

Theoriebundel Geluid

Milieu-onderzoek & Inspectie

Inhoud

1. Geluid en geluidsmetingen	3
1.1 Het verschijnsel geluid.....	3
1.2 Basis voor geluidsnormen	10
1.3 Geluidsbronnen	13
1.4 Geluidsmeting en -meters	15

auteur: Piet de Jongh
bewerking: Wiet van Bragt
versie: november 2018

1. Geluid en geluidsmetingen

Oriëntatie

Geluid en vooral geluidsoverlast is een van de vele milieu-onderwerpen van de laatste jaren geworden. Je kunt in ons land eigenlijk geen plek opnoemen waar je geen geluiden van de moderne tijd kunt horen. Stilte is een waardevol en zeldzaam goed geworden. Geluid is een verschijnsel dat je natuurkundig kunt beschrijven maar dat ook een belangrijke emotionele kant heeft. Een lawaaierige brommer zal bijvoorbeeld in een overvolle stad anders op mensen overkomen dan op een zandpad op de heide.

In dit hoofdstuk maak je kennis met allerlei aspecten van geluid. Alles over dit ingewikkelde onderwerp kunnen we je niet aanbieden. Het meten van geluiden in fabriekshallen is bijvoorbeeld iets wat een grote kennis en veel bijzondere apparatuur vereist. Wat wel mogelijk moet zijn is dat je metingen kunt verrichten aan bijvoorbeeld je walkman, een knalpijp van een brommer en een daverend stuk vuurwerk. Ook krijg je informatie over wat nog acceptabele geluidswaarden zijn en waar voor je gehoor de problemen beginnen. Veel leerplezier met deze interessante stof.



Figuur 1.1 Geluid is een van de vele milieu-items

1.1 Het verschijnsel geluid

Geluid ontstaat wanneer een geluidsbron de lucht om ons heen in trilling brengt, zodat geluidsgolven ontstaan. Deze geluidsgolven bestaan uit kleine luchttrillingen; drukverschillen in de lucht net als rimpels op het water.

Geluid wordt bepaald door de toonhoogte en de sterkte. Het menselijk gehoor is slechts in staat een beperkt toonhoogtebereik te horen. Hoge tonen als die uit een hondenfluit of de geluiden van walvissen en vleermuizen nemen we niet waar en noemen we ultra-sonoor, buiten het gehoor. Ook lage tonen als het brommen of zoemen van sommige luidsprekers vallen niet in ons hoorbare gebied.

Geluid bestaat uit trillingen in de lucht. Leg je hand maar eens op een (lage tonen) luidspreker, dan kun je dat goed voelen. De luchtdruk verandert onder invloed van een bron ter plekke (in dit geval de luidspreker) een heel klein beetje. Hoge en lage druk, vergeleken met de normale luchtdruk, wisselen elkaar af. Deze luchtdrukverandering wordt via golfbewegingen doorgegeven. Door deze golfbewegingen, geluidsgolven genoemd, verplaatst het geluid zich van de bron naar de luisteraar (waarnemer).



Figuur 1.2 Van Emissie via Transmissie naar Immissie

Geluidparameters

Om geluid meetbaar te maken moeten we het in een paar natuurkundige begrippen zien te “vangen”. Iedereen kan geluiden onderscheiden naar toonhoogte en sterkte. Wat deze begrippen precies inhouden en hoe je ze kunt meten, leren we nu.

Toonhoogte of frequentie

Het aantal luchttrillingen dat per seconde ons oor bereikt bepaalt de toonhoogte of frequentie van een geluid. Hoe sneller de trillingen elkaar opvolgen des te hoger is de toon die we horen. Het aantal trillingen per seconde wordt uitgedrukt in Hertz (Hz).

Het aantal trillingen (geluidsdrukveranderingen per seconde) kan behoorlijk variëren. Dit heeft niets te maken met de voortplantingssnelheid, maar met de eigenschappen van de bron: hoe vaak de druk verandert. Dit wordt in formules weergegeven met het symbool f en wordt gemeten in Hertz (Hz). De frequentie heeft te maken met de toonhoogte. Lage geluiden (bass) hebben een lage frequentie (bijvoorbeeld 30-60 Hz), en hoge geluiden (treble) een hoge frequentie (bijvoorbeeld 2000 Hz).

Geluid is waarneembaar voor het menselijk oor tussen 20 en 20.000 Hertz.

We spreken dan van geluidstrillingen of gewoon geluid. Het gebied tussen 20 en 20.000 Hertz noemen we ook wel het audiogebied. Geluid tussen 0 en 20 Hertz noemen we infrageluid en is voor de meeste mensen niet waarneembaar. Als infrageluid zeer luid is dan is het voor de mens wel waarneembaar; je ervaart het dan als een trilling.

Ultrasoongeluid, geluid boven 20.000 Hertz, is voor het menselijk oor onhoorbaar.

Golflengte

Elke trilling bestaat uit een luchtdrukminimum en een -maximum. De afstand tussen twee minima of maxima noemen we de golflengte van het geluid. Hoe kleiner de golflengte is, des te meer er per seconde een waarnemer kunnen bereiken. Elke golflengte stelt precies één trilling voor zodat uit de omschrijving van het begrip frequentie af te leiden is dat de toonhoogte bij afname van de golflengte zal stijgen. Geluid kan dus worden beschreven als een golf, die zich met bepaalde snelheid voortbeweegt. Als de bron een hoog frequent geluid veroorzaakt, zijn deze golven kort (en snel) en als de bron een laag frequent geluid voortbrengt, zijn deze golven lang (en langzaam). Er is dus samenhang tussen de frequentie en de golflengte.

Geluidssnelheid

Geluid plant zich met een bepaalde snelheid voort. Dit is goed te zien bij bijvoorbeeld een heibloek. Als deze op een bepaalde afstand staat, zie je eerst het heibloek vallen en enige tellen later hoor je het ook. De golfbeweging van het geluid verplaatst zich met een bepaalde snelheid, de geluidssnelheid genoemd. Deze wordt in formules weergegeven met het symbool c en wordt gemeten in m/sec. De voortplantingssnelheid van geluid is uiteraard afhankelijk van het medium (bijvoorbeeld lucht) maar zeker ook van temperatuur en (bij gassen) van de druk.

In lucht (bij 1 atmosfeer en bij 20°C) is deze snelheid 343 m/sec. In dit modulboek zullen wij altijd werken met deze geluidssnelheid.

In formule

Is nu f de frequentie in Hertz, c de geluidssnelheid in meters per seconde en λ de golflengte in meters dan geldt: $c = f \times \lambda$

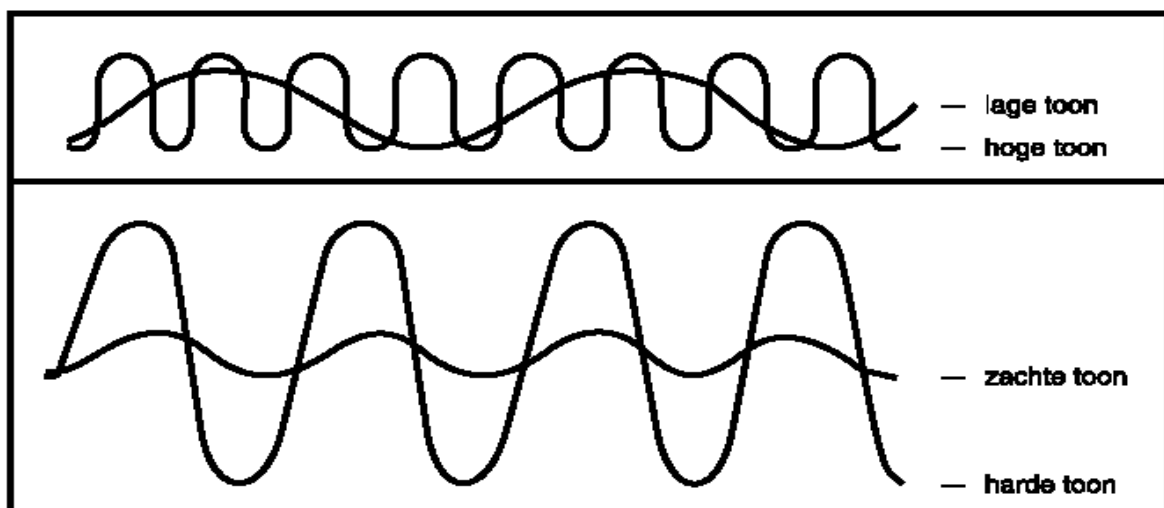
De golflengte bij 20 Hz is: $\frac{343}{20} = 17 \text{ m}$ en bij 20.000 Hz $\frac{343}{20.000} = 17 \text{ mm}$

Geluidssterkte

Het zwakste geluid dat een mens kan waarnemen komt overeen met het 500.000.000^{ste} deel (vijf-honderd-miljoenste) van de buitenluchtdruk. Gemiddeld is de atmosferische druk 10.000 Pascal (Pa), zodat het laagst waarneembare drukverschil voor een mens 1/50.000 Pa wordt. Zo'n schaal is echter nauwelijks hanteerbaar. Om een werkbare eenheid te krijgen is de decibel ingevoerd (dB). Deze schaal heeft 1/50.000 Pa als beginpunt, dit noemt men de referentiedruk.

Nul decibel (0 dB) komt overeen met het zwakste geluid dat een mens bij 1000 Hz kan horen. Wordt de geluidsdruk 10 maal hoger, dan wordt de dB-schaal 20 dB hoger. De op deze wijze samengestelde verhouding tussen geluidsdruk en decibel is geen lineaire, maar een logaritmische.

Een geluidsverschil van 1 dB is voor het gehoor nog net waarneembaar. Wanneer het niveau 10 dB hoger is, hoor je dit als een verdubbeling van de geluidssterkte.

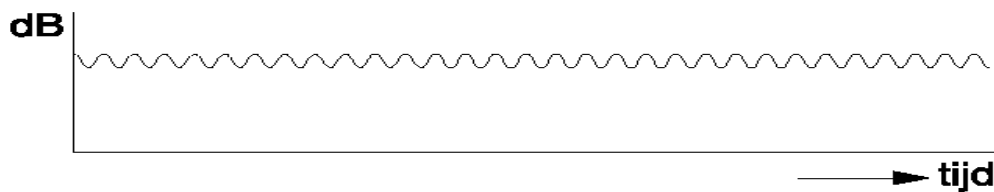


Figuur 1.3 Frequentie en amplitude corresponderen met toonhoogte en geluidssterkte

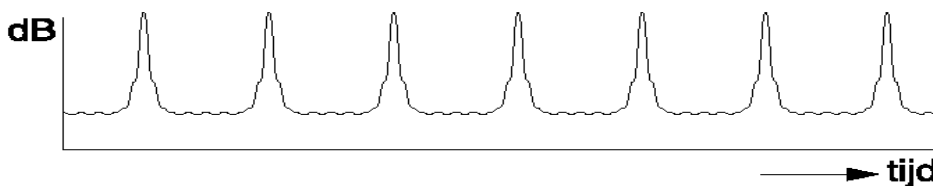
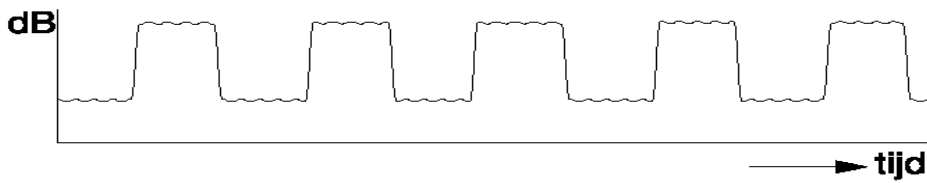
Geluidskarakter

Een zuivere toon is een geluid met maar één frequentie. In de praktijk zijn geluiden bijna altijd samengesteld uit meerdere tonen, welk mengsel wij als één geluid ervaren. Een zuivere toon is te herkennen aan een eenvoudige golf, die zich na enige tijd herhaalt. Ook gemengde tonen herhalen zich (als de samengestelde golf niet uit teveel tonen bestaat). Een dergelijke, zichzelf herhalende geluidsgolf, noemen we een periodieke geluidsgolf of periodiek geluid. De golflengte van deze geluidsgolf is de afstand tussen twee dezelfde punten van zo'n periodieke golf.

Er is aan geluiden nog meer te ontdekken dan alleen hoe hard of hoe hoog ze klinken. Als je geluiden gedurende een bepaalde tijd meet en in een grafiek vastlegt, zie je dat ze nogal van karakter kunnen veranderen. Hieronder vind je vier grafieken van geluiden zoals die in de praktijk vaak voorkomen.



Figuur 1.4 Continu geluid



Figuur 1.5 Fluctuerend, intermitterend en impuls geluid

Het geluidsspectrum

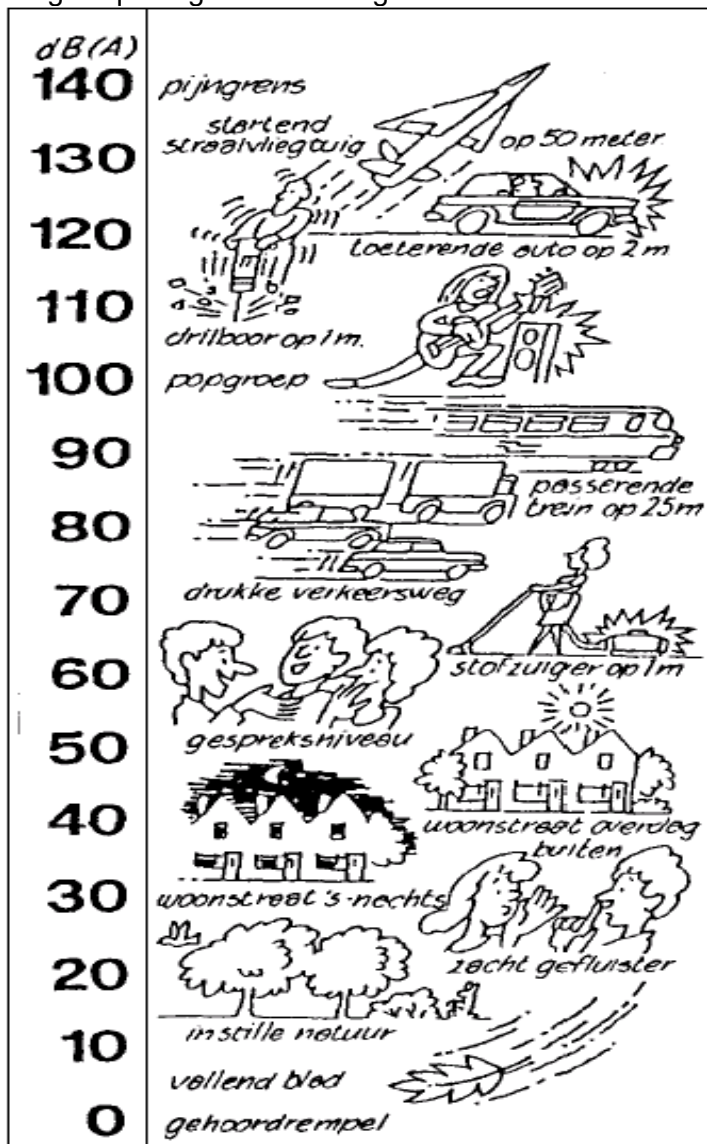
Waargenomen geluid is bijna altijd opgebouwd uit een groot aantal frequenties. De sterkte van het geluid kan daarbij variëren per frequentie. Het kan soms noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld voor het nemen van geluidsreducerende maatregelen, het sterkteverloop van geluid over een bepaald frequentiegebied te kennen. Hiertoe kun je een frequentiegebied tussen bijvoorbeeld 50 Hz en 10.000 Hz verkennen en verdelen in acht frequentiebanden of octaafbanden; combinaties van bij elkaar liggende frequenties. De breedte van het frequentiebereik waarin we waarnemen of waarover een geluid zich uitstrekt, wordt het geluidsspectrum genoemd.

Als je in een fabriek de geluidssterkten van bijvoorbeeld een lopende band, een ventilator en een zaag gaat meten, doe je dit altijd per frequentieband. Alle bronnen worden zo doorgemeten waarna een computer de optelling van de niveaus verzorgt. Je krijgt dan een overzicht van alle geluiden in de bedrijfshal, keurig uitgesplitst naar frequentiegebieden. Hierop kun je dan de beste methode van geluidsbestrijding afstemmen. Wil het totale lawaai weten, dan kun je ook alle frequentiebanden weer bij elkaar optellen.

Ons gehoor

Om gevaar of hinder van geluid te kunnen aangeven is het doelmatig dit met één getal te doen.

Ons gehoor is het meest gevoelig in het spraakgebied dat loopt van 250 Hz tot 5000 Hz. Voor frequenties beneden en boven dit gebied is het oor minder gevoelig. Het is mogelijk in een geluidsmeter een filter te bouwen dat de gevoeligheid van het oor nabootst door laag en hoog frequent geluid minder goed door te laten.



Figuur 1.6 Geluidssterkte in onze omgeving

Tegenwoordig wordt hiervoor vrijwel altijd een filter met een gestandaardiseerde "A-karakteristiek" gebruikt. Het met behulp van dit filter gemeten geluidsniveau wordt

aangegeven met dB(A), wat ongeveer overeenkomt met de sterkte-indruk die de mens van het gemeten geluid krijgt.

Het rekenen met dB's of dB(A)'s geeft enkele bijzondere problemen. Doordat het logaritmische waarden zijn, kunnen zij niet op de gebruikelijke wijze worden opgesteld of afgetrokken. In de bijgaande figuur is een nomogram opgenomen, waarmee geluidsniveaus kunnen worden omgerekend. Wanneer het verschil tussen twee niveaus groter is dan 10 dB, is de laagste waarde te verwaarlozen

Antigeluid

Het samenstellen van verschillende tonen tot één geluid kan op verschillende manieren. Wanneer twee identieke geluidsgolven op ieder moment een gelijkgerichte tegenfase even grote trillingsuitslag hebben dan zijn deze twee golven in fase. In tegenfase betekent even groot en tegengesteld gerichte geluidsdrukschommeling. Dit wordt vaak antigeluid genoemd. Van deze tegenfase wordt tegenwoordig gebruik gemaakt bij de lawaaibestrijding, omdat twee dergelijke geluidsgolven elkaar voor een groot deel opheffen. Deze vorm van geluidssanering is nog in het experimentele stadium.

Samenvoegen van geluidsniveaus

In sommige gevallen is het nodig geluidsniveaus te combineren, bijvoorbeeld voor het voorspellen van de invloed die een lawaaiërende machine in een fabriekshal zal veroorzaken als het geluidsniveau er reeds vrij hoog is. Hier mag je het aantal decibel in geen geval optellen. De gebruikelijke methode voor het optellen van energieën moet je je als volgt voorstellen.

Je rekent het aantal decibel om naar vermogens (Watt) en telt deze op of trekt ze af, naargelang de situatie dit vereist. Hierna bereken je pas het totale geluidsniveau. Uitgaande van deze methode vind je gemakkelijk dat een geluidsniveau van 80 dB, gecombineerd met een zelfde niveau van 80 dB, als resultaat 83 dB en niet 160 dB geeft. Je kunt al snel inzien dat geluiden optellen een niet zo simpele zaak is. Denk maar eens aan een verkeersweg waarbij een viertal voertuigen elkaar passeert. Als ze allemaal 70 dB zouden produceren en je zou dit op de gebruikelijke manier optellen, gaf dit een lawaai dat je aan de andere kant van de aarde zou kunnen horen!

Omdat het omrekenen tijdrovend is, bestaat er een eenvoudige methode om geluidsdrukniveaus van verschillende bronnen samen te tellen. Dit wordt duidelijk uit het volgende.

Als van twee machines de geluidsniveaus zijn gemeten, en je wilt weten wat dit niveau zal zijn wanneer zij beide gelijktijdig werken, dan moet je de geluidsniveaus optellen. We gebruiken voor een juiste optelling de grafiek in figuur 3.8 en gaan als volgt te werk:

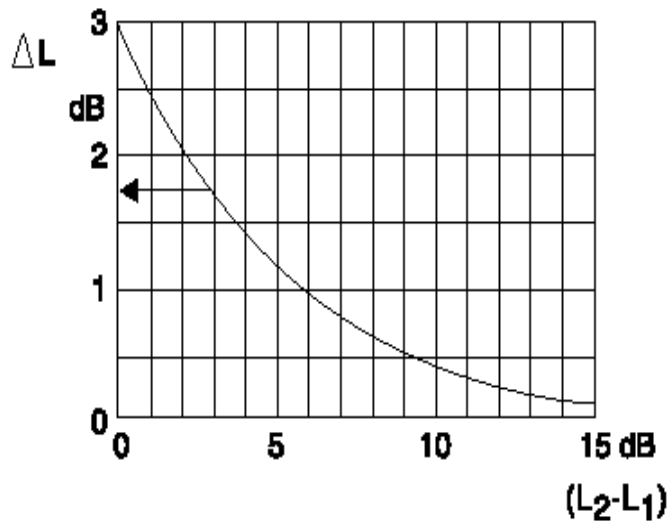
1. je meet de geluidsniveaus van machine 1 en 2, respectievelijk L_1 en L_2
2. men bepaalt het verschil tussen niveaus, L_2 en L_1
3. je neemt dit verschil op de horizontale as en je gaat vandaar naar boven tot de curve wordt gesneden en vandaar naar links tot bij de verticale as.
4. de waarde L die op de verticale as wordt afgelezen, moet bij het niveau van de machine met het hoogste niveau worden opgeteld. Dit totaal is de som van de geluidsniveaus van de twee machines.

Voorbeeld:

1. Machine 1 : $L_1 = 82$ dB
Machine 2 : $L_2 = 85$ dB
2. Verschil = 3 dB

3. Correctie: 1,7 dB
4. Totaal niveau: $85 + 1,7 = 86,7$ dB

Voor het berekenen van geluidsniveaus uit verschillende bronnen kun je deze optelling telkens herhalen.



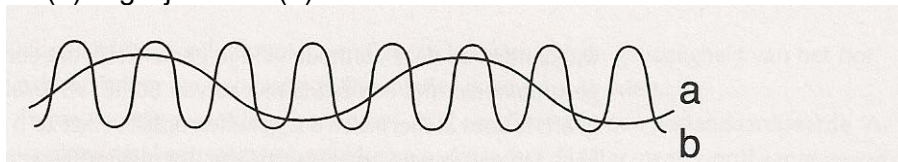
Figuur 1.7 Correctiecurve voor het optellen van twee verschillende geluidsniveaus

Vragen 1.1

a. De grafiek van figuur 1.7 biedt je de mogelijkheid om geluidsterkten bij elkaar op te tellen. Bereken de totale geluidsterkte indien een bron van 62 en één van 66 dB bij elkaar worden gebracht.

b. Kijk eens naar de onderstaande figuur 1.8. Als je weet dat T (a) de toonhoogte van lijn a is en T (b) de toonhoogte van lijn b is, welke conclusie is dan de juiste:

- T (a) is hoger dan T (b)
- T (b) is hoger dan T (a)
- T (a) is gelijk aan T (b)



Figuur 1.8 Twee golven op elkaar geprojecteerd.

c. In dierenwinkels zijn zogenaamde hondenfluitjes te koop. Mensen horen het geluid van deze fluitjes niet en honden wel. Leg uit hoe dat komt en benoem het soort geluid.

d. Als het onweert, kun je aan de hand van de tijd, die verloopt tussen bliksem (lichtsnelheid) en donderslag (geluidssnelheid) berekenen, hoe ver weg het onweer zich afspeelt.

Bereken de afstand van een onweer waarvan de donder er 6 seconden over doet om na de bliksem jou te bereiken. Waarom speelt de snelheid van de bliksem geen rol van betekenis?

e. Je hebt geleerd dat het niet zo eenvoudig is om met decibellen te rekenen. Een tweemaal zo sterke bron geeft bijvoorbeeld niet tweemaal zo veel decibellen af. Leg eens uit waarom bij het optellen van twee bronnen van 60 dB en 40dB de laagste waarde verwaarloosd mag worden.

f. We hebben in de figuren 1.4 en 1.5 gezien dat geluid verschillende karakters kan hebben. Geef van elk van de getekende grafieken een voorbeeld uit de praktijk.

1.2 Basis voor geluidsnormen

Je weet nu wat geluid is en hoe je geluidsniveaus kunt uitdrukken. Je kunt geluidsbronnen optellen en van elkaar aftrekken. Daarmee ben je al een heel eind gevorderd in de akoestiek! Maar je bent er nog niet helemaal. Want voor je geluid kunt saneren, moet je weten welke normen je moet aanhouden en voor je normen kunt hanteren moet je nog enkele moeilijkheden overwinnen. Want niet alleen het totale geluidsniveau is belangrijk, maar ook of het een laag of hoog geluid betreft. Zo vindt de één de lage geluiden die bij house horen verschrikkelijk en een ander vindt ze geweldig. Met de frequentie van het geluid moeten we dus rekening houden. Bovendien is ook de tijd waarop het geluid te horen is van belang. Als je kunt meegenieten van de muziek van je buurman midden op de dag, is dat wellicht nog te verdragen, maar midden in de nacht wordt dat anders. Daarom gaan we in deze paragraaf eerst in op de verdeling van het geluid over de frequenties en later op de verdeling van het geluid over de tijd.

Luidheid

Het menselijk oor is niet voor elke frequentie even gevoelig. Voor de hogere frequenties, 1000 tot 4000 Hz, is het oor veel gevoeliger dan voor de lagere frequenties. De hogere geluiden worden door je oor veel beter waargenomen. Om geluiden van verschillende frequenties toch vergelijkbaar te maken, wordt wel gewerkt met het begrip luidheid. Een geluidsdruk niveau van 70 dB van een toon van 1000 Hz heeft een even grote luidheid als een toon van 50 Hz van 85 dB(A). De luidheid geven we weer met de eenheid foon en is afhankelijk van waarneming, dus subjectief. Lijnen van gelijke luidheid noem je isofoonlijnen en deze worden uitgedrukt in dB. Je ziet ze in figuur 1.9. We zien dat bij 1000 Hz de luidheid in foon gelijk is met het geluidsdruk niveau in dB.

A-weging

Een geluidsmeter is voor elke frequentie even gevoelig. Een geluid van een bepaalde sterkte geeft bij elke frequentie een zelfde signaal. Je spreekt van dB(lin) of kortweg dB. Wil je echter de oorgevoeligheid meewegen, dan moet je bij de geluidsmeter een filter voorschakelen met dezelfde gevoeligheid als het oor. Wanneer je het geluid meet met een dergelijk voorgeschakeld filter spreek je van het A-gewogen geluidsniveau. Dit druk je uit in dB(A). Door de A-weging worden uitkomsten van de geluidsmeter ook bij verschillende frequenties vergelijkbaar voor wat betreft de hoorbaarheid, net zoals we bij de eenheid foon zagen. In de praktijk blijkt dat de A-weging overeenkomt met de isofoonlijn van 40 foon.

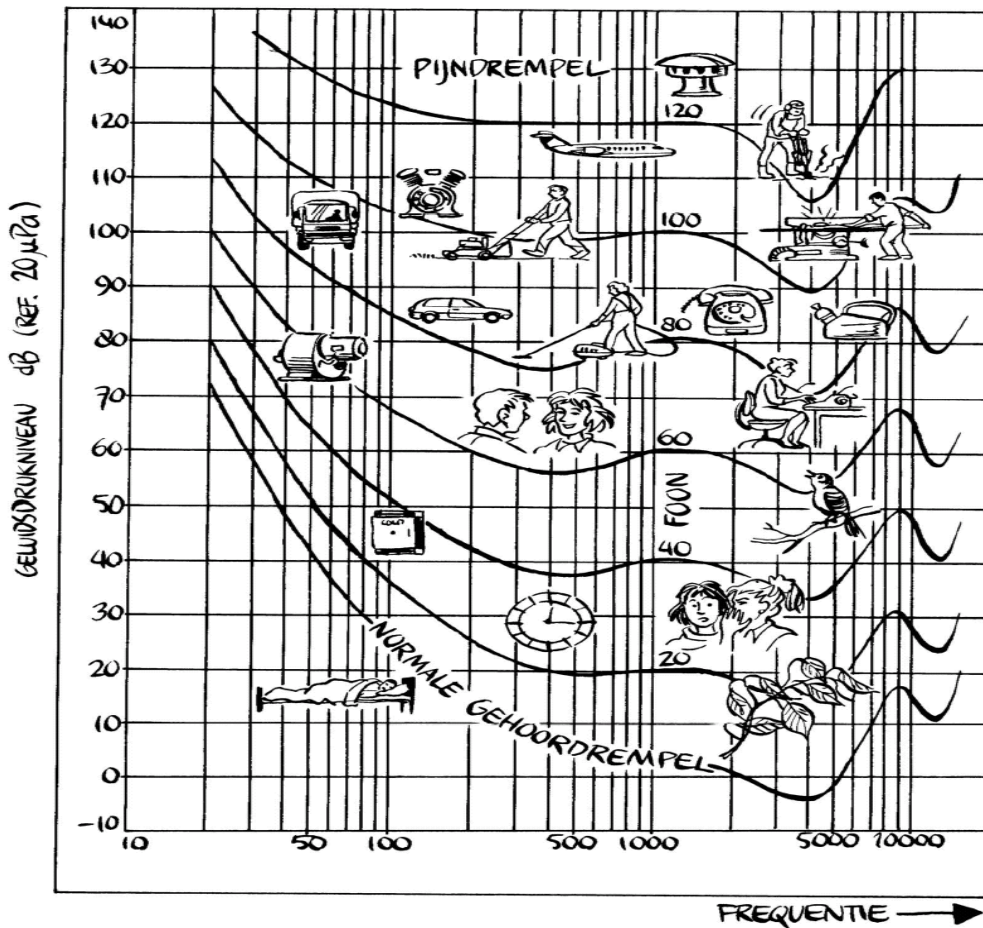


Fig. 1.9 Geluidsdrumniveaus van gelijke luidheid als functie van de frequentie.

Octaafbanden

We zagen net al dat niet alleen de geluidsdruk, uitgedrukt in dB(A), belangrijk is, maar blijkbaar ook de frequentie van het geluid. Bij geluidsmetingen wordt daarom bijna altijd de verdeling van het geluid over de verschillende frequenties gemeten. Het hoorbare geluid wordt daarbij opgedeeld in 10 octaafbanden en, per octaafband, 3 tertsbanden. De middenfrequentie van elke octaafband is het dubbele van de middenfrequentie van de voorgaande octaafband, terwijl de bovenfrequentie van elke octaafband het dubbele is van de onderfrequentie van die octaafband. De octaafbanden worden weergegeven met hun middenfrequentie, 'nominale frequentie', bijvoorbeeld de 500 Hz octaafband loopt van 355 Hz tot 708 Hz. In figuur 1.10 staan de octaafbanden op een rijtje.

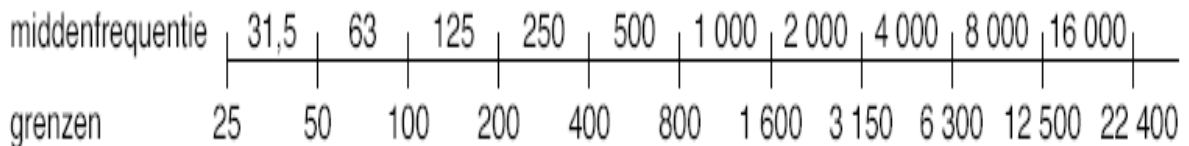


Fig. 1.10 Octaafbanden.

Equivalent geluidsniveau

Het geluidsdrukkniveau dat een bepaalde bron veroorzaakt, zal in het algemeen niet steeds hetzelfde blijven. De uitkomst van een meting aan een bron is dus afhankelijk van het tijdstip waarop je meet. Om de invloed daarvan te beperken worden de geluidsdrukken over een bepaalde tijd gemiddeld. De logaritme uit dit tijdgemiddelde equivalente wordt het equivalente geluidsdrukkniveau genoemd en wordt met L_{eq} aangeduid. geluidsdrukkniveau

Naast de L_{eq} -waarde werken we in de praktijk ook vaak met de L_{95} -waarde, de L_5 waarde en de L_{max} -waarde.

De L_{95} -waarde is die waarde van het geluidsniveau die gedurende het grootste deel (95%) van de tijd wordt overschreden. Dit is dus een heel lage waarde. De L_{95} -waarde wordt gebruikt om het niveau van het achtergrondgeluid te bepalen. De L_5 -waarde is die waarde van het geluidsniveau die 5% van de waarnemingstijd werd overschreden. Dit zijn hoge waarden en daarom wordt dit geluid vaak aangeduid piekgeluid met piekgeluid. L_{max} geldt voor zeer kortstondige hoge geluidsniveaus bij de ontvanger, bijvoorbeeld impulsvormig industriegeluid.

In figuur 1.11 is van een willekeurig geluidssignaal van 1 minuut de L_{Aeq} , L_{95} en de L_5 waarde aangegeven. De letter A geeft aan dat de meting A-gewogen heeft plaats gevonden.

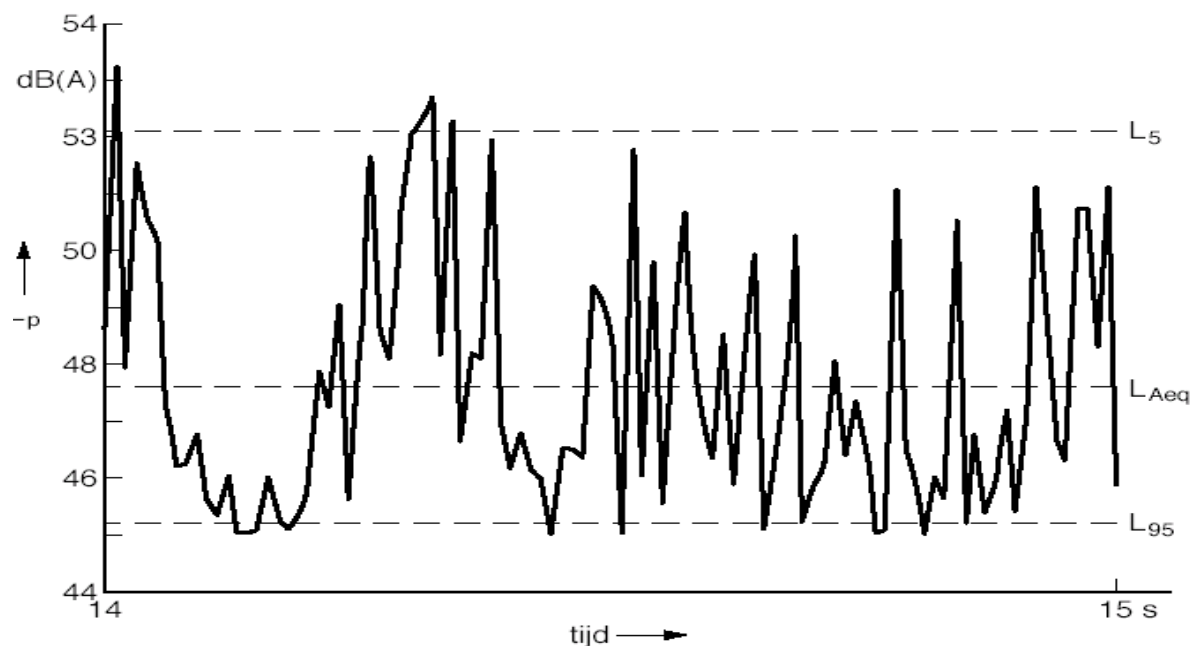


Fig 1.11 L_{Aeq} , L_5 en L_{95}

Vragen 1.2

- Hoeveel decibels geeft figuur 1.9 aan voor de 40 foon lijn bij 1000Hz? Hoeveel decibel geeft deze lijn aan bij 400 Hz? Welke frequentie hoor je het best?
- Leg uit dat je voor de L_{95} waarde kunt zeggen dat dit het achtergrond geluidsniveau is.
- Leg uit dat de L_5 waarde niet gelijk is aan de maximale geluidspiek.

1.3 Geluidsbronnen

Bij geluidsbelasting vanuit verschillende bronnen spelen allerlei factoren een rol. Over de objectieve factoren gaan we het in deze paragraaf hebben, maar even zo belangrijk spelen subjectieve aspecten een rol. Voor veel mensen maakt het bijvoorbeeld niet zoveel uit dat er geluid wordt geproduceerd, maar vooral wie dit doet. Komt geluid van een gehate buurman dan klinkt dit waarschijnlijk veel anders dan dat een kind op haar kamer hetzelfde volume voortbrengt. Je begrijpt wel dat het in ons lespakket onmogelijk is om deze afweging in de geluidsbelasting mee te nemen. De politie als handhaver wordt er echter vaak mee geconfronteerd.

We kunnen zowel interne en externe geluidsbronnen onderscheiden. Bij interne bronnen gaat het om het binnenmilieu (woonkamer, bedrijfsruimte), onder extern verstaan we bronnen die geluid produceren naar het buitenmilieu, de omgeving.

Externe bronnen

De belangrijkste externe bronnen zijn wegverkeer, luchtvaart, railverkeer en industrie.

bron	max. toelaatbare waarde	saneringswaarde	wettelijke voorkeurswaarde
wegverkeer (stad)	65-75 dB	60 dB	55dB
wegverkeer (autoweg)	58-63 dB	58	53dB
railverkeer	73 dB	65 dB	60 dB
luchtvaart	65 KE	55 KE	50 KE
industrie	55-65	55	50 dB

Figuur 1.12 Wettelijke grenswaarden voor externe bronnen

Weg- en railverkeer

Zoals in allerlei andere vormen van geluidbelasting spelen objectieve en subjectieve aspecten van het geluid een rol. Naast de frequentie en de intensiteit is ook de aard en de herkomst een belangrijk gegeven bij de beoordeling van de eventuele overlast. Het blijkt dat treinen en trams minder hinder opleveren dan wegverkeer. De mate van deze hinder hangt af van een aantal factoren:

Bij het wegverkeer is bijvoorbeeld de hoeveelheid geluid gekoppeld aan factoren die te maken hebben met:

- de snelheid van het verkeer (toerental van de motor, wrijving van banden, tegenwind,)
- de handelingen van het verkeer (remmen, optrekken, rijden over hobbelige wegen, verkeersdrempels)
- de hoeveelheid aan het verkeer deelnemende voertuigen (veel auto's, vrachtverkeer, bussen)
- de invloed van de weg (klinkers, beton, asfalt of ZOAB, nat of droog)
- de lokale situatie van de weg (straatbreedte, hoogte van gebouwen, hoogte van de weg)

Bij het railverkeer gelden de factoren:

- ruwheden op het loopvlak van de wielen en de rails
- de uitzettingsvoegen tussen de rails
- piepgeluiden die ontstaan in bochten door wrijving van de wielen tegen de rails

Industrie

Industrielawaai naar buiten is afkomstig van verschillende bronnen zoals machines, ventilatoren en transport. De mate waarin dit geluid naar buiten doordringt, wordt bepaald door de constructie van gebouwen en de frequentie waarmee deuren opengaan. De geluidsemisatie van een bedrijf heeft een heel eigen karakter. Typerend daarvoor zijn onder meer de volgende factoren.

- Er is een grote verscheidenheid van bedrijven en van bewerkingen in en rond fabrieken. Dit brengt een grote spreiding van optredende geluidsvermogens met zich mee
- Het karakter van het uitgezonden geluid kan variëren van vrijwel constant in de tijd tot sterk fluctuerend.
- Voor het bepalen van de geluidsemissies van bedrijven is het noodzakelijk onderscheid te maken tussen bewerkingen binnen en buiten de fabriekshal.

In het geval van bronnen in het bedrijf spelen begrippen als isolatie en demping een belangrijke rol; voor bronnen buiten het bedrijf zijn naast genoemde factoren, ook tijdstippen en aanrijroutes (transport) zeer bepalend.

Op industrieterreinen worden bepaalde zones aangegeven en soms speciaal ingericht waar sterk geluidemitterende bedrijven geconcentreerd worden. Er bestaat zo een mogelijkheid de geluidsoverlast met gerichte maatregelen te beperken of te reguleren.

Luchtvaart

Vliegtuiglawaai wordt vooral gemeten in Kosten-Eenheden (KE). Met K.E.'s wordt de relatie tussen het vliegtuiggeluid en de door de mens ervaren hinder weergegeven. 35 KE is vergelijkbaar met 65 dB(A).

Geluiden uit de lucht zijn enorm indringend. Grote straalvliegtuigen en straaljagers benaderen soms de pijngrens van 140 dB(A). Jaarlijks ondervinden dagelijks bijna 1 miljoen mensen hinder van de luchtvaart. Niet alleen grote vliegtuigen, maar ook kleine zoals lesvliegtuigjes en U.L.V.'s (ultra-light-vliegtuigen) zorgen ervoor dat de luchtvaart bij de geluidsproducenten hoort, die als het meest hinderlijk worden ervaren.

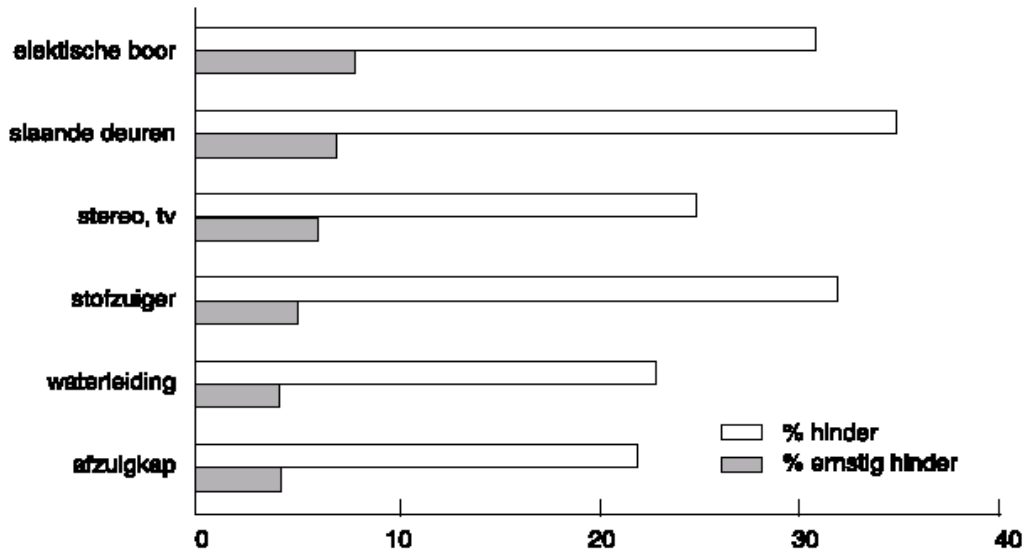
Interne bronnen

Interne geluidshinder kan minstens zoveel schade aan het menselijk functioneren veroorzaken als geluidsoverlast van het buitenmilieu. Dat soms vrijwillig voor een geweldige geluidsoverbelasting wordt gekozen, bewijzen de geluidsniveaus in vele discotheken. Ook een walkman kan een ongekeerde geluidsbelasting produceren. Uit een onderzoek bleek dat jongeren in 50% van de gevallen muziek op 85 dB(A) afspelen. Tien procent koos voor 90 en vijf procent verkoos het denderende niveau van 100 dB(A).

We zullen twee aspecten van geluidsbelasting in onze dagelijkse "binnenleefomgeving" wat nader toelichten.

Woonlawaai

Dat lawaai in de woonomgeving als zeer hinderlijk kan worden ervaren, onderschrijven helaas de meeste Nederlanders. Overal stuiten we op geluidsbronnen die ons kort- of langdurig storen. Hiervoor kunnen twee oorzaken aangedragen worden. Enerzijds zijn onze huizen veelal slecht geïsoleerd, anderzijds houden mensen doorgaans weinig rekening met elkaar.



Figuur 1.13 Hinder van toestellen binnen de woning

Industrielawaai

Evenals in het buitenmilieu is in de bedrijfshallen zelf de geluidsbelasting een zeer complexe materie. Het soms grote aantal machines en handelingen zorgt dat de aanpak van het lawaai een zaak is die slechts door grondig onderzoek tot resultaten kan leiden.

Omdat ruim de helft van de Nederlandse industriearbeiders (600.000 mensen) gehoorbeschadiging heeft, wordt er steeds meer aandacht besteed aan het voorkómen ervan. De Arbeidsinspectie geeft voorlichting en controleert in bedrijven of er wel aan de eisen wordt voldaan.

Vragen 1.3

a. Kun je een drietal praktische tips geven om woonlawaai binnen een bestaande woning te verminderen zonder een grootse verbouwing te starten?

b. Voor industrielawaai geldt de regel dat 80 dB acceptabel is voor een werkdag van 8 uur. Hoe lang zou je in een werkruimte met een geluidbelasting van 86 dB mogen verblijven?

1.4 Geluidsmeting en -meters

Waarmee meten we geluiden? Met een decibelmeter zul je zeggen. Een decibel is echter een door ons gemaakte eenheid. Wat je werkelijk meet is geluidsdruk. We meten met een membraan het verschil dat een geluidsgolf aan druk produceert ten opzicht van stilte. Zo'n membraan noemen we een microfoon. Omdat het om ontzettend kleine drukverschillen gaat hebben we ook een versterker nodig. We hebben gezien dat we ook een filter gebruiken om het menselijk gehoor na te bootsen. Tot slot heb je nog een rekenchip nodig die geluidsdruk omrekent naar decibellen en een afleeschermpje om de waarde op weer te geven. Klaar is onze geluidsmeter!

We hebben gezien dat geluid een snelle verandering van de luchtdruk is. Gaan we geluiden meten dan beperken we ons tot de begrippen niveau en frequentie. Wil je echter zoets als lawaai meten dan ben je met deze twee metingen niet klaar. Lawaai kan worden gedefinieerd als ongewenst geluid en daarom is het belangrijk naast de fysische eigenschappen, ook de invloed ervan op de mens zelf te meten. De gevolgen van overmatig lawaai, zoals vermoeidheid en gehoorschade zijn afhankelijk van een derde parameter: de expositieduur. Tijdsduur is daarom evenzeer een belangrijk onderdeel bij geluidsmetingen.

De meting en de meter

Elke meter heeft een bereik waarin nauwkeurig gemeten kan worden. Dit is meestal niet gelijk aan de gehele schaalverdeling of uitlezing op het display. Je kunt je dit het best voorstellen met een ouder type meter waar een wijzer de meetstanden aangeeft. Uiterst links bij de kleine waarden en uiterst recht bij de hogere neemt de nauwkeurigheid af. De waarden waartussen met de vereiste nauwkeurigheid gemeten kan worden noemen we het dynamisch meetbereik. Een meter met een meetbereik van 20 dB tot 100 dB heeft misschien een dynamisch meetbereik van 30 tot 80 dB. De grens die de meter in zijn uiterste stand aangeeft noemen we de detectiegrens (d). Je ziet deze waarde vaak in meetrapporten als bijvoorbeeld 0,005(d) weergegeven. Dit betekent dat de meter beneden de 0,05 eenheden geen waarden meer aangeeft.

Een geluidsmeter werkt daarnaast in stappen. Bijvoorbeeld zijn dat de bereiken 0 - 70 dB en 20 - 90 dB. Staat deze instelling niet goed dan wijkt de meetwaarde sterk af.

Het is van groot belang dat een geluidsmeter regelmatig geijkt wordt. Dit doe je met een microfoon die een zeer bepaalde frequentie en geluidssterkte uitzend. Door deze microfoon op de meter te plaatsen en de aflezing hierop te corrigeren, ijk je. We noemen dit ook wel calibreren.



Figuur 1.14 Wat een oorverdovende stilte!

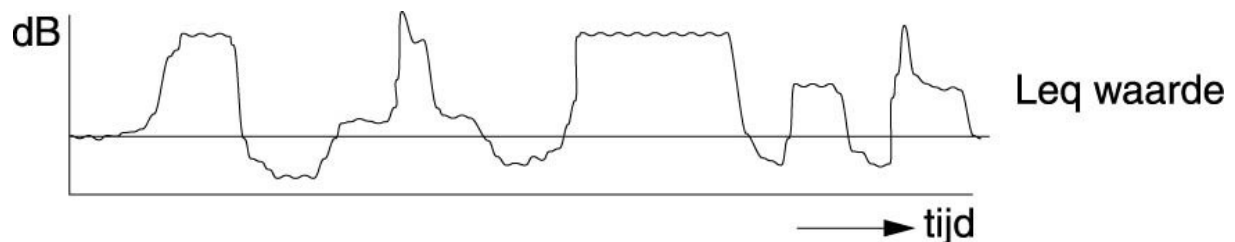
Tot slot moet je voordat je gaat meten eerst afvragen of de meetomstandigheden wel een goede meting garanderen. Vooral weersinvloeden als temperatuur, regen en wind hebben veel invloed op een meting en wat denk je van de persoon die de meter vasthoudt? Je moet je daarnaast ook afvragen of je op de goede hoogte meet, er geen reflecties of afscherming optreden en of je misschien een windbol om de meetopening moet plaatsen.

Expositieduur

Het beoordelen van de schadelijkheid van lawaai berust op een meting van de totaal ontvangen geluidsenergie, afhankelijk van niveau en tijdsduur. Omdat het niveau van omgevingslawaai veelal zeer veranderlijk is, zijn er geluidmeetinstrumenten ontwikkeld die de tijdsduur meerekenen zodat bij het beëindigen van een meting een correcte waarde wordt verkregen voor de totale geluidsenergie in die periode. Daarom zijn in veel instrumenten functies als Leq, SEL en lawaaidosis aanwezig.

Leq; SEL; lawaaidosis

Vaak zullen geluidsniveaus sterk wisselen in de tijd. De juiste meetwijze voor niet-continu geluid is Leq (Level equivalent) uitgedrukt in dB(A). Leq is een waarde voor de gemiddelde geluidsbelasting over de meetperiode. De meetperiode wordt gewoonlijk beëindigd wanneer verder meten de nauwkeurigheid van het resultaat niet verbetert.



Figuur 1.15 De Leq meting aan een geluidsspectrum

Het geluidbelastingsniveau, SEL, (Sound Exposure Level) is een Leq meting van 1 seconde. Deze functie is zinvol voor het vergelijken van geluiden met verschillende tijdsduur, bijvoorbeeld het voorbijrijden van treinen maar wordt in de industrie nauwelijks gebruikt. De lawaaidosis is een variant op het Leq-principe waarbij een vaste periode van 8 uur wordt gehanteerd. Het verschil tussen lawaaidosis en een 8-urige Leq is dat de dosis wordt uitgedrukt in een percentage van de toegestane dagelijkse dosis. 100% komt overeen met een Leq niveau van 90 dB(A) over 8 uur. Een lawaaidosismeter "verzamelt" de niveaus van het lawaai waaraan de betrokkene gedurende de werkdag wordt blootgesteld.

Geluidsniveau

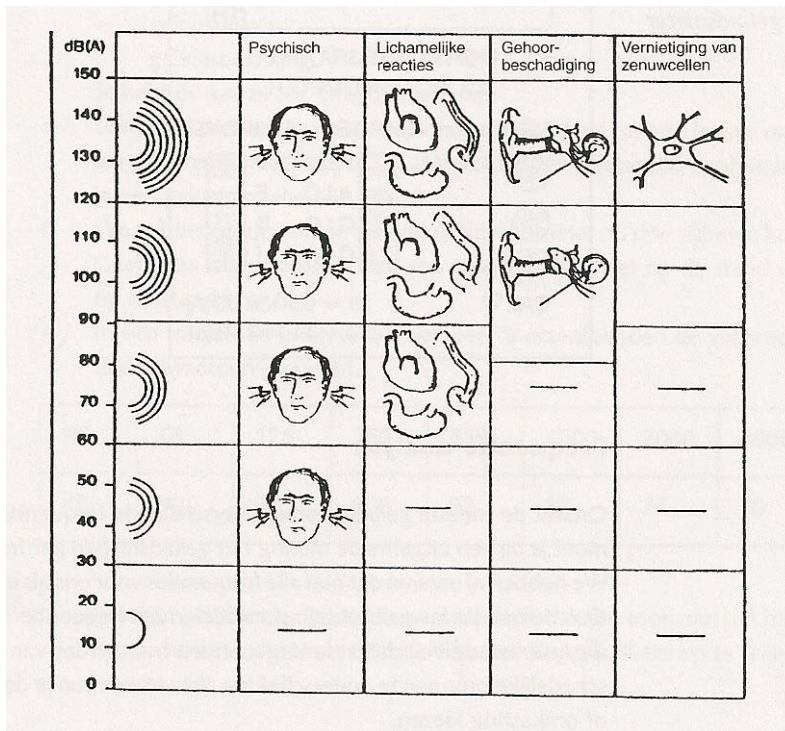
Bij een meting van lawaai moet je rekening houden met de menselijke beleving van geluid. Een juiste meting moet daarom zodanig worden uitgevoerd dat de subjectieve beleving van geluid door het menselijk gehoor, op een objectieve, reproduceerbare wijze wordt weergegeven. We hebben reeds hiertoe met het begrip dB(A) kennis gemaakt.

De meeste geluidsmeters meten de effectieve waarde van het geluid. We noemen dit het SPL (Sound Pressure Level). Deze komt overeen met de energie van het gemeten geluid. Het menselijk gehoor geeft namelijk informatie aan de hersenen die in directe relatie staat tot de energie van het geluid.

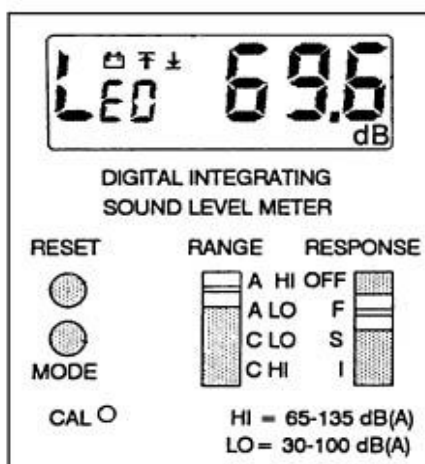
Internationaal is afgesproken met welke snelheid de meter een veranderend geluidsniveau moet kunnen volgen om een zinvolle aanwijzing te verkrijgen. Drie genormaliseerde tijdconstanten worden gehanteerd: Slow (traag), Fast (snel) en Impulse (zeer snel) met meettijden van respectievelijk 1 s, 125 ms en 35 ms.

Het kan echter zijn dat er heel kort een extreem sterke piek optreedt. Eén enkele heel harde impuls kan evenveel gehoorschade veroorzaken als een aantal jaren blootstelling aan een continuniveau van bijvoorbeeld 95 dB(A). Een manier om deze knal te meten is met behulp van zuivere piekdetectie. Hiervoor is een ongeveer duizend maal kortere tijdconstante nodig ($< 50 \mu s$). Een piekniveau van 140 tot 150 dB(A) mag je wel zien als het absoluut toelaatbare maximum waaraan gehoor mag worden blootgesteld.

Een aantal meetinstrumenten heeft ook een zogenaamde Max Hold functie waarmee je de hoogste waarde in de uitlezing kunt vasthouden.



Figuur 1.16 Lichamelijke reacties op geluid



Figuur 1.17 Het display en bedieningspaneel van een eenvoudige geluidsmeter

We gebruiken deze meetmethoden vaak om broninventarisaties te doen. Maakt een pomp niet teveel lawaai, bezorgen af en aanrijdende vrachtwagens niet te veel overlast in een buurt of vindt er op een ARBO werkplek geen overschrijding van de normen plaats. Ook voor de handhaving van vergunningen wordt een beroep gedaan op jou als geluidmeter en toekomstig deskundige.

Frequentie-analyse

Omdat de meeste geluidsbronnen verschillende frequenties tegelijkertijd uitzenden, moet je bij een uitgebreide meting het geluidsniveau per frequentie apart registreren. We hebben al ervaren dat niet alle frequenties voor ons als even vervelend overkomen. Ook de meeste lawaaibestrijdingsmiddelen zijn frequentie-afhankelijkheid en vereisen een analyse van de verschillende uitgezonden frequenties van het geluid om de meest schadelijke bronnen te onderscheiden.

Alleen dan kun je de meest geschikte demping of omkasting worden gekozen. We voeren een frequentie-analyse uit met behulp van een geluidsniveaumeter die is uitgebreid met een filtereenheid. De analysegegevens kunnen in een grafiek worden vastgelegd. Deze vorm van frequentie-analyse kan alleen worden toegepast op constante of stationaire bronnen. Variërend lawaai moet, voor latere analyse in een laboratorium, op een tape worden vastgelegd.

Een goed voorbeeld van een praktische toepassing van frequentie-analyse is het geluidsonderzoek van een stofzuiger. Het blijkt dat stofzuigermotoren niet alleen veel lawaai produceren, maar dat deze geluidsbelasting ook in een voor ons zeer vervelende frequentiebereik plaatsvindt.

Frequentie-analyse vindt meestal niet plaats over alle meetbare golflengten of frequenties apart. Dat zou ook ondoenlijk zijn als je bijvoorbeeld het gehele bereik van het menselijk oor wilt doormeten (100 Hz - 10.000 Hz). Daarom hebben we het geluidsspectrum ingedeeld in 8 verzamelingen van frequenties. Dit noemen we frequentiebanden en omdat het er 8 zijn noemen we ze ook wel octaven. We meten dus het geluidsniveau per octaaf.

Meting industrielawaai

Metingen van industrielawaai zijn meestal erg gecompliceerd. De overheid heeft daarom een brochure Meten en Rekenen Industrielawaai samengesteld waarin uitgelegd wordt hoe je geluiden in en buiten industriegebouwen moet meten.

Het komt er op neer dat het nogal een verschil maakt of je binnen een bepaald apparaat of machine meet ofdat je buiten het lawaai binnen een zone gaat meten. Er zijn hiervoor dan ook verschillende methoden ontwikkeld.

Bij de binnengeluiden moet je bijvoorbeeld storingsgeluid vermijden, een goede positie ten opzichte van de bron kiezen en verschil maken in het type geluid. Voor buitengeluiden op het industrieterrein is het zaak atmosferische aspecten zoals windsnelheid en temperatuur goed in de gaten te houden. Daarnaast moet je letten op de bodem, de begroeiing en vooral de afstand. In beide gevallen spelen reflecties een rol, alsmede de waarnemingshoogte en de frequenties van het geluid.

Meting van verkeerslawaai

Voor de meting van geluidhinder door verkeer gaan we meestal niet naar buiten met de meter. De bepaling ervan gebeurt door verkeerstellingen. Je houdt rekening met het type weg, de afstand tot de weg, het type voertuig en nog vele zaken meer. Hierover gaan we zelf een onderzoek doen, zodat je met deze materie kennis maakt in een taak.

Vragen 1.4

- a. We zijn in de tekst het begrip lawaaidosis tegengekomen. Als je als ARBO medewerker een norm voor de maximale toegestane dagelijkse dosis geluid hebt geformuleerd, ben je er echter nog niet. Zonder overschrijding van deze norm kunnen er toch nog problemen voor de werknemers ontstaan. Welke norm moet je ook vastleggen?
- b. In plaats van alles in dB te meten kiezen we voor geluiden die voor ons oor bestemd zijn voor de eenheid dB(A). Waarom is een meting in dB(A) subjectief ?
- c. Niet alle geluidsfrequenties maken op ons een even grote indruk. Welke frequentieband is voor ons het meest indringend?
- d. Zet de juiste begrippen achter de volgende omschrijvingen: gemiddeld geluidsniveau, geluidsniveau, geluidsbelasting. Je hebt de keuze uit; SPL, SEL en Leq.
- e. Om uit te zoeken bij welke frequentie een bron het meeste lawaai maakt voeren we een

frequentie-analyse uit. Waarom is een frequentie-analyse belangrijk als je aan geluidsisolatie wilt doen?

f. We hebben gezien dat je een geluidsniveau meter op drie standen kunt afstellen. Geef eens een voorbeeld van een geluid dat je meet op de stand slow en een op de stand impuls.

g. In een frequentie-analyse worden over 8 octaafbanden de volgende decibelwaarden gemeten.

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
dB	90	95	100	93	82	75	70	70

Bereken het totaal uitgezonden aantal decibellen en toon aan dat waarden die meer dan 10 dB verschillen niet zinvol meer bij elkaar kunnen worden opgeteld. Gebruik hiervoor figuur 1.7.