pi r^2 \quad \text{waarbij } r = \text{aan de straal}$$

Willen we nu de vergelijking maken tussen 2 drukverschillen ( 2 verschillende boloppervlakten ) dan krijgen we volgende formule :

$$10 \log( 4 \pi r_1^2 / 4 \pi r_2^2 ) = 10 \log( r_1^2 / r_2^2 ) \text{ of } 20 \log( r_1 / r_2 )$$

Nemen we nu terug de berekening van de geluidsdruk van de PA installatie, waarbij we een vergelijking maakten tussen de geluidsdruk op 16 en 1 meter, dan krijgen we :

$$20 \log (16/1) = 24 \text{ dB}$$

en

$$120 \text{ dB} - 24 \text{ dB} = 96 \text{ dB SPL}$$

Je ziet beide resultaten ( redeneringen ) zijn gelijk.

### 5.3. Decibel in functie van spanning

Op analoge manier kunnen we ook de verhouding tussen dB en spanning behandelen :  
Mits toepassen van de wet van Ohm krijgen we volgende formules :

$$P = E \times I \text{ en } E = I \times R \text{ of } I = E / R$$

waarbij P = vermogen in Watt, E = spanning in Volt, R = weerstand in Ohm en I = stroom in Ampere.

Onder de redenering dat :  $I = E / R$  krijgen we :  $P = E \times E / R$  of :

$$P = E^2 / R$$

Twee elektrische vermogens P1 en P2 die in hetzelfde circuit geleverd worden verhouden zich als volgt :

$$X \text{ dB} = 10\log(P1/P2) \text{ of : } 10\log[(E1^2 / R1) / (E2^2 / R2)]$$

Aangezien R1 en R2 identiek zijn krijgen we :

$$X \text{ dB} = 10\log(E1^2 / E2^2) \text{ of : } 20\log(E1 / E2)$$

Bijvoorbeeld :  $20\log(20V / 10V) = 20\log 2 = 6 \text{ dB}$

Hieruit kunnen we besluiten : **een spanningsverdubbeling of geluidsdruk verdubbeling geven ons dus een winst van 6 dB, een vermogensverdubbeling geeft een winst van 3 dB.**

Maar nu hoor ik jullie terecht opmerken : het gebruik van 10log en 20log is vrij verwarrend. Daarom heb ik volgend lijstje opgesteld. Helaas voor mensen die regelmatig gebruik willen maken van de formules zit er niet anders op dan de formules en de tabel van buiten te leren.

Parameter	10log(A1/A2)	20log(A1/A2)
Akoestiek		
Vermogen	X	
Geluidsdruk		X
Elektrisch		
Vermogen	X	
Spanning		X
Stroomsterkte		X

## 5.4. Toepassingen

Het gebruik van de “Inverse Square Law ” is uiterst handig en kan ons op een heel simpele manier geluidsdrukken e.d. meer laten berekenen.

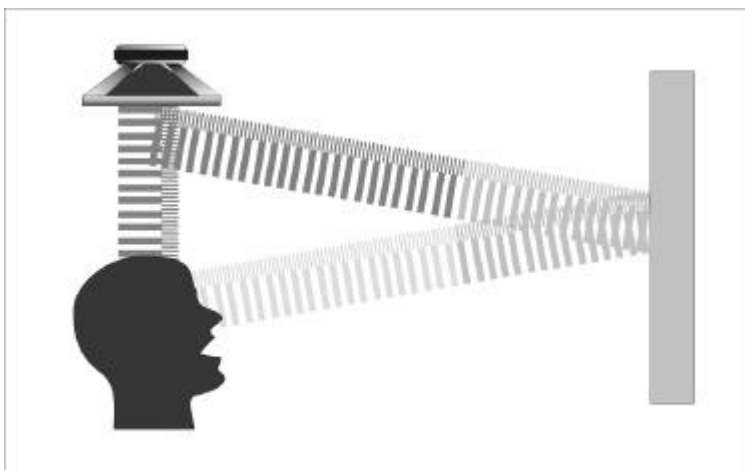
Je zal er waarschijnlijk nooit bij stil gestaan hebben, maar het frontaal ophangen of “vliegen” van luidsprekers is een rechtstreekse toepassing van deze wet. Door de luidsprekers verder ( hoger ) van de eerste toehoorders te plaatsen wordt de geluidsdruk op de eerste rijen ( over het algemeen de duurste plaatsen ) een stuk lager, dat men daardoor de verticale spreidingshoek beter kan aanwenden is een extra voordeel. Door de luidsprekers op hoogte te brengen wordt de afstand tot de eerste rijen al gauw 4 meter i.p.v. 1 meter, met een verzwakking van 12 dB als gevolg. Ten overstaan van de achterste plaatsen ( waar men over het algemeen dB's te kort komt ) blijft de afstand nagenoeg onveranderd.

Je kan deze regel ook in omgekeerde richting gebruiken : een microfoon zal een stem waarnemen aan 46 dB op 80 cm afstand, dezelfde stem op een afstand van 40 cm zal waargenomen worden aan 52 dB, en aan 58 dB op een afstand van 20 cm.

Je kan nu ook gaan berekenen hoe ver je een (over)gevoelige microfoon van zijn bron moet zetten. Bijvoorbeeld : je hebt een microfoon die maximaal een geluidsdruk van 120 dB SPL aan kan, maar je bron heeft pieken tot 132 dB op 1 meter. Dan weet je onmiddellijk dat je de microfoon op minstens 4 meter moet plaatsen. Mensen die veel captaties maken, beseffen maar al te goed hoe belangrijk dit is. Stel je moet een opname maken van een raket die naar de ruimte geschoten wordt. Is je microfoon te gevoelig voor de enorme geluidsdruk dan zal hij zeker en vast in oversturing gaan en aldus je opname ruïneren. Je kan bovendien maar moeilijk vragen of ze dat nog eens willen over doen ! De enige oplossing is de microfoon op een grotere afstand van je bron te plaatsen.

Nogmaals deze wet geldt enkel in ideale condities : bij gebruik van een niet directionele bron en zonder weerkaatsende oppervlaktes in de buurt. Dat wil evenwel niet zeggen dat je je geen voordeel van deze wet kan doen in andere omstandigheden, integendeel, maar je moet de zaak iets anders interpreteren. Als we nu de opstellingen nemen van figuren 1.10 en 1.11 van vorige maand, dan zal de geluidsdruk van de weerkaatste oppervlakten bij de rechtstreekse opgeteld ( of afgetrokken indien niet in fase ) worden. Hoe dicht je een microfoon bij de bron, en verder van een reflecterend vlak brengt, hoe minder last je zal hebben van de reflecties. Deze toepassing zien we heel dikwijls bij de meeste video-opnames. Je zal je zeker al afgevraagd hebben waarom de meeste klankmannen een microfoon op een lange stok ( “boom” “fishpole” of “perche” in het schoon Vlaams ) gebruiken i.p.v. de microfoon gewoon bovenop de camera te plaatsen. Wel het antwoord is simpel : men brengt de microfoon dicht bij de bron om minder hinder te hebben van de nefaste gevolgen van de ruimte. Als stelregel geldt : breng de microfoon 3 x dicht bij de bron dan het dichtst bijgelegen reflecterend vlak.



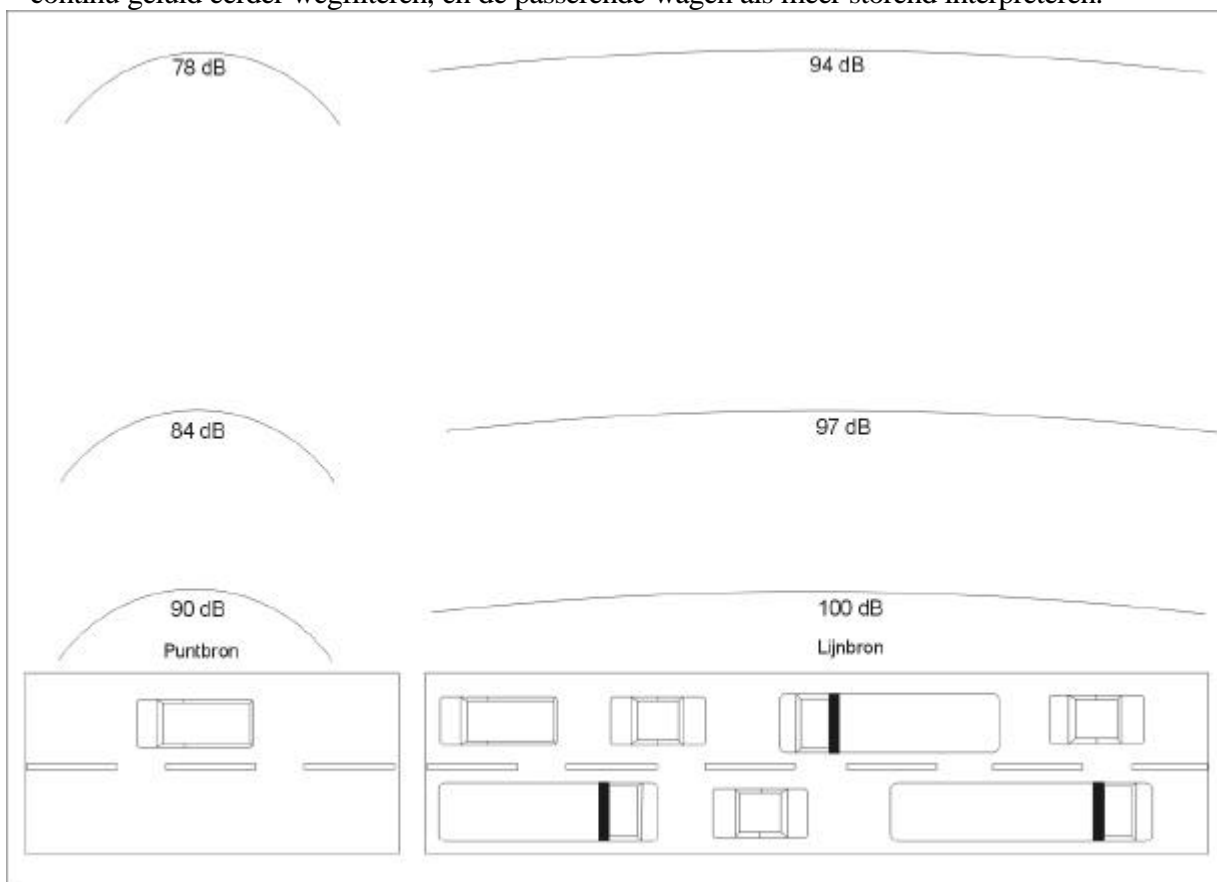


Figuur 1.18 : brengen we de bron dichterbij de luisteraar dan zal de beïnvloeding veel kleiner zijn

Ook ten over staande van je monitorluidsprekers kan je deze wet perfect toepassen : leg je “Nearfield” monitors boven op je mengtafel zodat ze minstens 3 x dichterbij je oren staan ten overstaande van de eerste reflecterende wand. Nemen we ons voorbeeld van tekening 1.11, en we brengen de luidspreker dichterbij de bron en verder van de muur, dan krijgen we de oplossing die je in tekening 1.18. kan zien.

Op het gebied van de interpretatie van de bron moet je ook goed opletten. Neem nu bijvoorbeeld een autosnelweg met voortdurend doorgaand verkeer en vergelijk die met een gewone baan waar af en toe een wagen passeert. De wagen op de baan zal zich gedragen als een puntbron, maar het lawaai van de autosnelweg zal zich eerder gedragen als een lijnbron, met als gevolg dat de halvering slechts 3 dB afneemt !

In figuur 1.19 zie je duidelijk de verschillen. Onze oren ( hersenen ) zullen evenwel het continu geluid eerder wegfilteren, en de passerende wagen als meer storend interpreteren.



Figuur 1.19 : bij een puntbron is de halvering 6 dB, bij een lijnbron is de halvering 3 dB

Mooi al die theorie, maar hoe nemen wij die verschillen waar ? Daarvoor heb ik op de website van Meet Music ( [www.meetmusic.com](http://www.meetmusic.com) ) 3 geluidsfragmenten laten plaatsen waarbij het niveau van een ruisgenerator in verschillende stappen afneemt. In het 1<sup>ste</sup> fragment heeft de ruis een afname van 3 dB. Aangezien we hier spreken over vermogen staat de -3 dB stap gelijk aan een halvering van het geluid. In het 2<sup>de</sup> fragment hoor je stappen van 1 dB. Dit is net de grens van het waarneembare. In het 3<sup>de</sup> fragment gebruiken we stappen van 0,3 dB. Het is maar na verloop van tijd dat je echt beseft dat het niveau afneemt.

Tot zo ver mijn bijdrage van deze maand. Ik weet het : de materie was dit keer niet echt simpel, maar toch uiterst belangrijk voor diegenen die zich willen verdiepen in de wonderlijke wereld van geluid. Tot volgende maand.

### \* **Alexander Graham Bell (1847-1922)**

Alexander Graham Bell werd geboren in Edinburgh. Hij volgde les aan de universiteiten van Edingburgh en London.

In 1871 emigreerde hij naar de Verenigde Staten. Daar stichtte hij in 1872 een school voor doofstommen en voor wie hij een nieuwe taal ontwikkelde. Hij ontwikkelde hiervoor een systeem dat hij samen met zijn vader ontwikkeld had : lippen, tong en keel werden gebruikt voor de articulatie van geluid. Later werd deze school opgenomen als deel van de universiteit van Boston, waar Bell zelf hoogleraar werd.

Op zijn achttiende hield hij zich reeds bezig met het onderzoek naar het overbrengen van klanken, om uiteindelijk op 10 maart 1876 samen met zijn assistent Thomas Watson, door een samenloop van toevallige omstandigheden, voor het eerst succesvol een zin door te telefoneren.

Andere uitvindingen van Bell zijn de fotofoon, een toestel dat klanken overbrengt d.m.v. lichtstralen, de audiometer, om de intensiteit van het gehoor te meten, en een opnamecilinder die de voorloper was van de grammofoon.

Vanaf 1895 hield Bell zich meer en meer bezig met de luchtvaart. In 1907 maakte hij een vlieger die één persoon kon dragen. Nog meer luchtvaartuitvindingen : het rolroer, een bewegend onderdeel van een vliegtuigvleugel, en het driewielig landingsgestel.

Zijn hele leven bleef hij echter de oorzaken en de erfelijkheid van doofheid onderzoeken. Hij schonk zijn naam aan de eenheid voor geluidsintensiteit, de decibel (dB).

Voor het opstellen van de teksten werden o.a. volgende publicaties geraadpleegd :

‘Acoustics’ van Leo L. Beranek

‘Acoustics’ van Percy L. Marks

‘Acoustics & psychoacoustics’ van David M. Howard & James Angus

‘Acoustics & the performance of music’ van Jürgen Meyer

‘Producing great sound for digital video’ van Jay Rose

‘Professionele audiotechnieken’ van Chris Wolters van der Wey

‘The master handbook of acoustics’ van F. Alton Everest

‘The new stereo soundbook’ van Ron Streicher & F. Alton Everest

‘The sound studio’ van Alec Nisbett