

# Omgevingslawaai



# Inhoud

Over dit Boekje .....	3
Inleiding .....	4
Wat is Geluid? .....	7
Soorten Lawaai .....	14
Voortplanting van Lawaai .....	16
Het Identificeren van Lawaaibronnen .....	23
Het Meten van Lawaai .....	24
Kalibratie .....	28
Kwalificatieniveau (Hinder en Toeslagen) .....	29
Vaststelling van de Grenswaarden .....	31
Het Meetrapport .....	37
Berekening van Geluidsniveaus (Voorspellen Lawaai-belasting) .....	39
Planning .....	45
Lawaai-bestrijding .....	49
Bemand of Onbemand .....	52
Permanente Bewaking .....	55
Internationale Normen .....	58
Parameters en Terminologie voor Omgevingslawaai .....	61
Over Brüel & Kjær .....	66

Copyright © 2000 Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.

Deze uitgave is door copyright wetten en internationaal recht beschermd.

Het kopiëren en vermenigvuldigen van de gedeeltelijke of gehele inhoud van deze uitgave is toegestaan onder voorwaarde dat de bron wordt genoemd als Brüel & Kjær Sound & Vibration A/S.

Brüel & Kjær Sound & Vibration A/S zal geen verantwoordelijkheid aanvaarden voor directe of indirecte verliezen of schade geleden als gevolg van het gebruik van deze uitgave.

## Over dit Boekje

Dit boekje gaat over omgevingslawaai, bijv. lawaai van industriegebieden, weg- en railverkeer, vliegvelden en kermisterreinen. Het behandelt geen verwante onderwerpen zoals bouwakoestiek, gebouwtrillingen of huishoudelijke geluiden. Ook trillingen waaraan mensen tijdens hun werk worden blootgesteld of het gebruik van geluid- en trillingsmetingen om producten te verbeteren komen niet aan de orde. Over deze onderwerpen kunt u bij uw lokale Brüel & Kjær vestiging nadere informatie opvragen.

Ofschoon we bij het samenstellen van deze uitgave t.a.v. namen, meetmethoden en werkwijzen zoveel mogelijk “up-to-date” hebben willen zijn, kunnen wij niet garanderen dat we alle relevante invalshoeken hebben bestreken. Wij raden u daarom aan ook de relevante voorschriften die gelden voor uw land, provincie, stad of streek te raadplegen.

# Inleiding

Omgevingslawaai is vaak in het nieuws. Sommige berichten zijn opvallend, de meeste in mindere mate. Niettemin wordt er veel geld en moeite geïnvesteerd in het oplossen van problemen met omgevingslawaai.

Lawaai in de leefomgeving is een wereldwijd probleem. De manier waarop er mee wordt omgegaan verschilt sterk van land tot land, en is veelal afhankelijk van cultuur, economie en politiek.

Zelfs in gebieden waar veel is geïnvesteerd om lawaaibronnen stiller te maken, af te schermen of anderszins te beheersen, blijven problemen bestaan. Zo zijn enorme bedragen besteed om verkeerslawaai bij de bron aan te pakken. De auto's van tegenwoordig zijn veel stiller dan die van tien, vijftien jaar geleden, maar het verkeer is vanaf die periode zo sterk toegenomen, dat het effect van deze inspanningen volledig teniet is gedaan en de hinder eerder toe- dan afgenomen is. Fabricage van stillere auto's heeft het probleem weliswaar verlicht, maar het is zeker niet opgelost.

Er bestaan geen wereldwijde schattingen van de invloed en kosten van omgevingslawaai. Er is wel een studie van de Europese Unie, het "Green Paper Future Noise Policy" (1996).



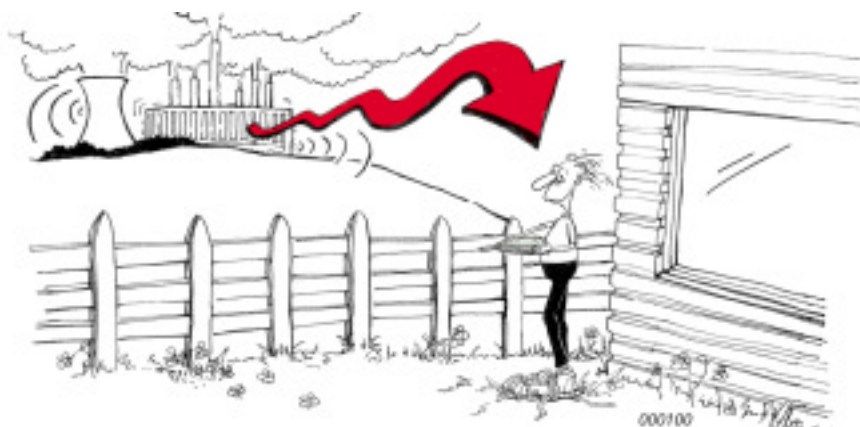
000082

- Daarin wordt geschat dat, in termen van het aantal mensen dat door lawaai wordt beïnvloed, 20% van de bevolking (80 miljoen mensen) last hebben van onaanvaardbare geluidniveaus die slaapstoornissen, hinder en problemen met de gezondheid veroorzaken. Nog eens 170 miljoen anderen in Europa wonen in gebieden waar lawaai overdag ernstige hinder veroorzaakt.
- Omgevingslawaai kost de gemeenschap tussen de 0.2% en 2% van het Bruto Nationaal Product. Zelfs de laagste schatting vertegenwoordigt een enorm bedrag

## Bescherming tegen omgevingslawaai

De programma's hiervoor verschillen van land tot land. De wetgeving is niet gelijk, methoden en technieken verschillen, en de politieke aandacht varieert. Toch zijn er gemeenschappelijke aspecten waar elke functionaris die zich met omgevingslawaai bezighoudt, mee te maken heeft.

- Planning van nieuwe woonlokaties, industriegebieden, snelwegen, vliegvelden enz.
- Klachtenbehandeling van burgers, zowel in bestaande als nieuwe situaties.
- Beoordelen van het al dan niet voldoen aan de wettelijk vastgestelde grenswaarden van lawaai bronnen.



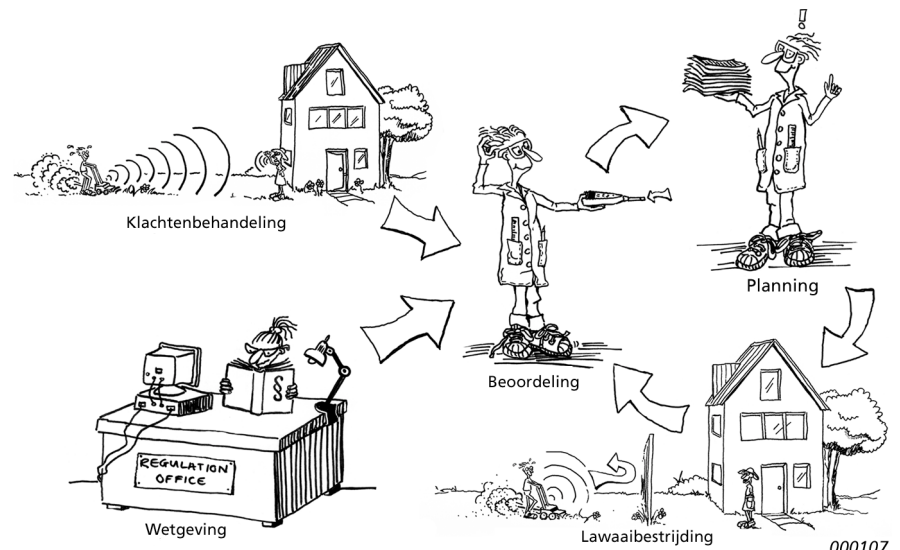
Voor al deze gebieden is een groot aantal taken te vervullen zoals:

- Metingen in het veld
- Beoordelen van lawaai van bepaalde (deel-) bronnen
- Berekening van verwachte geluidniveaus
- Lawaai in kaart brengen
- Rapporten samenstellen t.b.v. burgers en beleidsmakers
- Archivering van gegevens voor latere referentie
- Optreden als getuige deskundige.

Deze taken zijn veeleisend en gezien de reikwijdte en betekenis van lawaai is een behoorlijke kennis van zaken over dit onderwerp van groot belang. Dat geldt niet alleen voor hen die zich beroepsmatig met dit onderwerp bezighouden, maar ook voor beleidsmakers en burgers. Dit boekje is bedoeld voor allen, en gaat over de problemen die zich voordoen als men zich met omgevingslawaai, en mogelijke oplossingen bezighoudt.

Het is natuurlijk niet mogelijk – gezien de omvang – elk onderwerp uitputtend te behandelen. Maar we hebben ons uiterste best gedaan een uitgebreid overzicht te geven van alle belangrijke kwesties.

Voor aanvullende informatie kunt u contact opnemen met uw lokale vestiging van Brüel & Kjær.



# Wat is Geluid?

## Wat is geluid?

Geluid kan men omschrijven als elke drukvariatie die het oor kan waarnemen. Net als bij dominostenen wordt een golfbeweging in gang gezet, als de luchtdeeltjes door een bron in beweging worden gebracht. Deze beweging verspreidt zich van de bron af. Geluid plant zich – afhankelijk van het medium – met verschillende snelheden voort. In lucht is dit 340 m/s. In vloeistoffen en vaste stoffen is de voortplantingssnelheid hoger – 1500 m/s in water en 5000 m/s in staal.

## Geluidniveaus

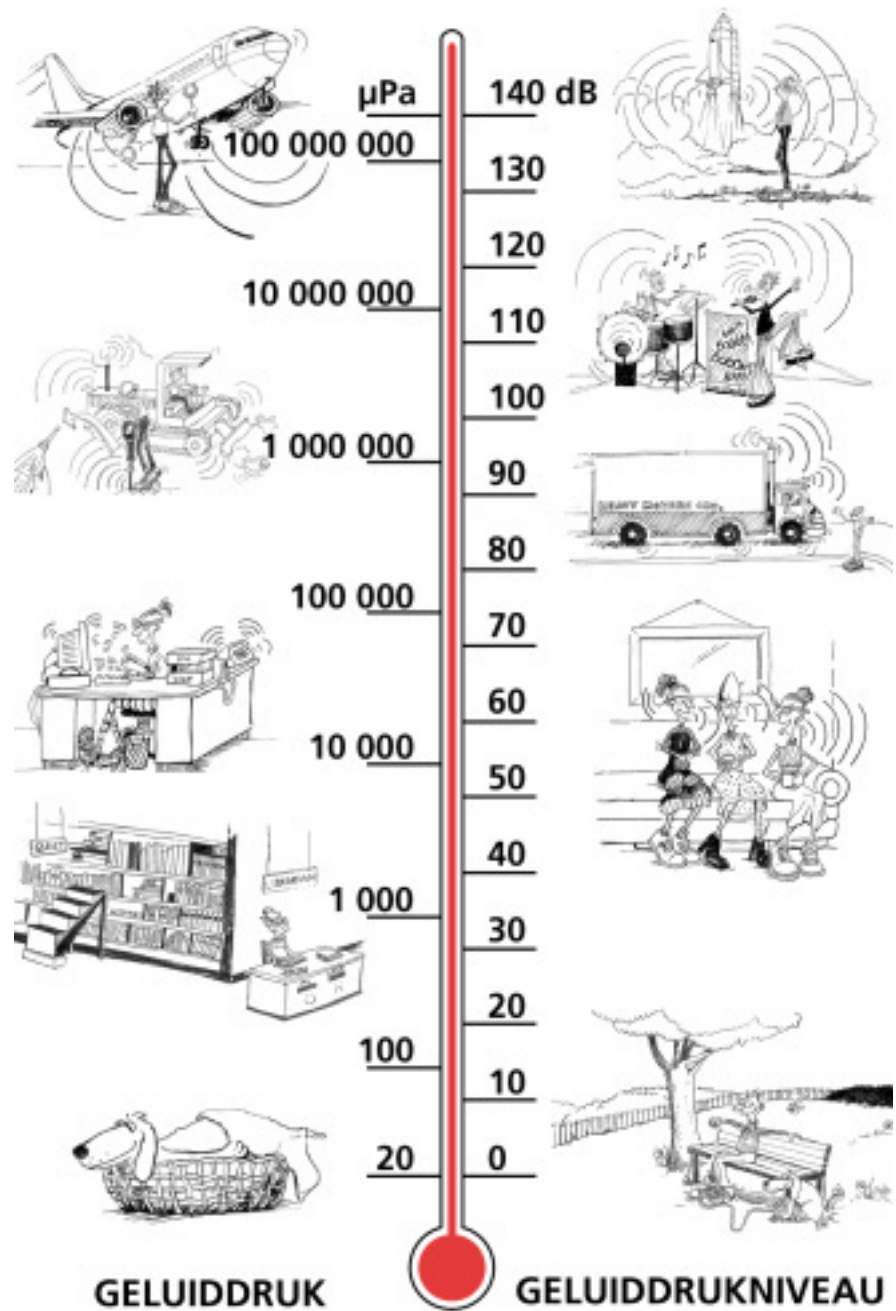
Vergeleken met de atmosferische druk ( $10^5$  Pa) zijn de hoorbare drukvariaties heel klein, van  $20 \mu\text{Pa}$  ( $20 \times 10^{-6}$  Pa) tot 100 Pa (Pa=Pascal)

$20 \mu\text{Pa}$  komt overeen met de gemiddelde gehoordrempel (het zachtste geluid dat wij nog kunnen waarnemen) . Een geluidsdruk van 100 Pa is zo luid dat het pijn doet en wordt daarom de pijngrens genoemd. De verhouding tussen deze twee uitersten is meer dan één op een miljoen.

Het direct gebruik van geluidsdrukken in Pa op een lineaire schaal leidt tot onhandige grote getallen en omdat ons gehoor logaritmisch reageert op geluid en niet lineair, is het praktischer om akoestische parameters als een logaritmische verhouding van de gemeten waarde t.o.v. een referentiewaarde te noteren. Deze verhouding wordt de decibel genoemd, afgekort dB. Het voordeel van het gebruik van dB is duidelijk te zien op de volgende bladzijde. De lineaire schaal met de grote getallen is omgezet naar een makkelijk hanteerbare schaal van 0 dB (de gehoordrempel) tot 130 dB (de pijngrens ~ 100 Pascal).



Ons gehoor onderscheid een verassend groot verschil in geluidsdrukken – een verhouding van meer dan een miljoen. De dB schaal levert hanteerbare getallen

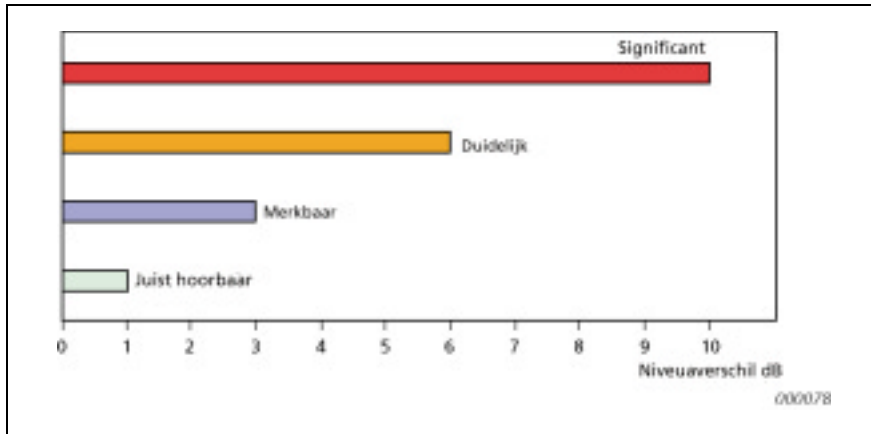


000111

## Het waarnemen van geluid

We hebben geluid al gedefiniëerd als elke drukvariatie die met het oor kan worden waargenomen. Het aantal drukwisselingen per seconde wordt frequentie genoemd en wordt aangegeven in hertz (Hz). Het normale bereik van een jong en gezond iemand loopt van ca 20 Hz tot 20.000 Hz (20 kHz).

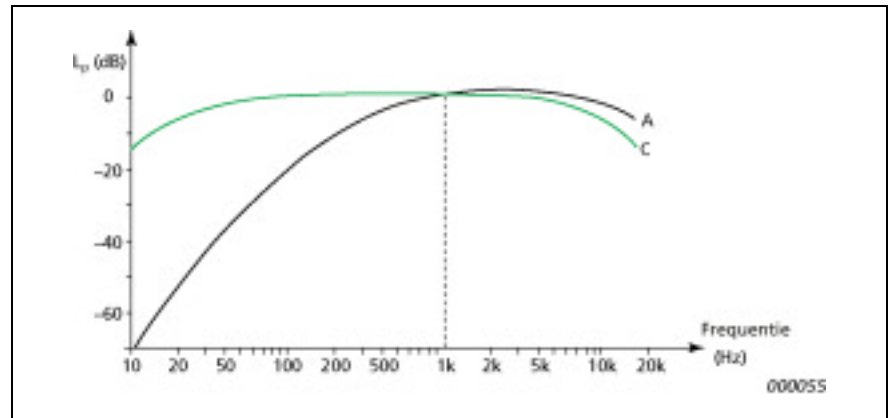
Hoorbaar geluid – in termen van niveaus – omvat het bereik van 0 dB (de gehoordrempel) tot de pijngrens van 130 dB en daarboven. Ofschoon een toename van 6 dB een verdubbeling van de geluiddruk betekent, is het niet een verdubbeling van de subjectieve luidheid, hiervoor is ongeveer een toename van 10 dB nodig. De kleinst waarneembare toename is ongeveer 1 dB.



## Waarderingscurven

Ons gehoor is minder gevoelig bij lage en heel hoge frequenties. Om hiermee rekening te houden worden bij geluidmetingen waarderings of wegingsfilters gebruikt. De meest gebruikte is het zgn. "A-filter", dit komt globaal overeen met de gevoeligheid van het oor voor niet al te hoge niveaus. Meetresultaten worden genoteerd in dB (A).

Als hoge niveaus of zeer lage frequenties gemeten moeten worden, wordt het "C-filter" gebruikt.

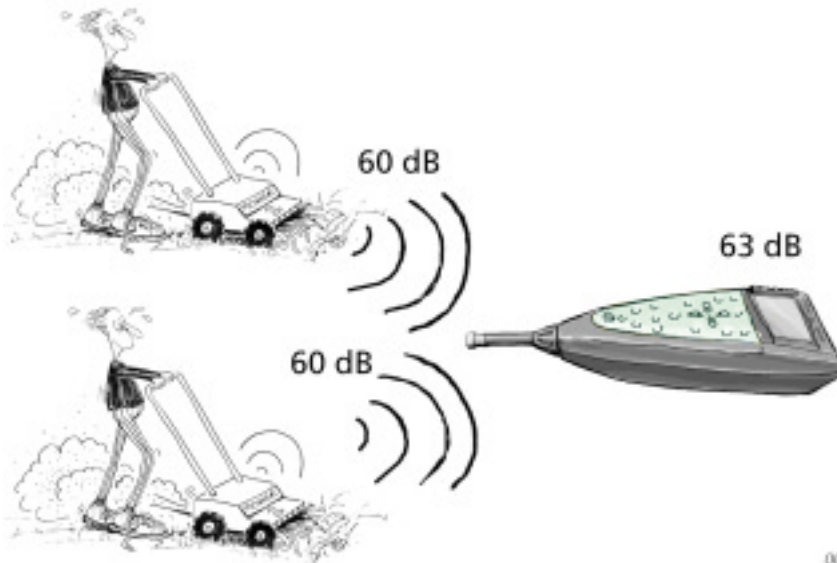


## Optellen en aftrekken van geluidsniveaus

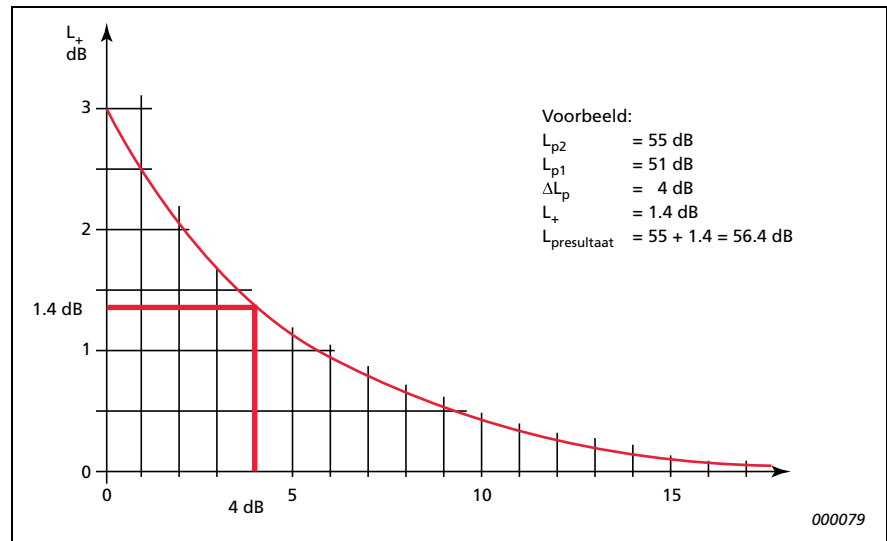
### Optellen

Als van twee of meer afzonderlijke bronnen het geluidsniveau is gemeten, en u wilt het totale niveau weten, dan moeten de niveaus worden gesommeerd. Maar dat kan niet rechtstreeks, het gaat immers om logaritmische waarden. Een methode is om de dB waarden terug te rekenen naar lineaire waarden (in Pa), deze op te tellen en vervolgens weer om te zetten naar dB met behulp van de volgende formule:

$$L_{\text{resultaat}} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$



Een makkelijkere methode is het gebruik van onderstaande curve:



1. Meet de geluidrukniveaus (Sound Pressure level – SPL of dB(A)) van elke bron afzonderlijk ( $L_{p1}$ ,  $L_{p2}$ ).
2. Bepaal het verschil tussen de twee niveaus ( $L_{p2} - L_{p1}$ )
3. Zet dit verschil af op de horizontale as en ga omhoog tot u de curve snijdt, ga dan naar links en lees de waarde af op de verticale as.
4. Tel deze waarde op bij het niveau van de luidste bron (in dit geval  $L_{p2}$ ) – dit geeft het totale niveau van de twee bronnen.
5. Bij meer dan twee bronnen herhaalt u stap 1 t/m 4 en gebruikt u de som van de eerste twee bronnen als uitgangspunt, enzovoort.

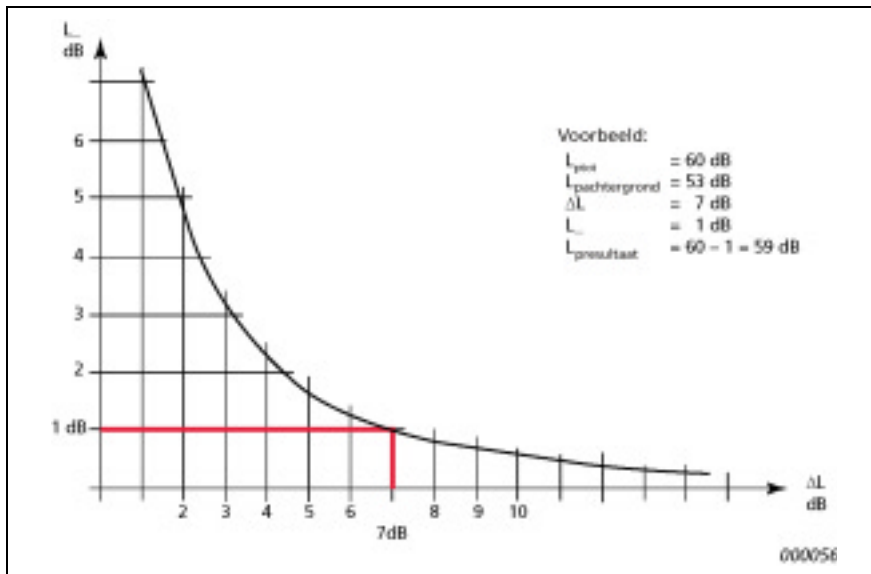
Als het verschil tussen twee bronnen 0 is, m.a.w. de niveaus zijn gelijk, dan is het totaalniveau 3 B hoger (dat is dus niet twee keer zo luid!). Is het verschil meer dan 10 dB dan kan de bijdrage van het laagste niveau worden verwaarloosd.

### Geluidniveaus van elkaar aftrekken

Soms is het nodig het achtergrondlawaai van het totaalniveau af te trekken. Gebruik hiervoor de curve of de formule:

$$L_{\text{resultaat}} = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{\text{plot}}}{10}} - 10^{\frac{L_{\text{achtergrond}}}{10}} \right)$$

Als het verschil ( $\Delta$ )L minder dan 3 dB is, dan is het achtergrondniveau te hoog en kan geen juist niveau van de bron(nen) worden vastgesteld. Is het verschil groter dan 10 dB, dan kan het achtergrondniveau worden verwaarloosd.



# Soorten Lawaai

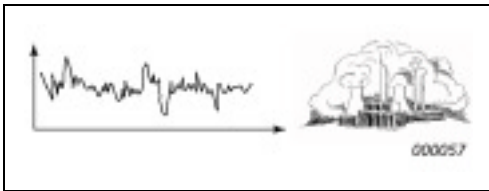
## Lawaai is niet alleen maar lawaai.

Thuis en op het werk horen we geluiden van verwarmings- of ventilatiesystemen, die we nauwelijks opmerken omdat ze geen duidelijke kenmerken hebben. Maar als de ventilator plotseling stopt of ongewone geluiden gaat maken, dan kan de verandering storend of zelfs hinderlijk zijn. Ons gehoor herkent informatie in de geluiden die we waarnemen. Ongewenste of ongewilde informatie is lawaai. Veranderingen in niveaus of het voorkomen van duidelijke tonen maken lawaai meer waarneembaar.

Om de juiste parameters te kiezen en te bepalen welke apparatuur nodig is en hoe lang we zonder onderbrekingen moeten meten, is het nodig het soort lawaai te kennen. Eerst luisteren naar de hinderlijke kenmerken bepaalt vaak hoe we meten, analyseren en documenteren.

## Constant lawaai

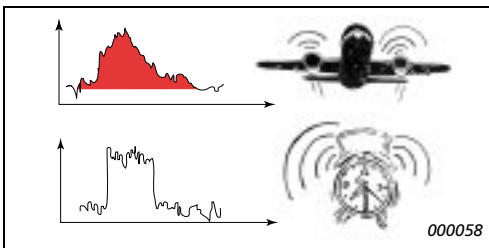
Dit type lawaai wordt veroorzaakt door machines die zonder onderbreking draaien zoals ventilatoren, pompen, elektromotoren e.d. Een paar minuten meten met een draagbare geluidmeter is voldoende om het geluidniveau vast te stellen. Als tonen of lage frequenties hoorbaar zijn kan het frequentiespectrum worden gemeten voor latere analyse en documentatie.



## Intermitterend lawaai

Wanneer machines en werktuigen cyclisch werken, of wanneer voertuigen of vliegtuigen voorbij komen, dan wisselt het geluidniveau sterk in de tijd.

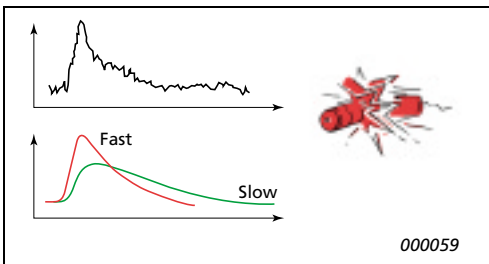
Elke cyclus van de machine kan soms afzonderlijk als constant lawaai worden gemeten, waarbij de duur wordt genoteerd. Het passeren van een voertuig wordt een "event" genoemd. Om het lawaai hiervan vast te stellen wordt het Sound Exposure Level gemeten. Hiervan zijn niveau en duur in één getal uitgedrukt. Het maximum niveau kan ook worden gebruikt. Een aantal gelijksoortige "events" meten leidt tot een betrouwbaar gemiddelde.



## Impuls lawaai

Het lawaai dat wordt veroorzaakt door heistellingen, ponsmachines, persen e.d. wordt impuls geluid genoemd. Dit soort lawaai is kort en abrupt en daardoor veroorzaakt het meer hinder dan uit het simpel meten van het geluidniveau zou kunnen worden verwacht.

Om het impuls karakter van lawaai vast te stellen kan gebruik gemaakt worden van een snel- en een traag reagerende meter aanwijzing (zie illustratie). De herhalings tijd (aantal impulsen per seconde, minuut, uur of dag) moet genoteerd worden.

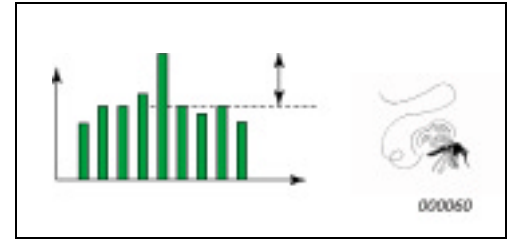


## Tonen in lawaai

Hinderlijke tonen worden op verschillende manieren opgewekt.

Roterende delen in motoren, tandwielkasten, pompen, ventilatoren e.d. veroorzaken vaak tonen. Ook onbalans en pulsachtige verschijnselen leiden tot trillingen die via de lucht als tonen waarneembaar zijn. Stroming van gassen en vloeistoffen, verbrandingsprocessen kunnen ook tonen produceren. Door luisteren of frequentie-analyse, kan de aanwezigheid van tonen worden vastgesteld. De hoorbaarheid kan worden berekend door het niveau van de toon te vergelijken met het niveau van het omliggende spectrum.

De duur moet ook vastgesteld worden.



## Laagfrequent lawaai

Dit lawaai heeft aanzienlijke akoestische energie in het frequentiegebied van 8 tot 100 Hz.

Typische geluidbronnen zijn grote dieselmotoren in treinen, schepen en energiecentrales. Dit soort lawaai is heel moeilijk af te schermen, plant zich makkelijk in alle richtingen voort en is op kilometers afstand te horen. Laagfrequent geluiden zijn hinderlijker dan valt af te leiden uit een "A"-gewogen meting van het niveau. Het verschil tussen het A- en C-gewogen niveau kan een indicatie zijn voor de aanwezigheid van een laagfrequent probleem. Om vast te stellen in hoeverre de laagfrequentie componenten hoorbaar zijn, wordt een frequentie-analyse gedaan en vergeleken met de gehoorcurven.

Infrageluid heeft een spectrum met (veel) energie lager dan 20 Hz. We ervaren dit niet als geluid maar meer als druk. De bepaling van infrageluid is nog experimenteel; er zijn nog geen internationale normen.





# Voortplanting van Lawaai

Hoe luid is een vrachtwagen? Dat hangt er vooral vanaf hoe ver u weg bent of dat u zich voor of achter een geluidsscherm bevindt. Er zijn nog wel veel meer factoren die het geluidsniveau beïnvloeden en meetresultaten kunnen wel meer dan tien dB variëren voor dezelfde lawaaibron. We moeten daarom weten hoe het geluid wordt afgestraald, hoe het zich voortplant en hoe het bij de ontvanger aankomt.



**De belangrijkste factoren die de voortplanting van geluid beïnvloeden zijn:**

- Soort geluidbron (punt, of lijn)
- Afstand
- Atmosferische absorptie
- Wind
- Temperatuur en temperatuur-gradiënten
- Obstakels zoals schermen en gebouwen
- Grondabsorptie
- Reflecties
- Vochtigheid
- Neerslag

Om tot een goed meet- en/of rekenresultaat te komen, moet met al deze factoren rekening worden gehouden. In de regelgeving staan de condities veelal vermeldt.

## Type bronnen

### Puntbron

Als de afmetingen van de geluidbron klein zijn t.o.v. de afstand tot de waarnemer, dan spreekt men van een puntbron, bijv. een ventilator, een schoorsteen e.d. Het geluid breidt zich bolvormig uit en het geluidniveau is, op alle punten die zich op dezelfde afstand van de bron bevinden, gelijk. Het niveau neemt 6 dB af per verdubbeling van de afstand. Dit geldt zolang de verzwakking door grond-en luchtabsorptie verwaarloosbaar zijn.



Voor een geluidbron met een geluidvermogeniveau  $L_W$  (zie sectie over Parameters, Omgevingslawaai en Terminologie) die zich vlak bij de grond bevindt, kan het geluiddrukkniveau  $L_p$  op elke afstand ( $r$ , in m.) van de bron, worden gevonden met de formule:

$$L_p = L_W - 20 \log_{10}(r) - 8 \text{ dB}$$



### Lijnbron

Als een geluidbron smal is in één richting en lang in de andere t.o.v. de afstand tot de waarnemer dan wordt het een lijnbron genoemd.

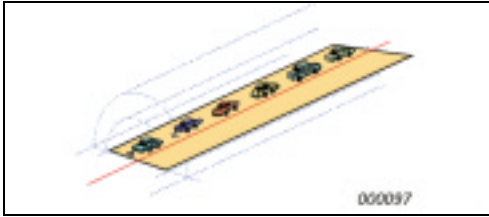
Dit kan een enkele bron zijn, bijv. een lange pijp met daarin een turbulente vloeistof, of meerdere puntbronnen die gelijktijdig werken zoals een stroom auto's op een drukke weg.

Het geluid plant zich cilindrisch voort, het niveau is op alle punten, met dezelfde afstand tot de lijn, gelijk en neemt af met 3 dB per verdubbeling van de afstand. Dit geldt zolang de invloeden van grond-en luchtabsorptie verwaarloosbaar zijn.

Voor een lijnbron dicht bij de grond met een geluidvermogeniveau per meter ( $L_w/m$ ), kan het geluiddrukkniveau  $L_p$  op elke afstand ( $r$ , in m.) van die bron worden gevonden met de formule:

$$L_p = L_W - 10 \log_{10}(r) - 5 \text{ dB}$$



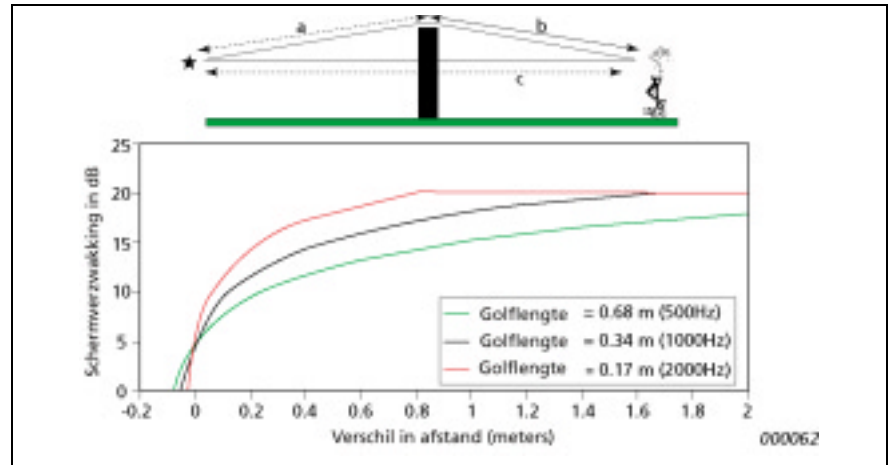


### Geluidschermen

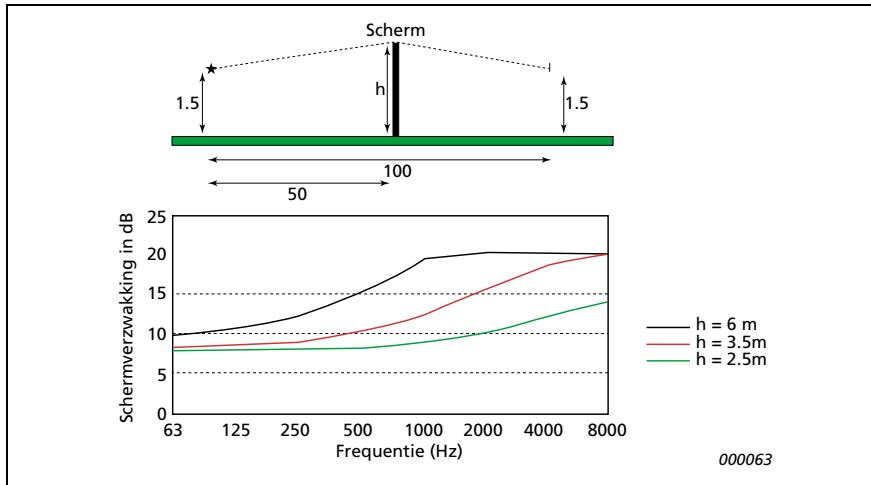
De afname van lawaai als gevolg van het plaatsen van een scherm hangt van twee factoren af:

1. Het verschil in de weg die het geluid aflegt over het scherm en de directe weg t.o.v. de waarnemer (a+b-c in de grafiek)
2. De frequentie-inhoud van het geluid

Het samengestelde effect van deze twee staat in de grafiek. Het laat zien dat lage frequenties met schermen moeilijk te bestrijden zijn.



De verzwakking als functie van de hoogte voor een typisch scherm staat in de volgende grafiek. Een scherm is het meest effectief als het dicht bij de bron of bij de waarnemer staat.



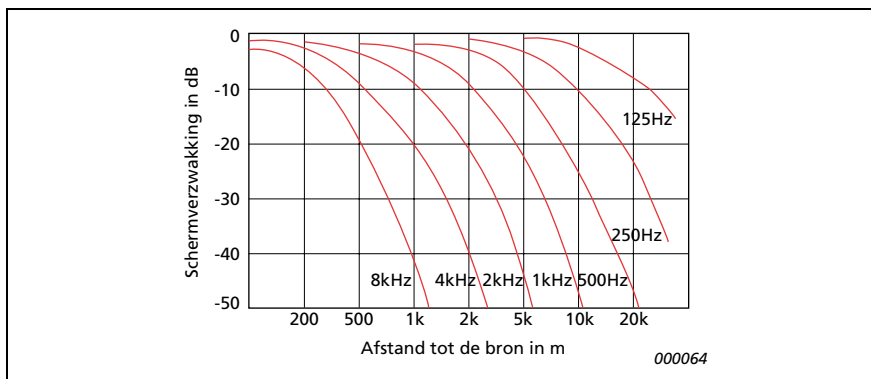
### Atmosferische verzwakking

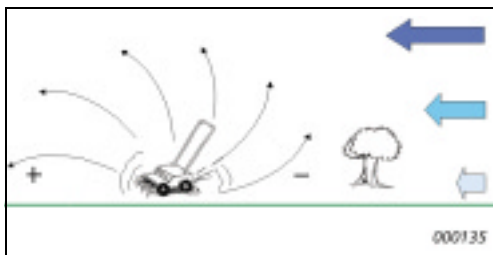
Dit is een ingewikkeld onderwerp dat we kort samenvatten.

Het afnemen van het niveau als geluid zich in de lucht voortbeweegt hangt o.m. samen met:

- Afstand tot de bron
- Frequentiesamenstelling van het geluid
- Omgevingstemperatuur
- Relatieve vochtigheid
- Luchtdruk

De twee eerstgenoemde hebben de grootste invloed en zijn in de grafiek weergegeven. Lage frequenties worden door atmosferische absorptie weinig verzwakt.



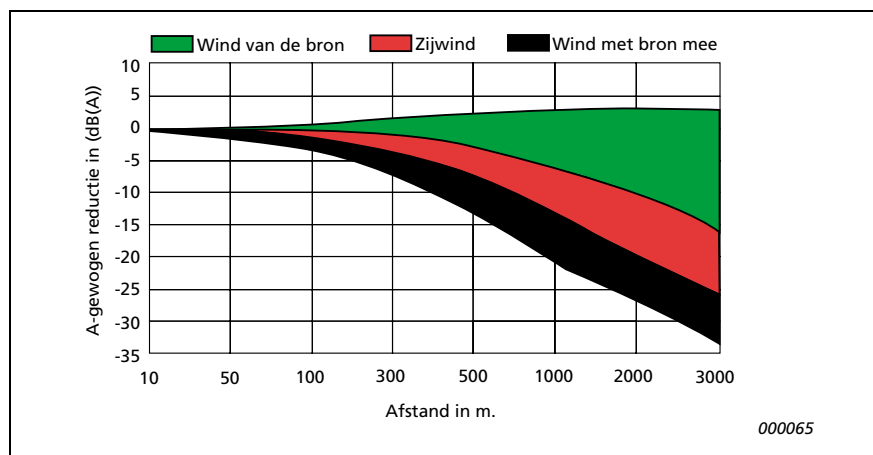


## Wind en temperatuur

Windsnelheden nemen toe met de hoogte. Daarmee wordt het geluidpad afgebogen met de wind mee en ontstaat a.h.w. een “schaduw” aan de andere zijde van de bron.

### Waarom meten met wind vanaf de bron?

Op korte afstand – tot zo’n 50 m – heeft de wind relatief weinig invloed op de gemeten niveaus. Met de wind vanaf de bron kan het niveau een paar dB hoger worden mede afhankelijk van de windsnelheid. Maar met de wind naar de bron kan het niveau wel 20 dB lager zijn. Daarom wordt “wind vanaf de bron” geprefereerd voor metingen. De verschillen zijn kleiner en het resultaat is aan de veilige kant.



## Temperatuur

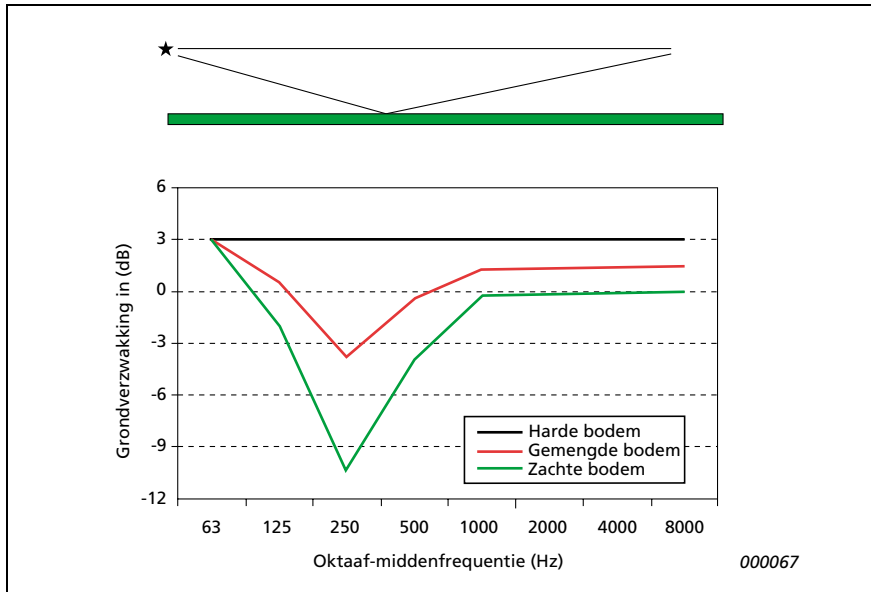
Temperatuurgradiënten zorgen voor soortgelijke effecten als windgradiënten, maar zijn in alle richtingen t.o.v. de bron gelijk.

Op een zonnige dag en geen wind neemt de temperatuur met de hoogte af. Hierdoor ontstaat een schaduw effect voor geluid. Tijdens een heldere nacht kan de temperatuur met hoogte toenemen (inversie), waarmee geluid a.h.w. gericht wordt op de grond.

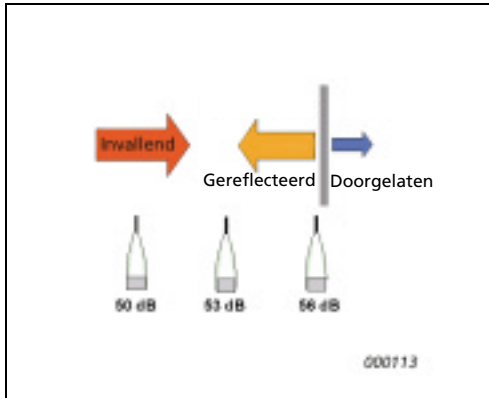
## Grondeffecten

Geluid dat door de bodem gereflecteerd wordt interfereert met het directe geluid. Het grondeffect is verschillend voor akoestisch harde (beton, water), zachte (gras, struiken) en gemengde oppervlakken.

De verzwakking wordt meestal berekend per frequentieband. Neerslag kan de grondverzwakking beïnvloeden. Sneeuw kan aanzienlijke absorptie veroorzaken en ook grote positieve temperatuur gradiënten. Vaak geven de regels aan om niet onder zulke condities te meten.



*Invloed van de bodem op 100 m afstand tussen bron en ontvanger. Bron en ontvanger staan op 2 m hoogte*



## Lawaai bij de waarnemer (ontvanger)

### Reflecties

Wanneer geluidgolven bij een oppervlak aankomen wordt een deel van de akoestische energie geabsorbeerd, een deel wordt gereflecteerd en een deel gaat er doorheen.

Als de absorptie en de transmissie laag zijn – dat is meestal het geval met gebouwen – dan wordt de meeste geluidenergie gereflecteerd.

Men spreekt dan van een akoestisch hard oppervlak.

Het geluidniveau vlak bij het oppervlak ontstaat door het directe geluid van de bron en het gereflecteerde geluid. Vlak voor een muur bijv. op een afstand van 0.5m is het niveau 3 dB(A) hoger dan zonder muur. De meeste meetmethoden schrijven voor dat de effecten van zulke reflecties niet in de resultaten moeten worden opgenomen (vrije veld condities).

### Open en gesloten ramen

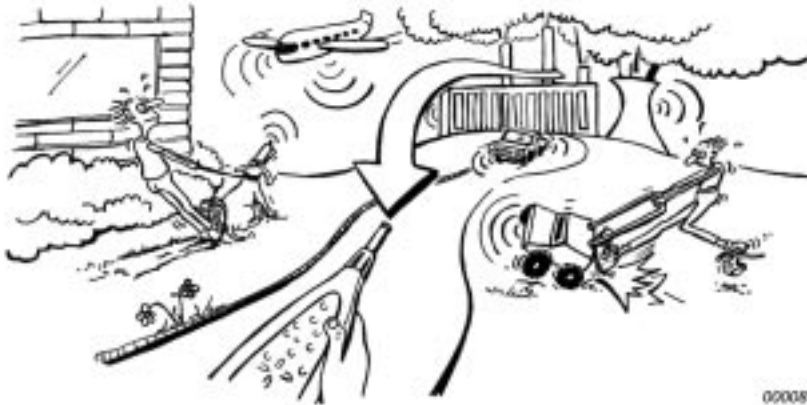
In sommige landen is het de gewoonte dat mensen hun ramen gesloten houden – wegens klimaat of uit traditie. Geluiden van buitenaf worden dan met zo'n 20–30 dB verzwakt (gevelisolatie). Ramen zijn vaak de zwakke schakel, maar kunnen met speciale maatregelen verbeterd worden.

In andere landen en klimaten is het gebruikelijk de ramen open te zetten en daar is het effect van omgevingslawaai het grootst. De regelgeving voor omgevingslawaai moet dus terdege rekening houden met de manier waarop huizen worden gebouwd en gebruikt.



# Het Identificeren van Lawaaibronnen

Beoordeling van lawaai komt er meestal op neer dat de effecten van een specifieke lawaaibron worden bepaald, bijv. van een productiebedrijf. Dat is niet altijd even gemakkelijk. In praktisch iedere omgeving dragen een groot aantal bronnen bij aan het geluidniveau op een bepaald punt.



**Het omgevingslawaai** is het lawaai van alle bronnen gecombineerd – verkeerslawaai, fabriekslawaai, vogelgeluiden, stromend water, enz.

**Specifiek lawaai** is het geluid dat van de onderzochte bron komt. Dit specifieke lawaai maakt deel uit van het omgevingslawaai en kan geïdentificeerd en in verband gebracht worden met de bron.

**Restlawaai** blijft over als de specifieke bron niet actief is.

Deze terminologie is afgeleid van ISO 1996 en wordt overal gebruikt.

Het begrip **achtergrondlawaai** (niet in ISO 1996) is ook wijdverbreid, maar dient niet verward te worden met restlawaai. Soms wordt dit gebruikt om het niveau aan te geven als de specifieke bron niet hoorbaar is, en soms is het een waarde van een geluidparameter, bijv.  $L_{A95}$  (het niveau dat 95% van de tijd wordt overschreden).

Het begrip “bestaande situatie” ook wel “nulniveau” genoemd wordt gebruikt als instrument bij planning van bouwactiviteiten. Dit is het niveau op een bepaald punt vóór dat wijzigingen zijn uitgevoerd, bijv. plaatsen van schermen, uitbreiden van een fabriek e.d.

Er bestaan verschillende methoden om lawaai van specifieke bronnen te kunnen beoordelen; een aantal daarvan wordt in dit boekje behandeld. Dat kan heel drastisch zijn, zoals het stilleggen van een fabriek om het restlawaai te kunnen meten, of heel geavanceerd met gelijktijdige en gecorreleerde metingen op verscheidene punten dicht bij en ver van de bron. De metingen worden vaak vastgelegd met een DAT recorder of direct ingelezen in een PC, waarna de lawaaibronnen kunnen worden geanalyseerd en gedocumenteerd.



# Het Meten van Lawaai

## Metten van lawaai

Objectieve metingen van geluidniveaus zijn onmisbaar in elk programma dat zich serieus met omgevingslawaai bezighoudt.

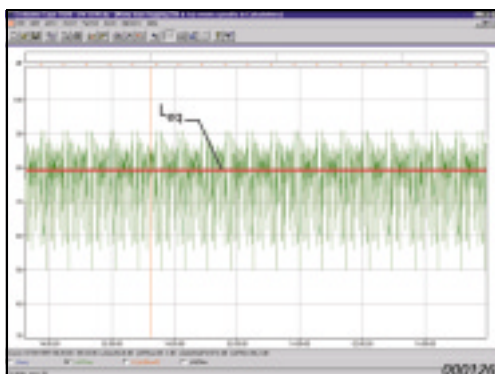
De niveaus van omgevingslawaai wisselen sterk – vaak is het lawaai impulsachtig van aard of bevat het tonen. Bovendien komen er storende geluiden van buiten zoals blaffende honden, spelende kinderen, overvliegende vliegtuigen – ze moeten allemaal op een of andere manier worden meegenomen.

Normen en wetgeving geven aan welke parameters gemeten moeten worden. Vaak wordt ook voorgeschreven hoe meetapparatuur moet worden opgesteld en hoe meteorologische factoren worden verwerkt. Daarnaast bestaat er nog zoiets als vakmanschap en gezond verstand. De beoordeling van een lawaaisituatie is nooit alleen maar een simpel getal zoals 77 dB. Het gaat altijd over specifieke parameters of indicatoren, die onder bekende en goed gedocumenteerde condities zijn verkregen.

## Het bepalen van een gemiddelde

Om een niveau van een wisselend geluidniveau te kunnen vaststellen moet een gemiddelde worden bepaald. In het verleden werd een variërende meteruitslag wel op het oog “gemiddeld”, zgn “eyeball-averaging”. Ook de  $L_{A50}$  waarde, het niveau dat 50% van de tijd wordt overschreden, wordt zelden meer toegepast.

Tegenwoordig wordt overal het “equivalent continuous sound level”,  $L_{eq}$ , als de parameter voor het gemiddelde gebruikt. Dit is het niveau dat, als het over de meettijd constant was geweest, dezelfde energie-inhoud zou hebben als het fluctuerende geluidniveau. Het  $L_{eq}$  kan met een integrerende geluidniveaumeter rechtstreeks worden gemeten.  $L_{eq}$  is een maat voor de gemiddelde energie in een wisselend geluidniveau, maar het is geen directe indicatie voor hinder. Toch heeft uitgebreid onderzoek aangetoond dat  $L_{eq}$  een goede correlatie met hinder heeft. Niettemin worden correcties voor het tijdstip van de dag toegepast; immers, een bepaald geluidniveau kan midden op de dag acceptabel zijn, terwijl het op een vroege zondag ochtend buitengewoon storend is.



## Het gebruik van statistiek

Bij het beoordelen van lawaai kan een analyse van de statistische verdeling van de geluidniveaus een nuttig hulpmiddel zijn. Zo wordt niet alleen informatie verkregen over de wisselingen in het geluidniveau, maar de gegevens zijn in veel normen ook de basis waarop het vaststellen van het achtergrondniveau is gebaseerd.

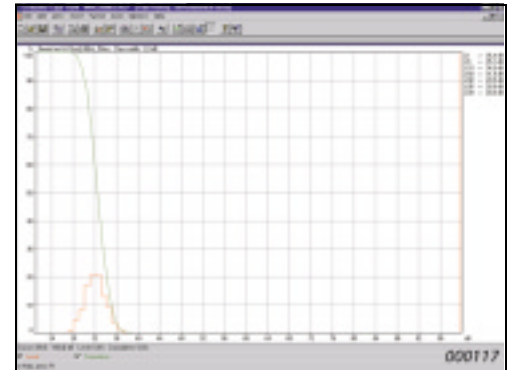
Zo wordt  $L_{95}$ , het niveau dat 95% van de tijd wordt overschreden, gebruikt als indicatie voor het achtergrondniveau, terwijl  $L_{10}$  of  $L_5$  het voorkomen van hoge niveaus aangeeft.

## Metten wij 7 dagen of twee uur?

Metten over de volledige periode van interesse is ideaal.

Dat kan een paar uur of een week zijn, of misschien zelfs wel een jaar. In zulke gevallen worden elke seconde, minuut of kwartier automatisch een meting gedaan en opgeslagen, zodat een compleet overzicht in de tijd wordt verkregen. Maar dit soort langdurende metingen zijn duur en moeilijk beheersbaar. Daarom worden vaker metingen over een representatieve periode uitgevoerd, waarna deze worden samengesteld tot een compleet overzicht. Moderne computer programma's zorgen ervoor dat deze taken grotendeels automatisch kunnen worden uitgevoerd.

Als de regelgeving echter aangeeft dat bepaalde niveaus niet mogen worden overschreden, dan is continue geluidbewaking nodig.

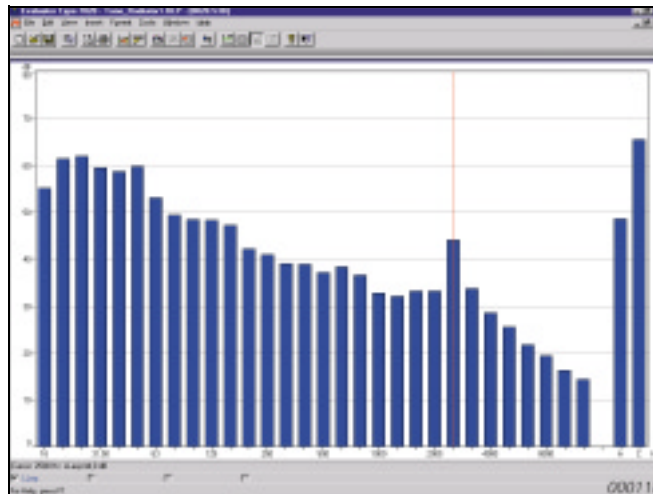


## Breedband of frequentie-analyse?

$L_{eq}$  of beter,  $L_{Aeq}$  (het A-gewogen equivalent continue geluidniveau) is de belangrijkste parameter. Metingen die het hele hoorbare gebied bestrijken noemen we “breedband”; deze zullen voor bepalen van omgevingslawaai “A-gewogen” zijn. Het is een goede gewoonte om altijd het gebruikte waarderingsnetwerk (bijv “A” of “C”) te vermelden.

Lawaai waarin duidelijk waarneembare tonen voorkomen – ventilatoren, compressoren, zagen e.d. – is gewoonlijk hinderlijker dan ander lawaai. In een breedband-meting komt deze extra hinder niet tot uiting, daarvoor is een frequentie-analyse nodig.

Subjectief kan de aanwezigheid van tonen goed worden beoordeeld, maar meestal is ook een objectieve meting vereist. In de praktijk wordt hiervoor 1/3 octaaf of FFT-analyse gebruikt (FFT= Fast Fourier Transform).



## Waar zetten we de microfoon neer?

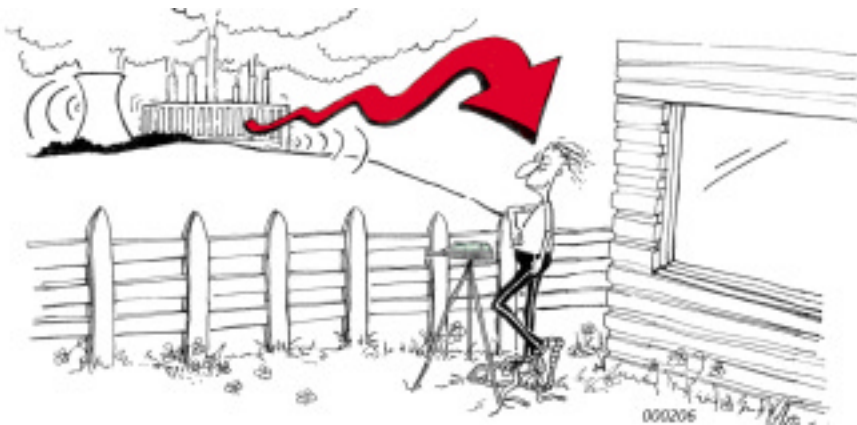
De keuze van het meetpunt is vaak in voorschriften vastgelegd, bijv. aan de terreingrens, of juist op het terrein van een klager. Geluidniveaus variëren met de hoogte boven de grond en ook met de afstand tot de bron of bij gevels, schermen of andere obstakels. Met al deze factoren moet rekening gehouden worden.

Vaak betekent dit dat metingen:

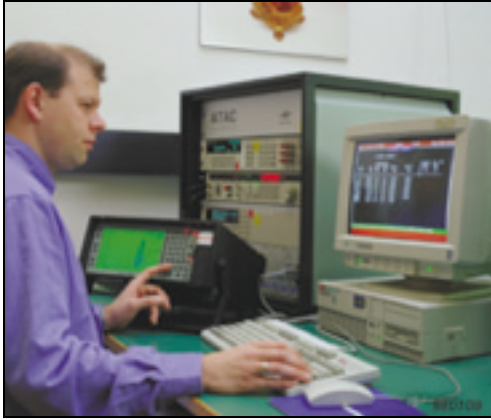
- niet bij gevels
- niet vlak bij obstakels
- met de wind mee
- in droog weer, wind < 5 m/s
- de microfoon op 1,2–1,5 m. hoogte

gedaan worden

Maar er zijn ook situaties waarbij de meting juist wel vlak bij de gevel wordt gedaan, of op andere voorgeschreven hoogtes. (De Europese Unie overweegt om 4 m als standaardhoogte in te voeren).



# Kalibratie



## Is kalibratie nodig?

De vraag stellen is haar beantwoorden; vóór en na elke serie metingen dient met een akoestische kalibrator de meetopstelling gekalibreerd te worden. Met de kalibrator wordt gewoonlijk de gevoeligheid van het instrument bij 1 kHz en een niveau van 94 dB gecontroleerd. Sommige zijn van mening dat dit niet nodig is, omdat moderne apparatuur en microfoons vrijwel niet worden beïnvloed door temperatuur, luchtdruk of luchtvochtigheid. Ofschoon dit zo is, zijn er drie redenen waarom kalibratie toch noodzakelijk is.

1. Elk instrument of microfoon kan een keer fout gaan. Een kalibratie voorkomt dat u dat niet opmerkt, zodat er niet een hele dag voor niets is gemeten.
2. De meeste wetgeving en normen stellen kalibratie verplicht
3. Extreme omgevingscondities kunnen de resultaten beïnvloeden

Voor een professional zijn de geluidniveaumeter en de kalibrator onafscheidelijk. Maar om er zeker van te zijn dat de nauwkeurigheid ook op de langere termijn is gewaarborgd (belangrijk als het tot rechtzaken komt bijv.) zijn meer uitgebreide controles en kalibraties van tijd tot tijd nodig.

## Calibration Certificates of Conformance

Alle gevestigde leveranciers van geluidmeetapparatuur leveren hun instrumenten met een Certificate of Conformance (COC of MCOC). Dit vermeldt dat wordt voldaan aan de specificaties en de relevante normen. Dit moet niet verward worden met een kalibratiecertificaat. Een kalibratie certificaat bevat alle testresultaten, gegevens over de kalibratie – onzekerheid, de locatie en condities van de kalibratie en de herleidbaarheid. Het is van het grootste belang dat alle metingen een juiste herleidbaarheid hebben naar nationale en internationale normen en dat het kalibratie laboratorium is geaccrediteerd. Laat de kalibratie daarom uitvoeren door een laboratorium dat een internationaal erkend accreditatie programma volgt, bijv. de Europese Accreditatie. Geluidniveaumeters en kalibrators die voor officiële metingen van omgevingslawaai worden gebruikt, moeten één of twee keer per jaar door een geaccrediteerd laboratorium worden gekalibreerd.



# Kwalificatieniveau (Hinder en Toeslagen)

De hinder die van een bepaalde geluidbron wordt ondervonden verschilt sterk van persoon tot persoon. Ook niet akoestische factoren spelen een rol; is de lawaaibron economisch van belang voor de luisteraar, hoe prominent is de bron aanwezig, hoe denkt hij of zij er over e.d.

Akoestici hebben al vele jaren geprobeerd om dit soort factoren te kwantificeren, zodat objectieve beoordeling van geluidsoverlast mogelijk wordt, en aanvaardbare grenswaarden in te voeren.

Als het om grote groepen mensen gaat, dan komen de reacties uit op een gemiddelde. Hieruit is een "Rating Level ( $L_r$ )" – kwalificatieniveau ontwikkeld, in een poging om lawaai a.h.w. van een label te voorzien dat aangeeft hoe hinderlijk het gemiddelde publiek dit ervaart.



Bron: Nationale Deense Consumentenbond

Het Kwalificatieniveau wordt in ISO 1996-2 gedefinieerd. Het is eigenlijk een maat voor de lawaai-belasting, gecorrigeerd voor factoren waarvan bekend is dat ze de hinder vergroten.

De basisparameter is het A-gewogen, equivalent continu geluidsdruk-niveau  $L_{Aeq}$ .

De formule voor het kwalificatie-niveau is:

$$L_r = L_{Aeq} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

Waarin:

$K_I$  is een toeslag voor impuls-geluid

$K_T$  is een toeslag voor tonen en bepaalde kenmerken

$K_R$  is een toeslag voor de tijd van de dag

$K_S$  is een toeslag (kan positief of negatief zijn) voor bepaalde bronnen en situaties

ISO 1996-2 stelt dat het kwalificatieniveau over een referentieperiode bepaald moet worden, die rekening houdt met de eigenschappen van de bron(nen) en de luisteraar(s). Deze referentieperiodes zijn veelal in nationale of lokale voorschriften vastgelegd. De manier waarop de toeslagen worden gemeten en toegepast verschilt van land tot land, maar de grondbeginselen zijn dezelfde en worden in de volgende paragraaf beschreven.

### **Geluidpanorama – kwaliteit van het omgevingsgeluid**

Onderzoek naar de relatie tussen een lawaaibron en de reactie daarop, concentreert zich op verschillende zaken. Een daarvan is het concept van het geluidpanorama of – “landschap” waarin de subjectieve parameters die buiten de stad wonen zo plezierig maken vergeleken worden met fysieke grootheden, op vrijwel dezelfde manier als beoordeling van productiegeluid.

Het ontwerpen van zo'n geluidpanorama combineert de kunde van fysici, sociale wetenschappers, architecten en stadsontwikkelaars. Zo wordt geprobeerd grondbeginselen te definiëren en technieken te ontwikkelen waarmee de akoestische kwaliteit van de omgeving – het geluidpanorama – kan worden verbeterd. Dit kan inhouden dat bepaalde geluiden worden geëlimineerd (bestrijding), bepaalde geluiden juist worden behouden en het combineren en in evenwicht brengen van geluiden om een prettige en stimulerende akoestische omgeving te creëren.



## Kwalificatieniveau $L_r$ , hoeveel is teveel?

Internationale normen omschrijven wel hoe  $L_r$  moet worden bepaald, maar niet wat de grenswaarden zouden moeten zijn. Deze worden dan ook lokaal (of nationaal) vastgesteld. De verschillen in manier van leven, het klimaat, de uitvoering van gebouwen e.d. maken internationale harmonisatie van grenswaarden immers onmogelijk.



000133

Voorbeelden van gebruik van zonerings						
Zone	Planning		Wijziging		Alarm	
	Dag Limiet	Nacht Limiet	Dag Limiet	Nacht Limiet	Dag Limiet	Nacht Limiet
Rust en herstel	50	40	55	45	65	60
Woongebied	55	45	60	50	70	65
Gemengd	60	50	65	55	70	65
Industrie	65	55	70	60	75	70

## Drie toepassingen van grenswaarden

De Zwitsers – als voorbeeld van een nationale regeling – gebruikten drie soorten grenswaarden:

1. Voor nieuwe, industriële-, transport- en woongebieden.
2. Gevelbelasting voor huizen als gevolg van nieuwe installaties of wijziging aan bestaande
3. Alarm-waarden om gebieden aan te geven waar hoge prioriteit aan lawaaibestrijding wordt gegeven

Zones zoals die in de figuur hierboven, worden universeel gebruikt en geven verschillende grenswaarden afhankelijk van het gebruik van het gebied.

# Vaststelling van de Grenswaarden

*Referentie voor deze paragraaf: Regulations for Community Noise, Dieter Gottlop, Noise/News International, December 1995*



## Twee soorten grenswaarden

In de meeste landen worden absolute grenswaarden gebruikt. Daarbij wordt het  $L_r$  niveau vergeleken met een vaste grenswaarde van bijv. 50 dB(A).

In Groot-Brittannië bijvoorbeeld, worden relatieve grenswaarden toegepast. Het kwalificatieniveau  $L_r$  wordt vergeleken met het achtergrondniveau, gemeten als  $L_{AF90}$ .

## Industrielawaai

Bijna alle landen gebruiken  $L_r$  uit ISO 1996 bij het beoordelen van Industrielawaai. Japan gebruikt  $L_{50}$  en België  $L_{95}$ . De grenswaarde ligt rond de 50–55 dB(A). **De waarde van  $L_r$  wordt berekend uit  $L_{Aeq}$**  met toeslagen voor tonen ( $K_t$ ) en impulsgeluiden ( $K_I$ ).

De **referentieperiodes** verschillen van land tot land. Sommigen nemen alleen dag en nacht, sommigen combineren dag en nacht, terwijl anderen ook rustperiodes specificeren. Voor elk van de periodes worden verschillende beoordelingsprocedures gebruikt.

In sommige landen wordt het **luidste interval** in een periode gebruikt om voor intermitterend geluid te corrigeren. De tijdsduur kan variëren van 5 min. tot een uur.

Referentieperiodes			
Land	Dag	Rust	Nacht
	(Luidste interval)	(Luidste interval)	(Luidste interval)
Oostenrijk	6–22 (8 h)		22–6 (0,5 h)
België	1 h	1 h	1 h
Canada	7–23 (1 h)		23–7 (1 h)
Denemarken	7–18 (8 h)	18–22 (1 h)	22–7 (0,5 h)
Frankrijk	7–20	6–7 20–22	22–6
Duitsland	6–22 (16 h)	Werkdagen: 6–7, 20–22 Weekends: 6–9 13–15, 20–22	22–6 (1 h)
Hong Kong	7–23 (0,5 h)		23–7 (0,5 h)
Italië	6–22		22–6
Korea	6–18 (8 h)	18–24 (4 h)	24–6 (2 h)
Nederland	7–19	19–23	23–7
Zweden	7–18	18–22	22–7
Zwitserland	7–19		19–7
Engeland	7–23 (1 h)		23–7 (5 min)



000112

De **toeslag voor tonen** varieert tussen 0 dB en 6 dB. Sommige landen hebben één toeslag van 5 dB, anderen gebruiken twee of meer stappen. Meestal wordt de aanwezigheid van tonen subjectief vastgesteld, maar objectieve methoden (1/3 octaaf of FFT-analyse) komen steeds vaker voor.

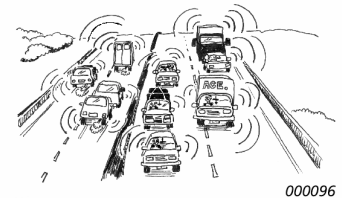
De **toeslag voor impulsgeluiden** kan tussen verschillende landen tot 7dB verschillen. Ook hier subjectief of objectief beoordeeld, in het laatste geval m.b.v. het verschil in aanwijzing tussen een Impulse en Fast A-gewogen meting. Men kan ook het type bron als uitgangspunt nemen (heistelling, pneumatische hamer e.d.)

Toeslagen voor tonen en impulsgeluiden		
Land	$K_T$ dB	$K_I$ dB
Australië	2 of 5	2 of 5
Oostenrijk	3 of 6	3 als $L_{AIMax} - L_{AFMax} < 2$ dB 5 als $L_{AIMax} - L_{AFMax} \geq 2$ dB
België	–	$L_{AIMax} - L_{AFMax}$ als $\geq 4$ dB
Denemarken	5	5
Frankrijk	5	3, 5 of 10 afhankelijk van tijdsduur en $L_{AFMax} - L_{Aeq}$
Duitsland	3 of 6	$L_{AFTeq} - L_{Aeq}$
Hong Kong	3 of 6	3
Korea	–	5
Nederland	5	5
Zwitserland	2, 4 of 6	2, 4 of 6
Engeland	5	5

## Wegverkeerslawaai

Wegverkeer is in alle landen de meest voorkomende lawaaibron en de meest overheersende oorzaak van hinder en verstoring. Maatregelen om verkeerslawaai te beteugelen hebben dan ook de hoogste prioriteit.

Grenswaarden voor wegverkeerslawaai				
Land	Index	Dag Limiet	Rust Limiet	Nacht Limiet
Australië	$L_{10}$ , 18 h	60		55
Oostenrijk	$L_{Aeq}$	50–55		40–45
Canada	$L_{Aeq}$	5		50
Denemarken	$L_{Aeq}$ , 24 h	55		
Frankrijk	$L_{Aeq}$	60–65		55–57
Duitsland	$L_r$	50–55		40–45
Nederland	$L_{Aeq}$	50	45	40
Spanje	$L_{Aeq}$	60		50
Zweden	$L_{Aeq}$ , 24 h	55		
Zwitserland	$L_r$	55		45
Engeland	$L_{Aeq}$	55		42



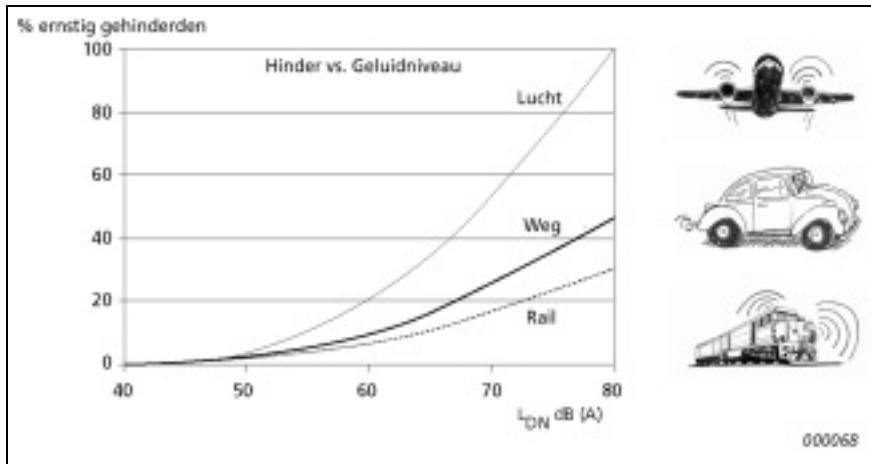
**$L_{Aeq}$  is de meest gebruikte parameter**, maar  $L_r$  en percentiel niveaus  $L_{10}$  en  $L_{50}$  worden ook gebruikt. Voor verkeer met een hoge dichtheid ligt  $L_{10}$  zo'n 3 dB boven  $L_{Aeq}$ , en  $L_{50}$  ongeveer 1–2 dB lager. De beoordeling maakt gebruik van verschillende referentieperiodes, afhankelijk van het land. Dat kan 24 uur zijn of drie aparte intervallen dag, rust en nacht. De nachtwaarden zijn gewoonlijk het moeilijkst te vervullen. Het tabel geeft de grenswaarden voor nieuwe wegen in diverse landen. De grenswaarden liggen vaak boven het niveau van 50–55 dB(A) dat door de wereldgezondheidsorganisatie (WHO) wordt aanbevolen. Het ontstaan van "grijze" gebieden is daarom in vrijwel alle landen onontkoombaar.

## Railverkeerslawaai

Net als bij het wegverkeer wordt voor railverkeerslawaai  $L_{Aeq}$  gebruikt. Sommige landen berekenen  $L_r$  (kwalificatieniveau) door 5 dB van de  $L_{Aeq}$  waarde af te trekken (de spoorbonus).

In Japan gebruikt men een maximum niveau  $L_{AS}$  max voor de Shinkansen hogesnelheidstrein. Het gebruik van maximum niveaus als de enige grenswaarde, heeft het nadeel dat het aantal treinen niet telt. De beoordeling gebeurt met verschillende referentieperiodes net als bij het wegverkeerslawaai.

De grenswaarden voor nieuwe situaties in woongebieden liggen tussen 60 en 70 dB, soms is de spoorbonus daarin al verdisconteerd. De spoorbonus is gebaseerd op een aantal studies over de hinder van wegverkeer- en railverkeerslawaai. Het effect is duidelijker bij hogere niveaus.



De grafiek hierboven geeft de dosiseffect relatie voor lucht-, rail- en wegverkeer. Het percentage ernstig gehinderden is afgezet tegen LDN niveaus (dat is  $L_{Aeq}$  verhoogd met 10 dB voor de nachtperiode 22:00 – 07:00). De grafiek laat zien dat lawaai van treinen lager scoort, en van vliegverkeer hoger, vergeleken met de hinder door verkeerslawaai bij dezelfde waarde van  $L_{DN}$ . Door de grote spreiding in de onderliggende gegevens is de grafiek alleen bedoeld ter illustratie.

## Vliegtuiglawaai

Het belangrijkste hulpmiddel om rond luchthavens het lawaai te beheersen is zonerings dat het gebruik van terreinen regelt, een goede planning en geluidsisolatie programma's.

Lawaai van lijn- en chartervliegtuigen is alleen rond de vliegvelden een probleem. De toename van het luchtverkeer en uitbreiding van de stad richting luchthaven verergeren het probleem, terwijl stillere vliegtuigen, en afspraken over het gebruik van het luchtruim rond het vliegveld, voor verlichting kunnen zorgen. Als een uiterste maatregel kunnen onderstaande woningen door isolatie van ramen en daken worden beschermd tegen het lawaai.

Contouren van het lawaai rond een vliegveld gebaseerd op eerdere metingen, m.b.v. INM (Integrated Noise Modelling).

55 – 60 dB = lichtblauw

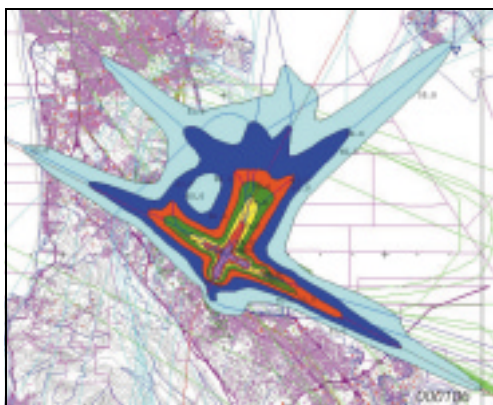
60 – 70 dB = donkerblauw

70 – 75 dB = rood

75 – 80 dB = groen

80 – 85 dB = geel

> 85 dB = roze



Grenswaarden voor Vliegtuiglawaai in zones			
Land	Geen beperkingen	Isolatie maatregelen	Geen nieuwe huizen
Australië	<53	53 – 58	> 58
Canada	≤57	60 – 62	> 68
China	≤54		
Denemarken	≤51	> 61	> 51
Frankrijk	<62	62 – 71	
Duitsland	<62	67 – 75	> 75
Japan	<54	> 69	
Nederland	≤50	53 – 60	> 50
Nieuw Zeeland	≤52	52 – 62	> 62
Noorwegen	≤55	55 – 65	> 55
Zweden	<51		
Zwitserland		62 – 72	> 62
Engeland	≤55	55 – 64	> 70
Ver. Staten	≤62		> 72
Note:	Alle grenswaarden als $L_{Aeq, 24h}$ waarden		

**Geluidscontouren** worden gebruikt om aan te geven wat de geluidsniveaus in een bepaald gebied zijn. Legt men de contouren over een kaart waarop grenswaarden voor lawaai staan aangegeven, dan kan worden vastgesteld waar maatregelen voor reductie nodig zijn.

Zogenaamde **“noise footprints”** laten de lawaaicontour van één enkel vliegtuig – of type vliegtuig – zien. Deze kunnen ook berekend worden aan de hand van de geluidspecificaties van elk vliegtuig, rekening houdend met het vliegpad en de kenmerken van het landschap. Hiermee kan de huidige en toekomstige situatie worden beoordeeld en helpen zo bij het vaststellen van maatregelen om het lawaai te verminderen.

# Het Meetrapport

Een van de meest ondergewaardeerde aspecten van het beoordelen van lawaai is het rapporteren van (meet)resultaten. Vaak worden alleen marginale gegevens vermeld, bv een paar dB waarden.

Als gevolg daarvan ontbreekt belangrijke informatie, waardoor de interpretatie op z'n minst moeilijk, zo niet onmogelijk wordt.

Om een volledig en begrijpelijk rapport op te stellen moet zorgvuldig aandacht worden besteed aan de situatie waaronder de metingen zijn uitgevoerd. Normen en aanbevolen werkwijzen helpen bij het maken van een meetrapport.

De normen hieronder genoemd geven het raamwerk voor welke gegevens moeten worden genoteerd en van welke informatie het wordt aangeraden om ze op te schrijven.

## **ISO 1996 vermeldt dat de volgende gegevens genoteerd moeten worden:**

- Meetresultaten
- Meettechniek
- Type instrument
- Meetprocedure
- Gebruikte berekeningen
- Heersende condities
- Atmosferische condities (windrichting en -snelheid, regen, temperatuur, luchtdruk, luchtvochtigheid)
- Soort terrein tussen bron en ontvanger
- Broneigenschappen (variërend, constant)
- Kalibratiegegevens
- Meetdatum – start/stop tijden
- Aantal metingen
- Beschrijving van de bron

## **Aanbevolen gegevens:**

- Doel van de meting
- Gebruikte normen
- Gebruikte apparatuur inclusief serienummers
- Kaart met bronlocaties, meetpunten, relevante objecten

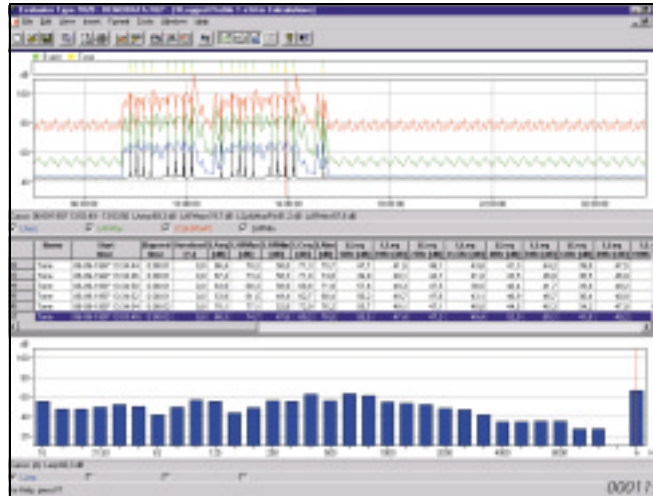
Het is ook van belang om rapporten in een makkelijk te begrijpen stijl te schrijven. Gebruik van grafieken, schetsjes en illustraties kan daarbij helpen.



000175

Als u veel meetrapporten maakt, dan is zorgvuldig archiveren van uw gegevens van vitaal belang, zodat u later oude gegevens weer kunt opvragen om met een nieuwe situatie te kunnen vergelijken. Enkele professionele software pakketten zijn voor dit doel overal verkrijgbaar.

Deze programma's stellen u in staat meetgegevens in te lezen, rapporten samen te stellen, gegevens op te slaan en weer op te vragen, rapporten af te drukken enz. Daarmee bespaart u de professionele akoesticus veel kostbare tijd.



Het lawaai dat op een bepaald punt aanwezig is kan worden berekend i.p.v. gemeten. Bovendien kan de voortplanting van lawaai van een meetpunt naar een ander punt ook worden berekend. In sommige gevallen verdient berekening de voorkeur, en is soms de enige praktische methode:

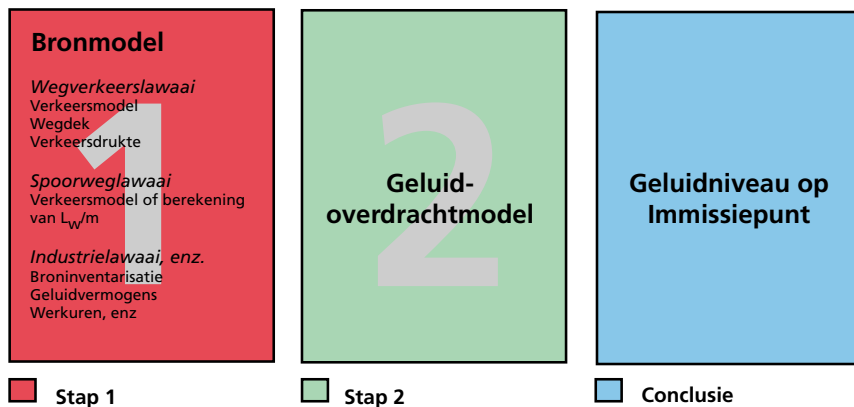
- Wanneer de te meten niveaus worden verstoord door een hoog achtergrondlawaai, bijv. als het lawaai van een industriecomplex moet worden bepaald, terwijl in de buurt een drukke weg is
- In situaties waar toekomstige niveaus moeten worden voorspeld
- Als alternatieve ontwikkelingen en scenario's voor reductie van het lawaai moeten worden vergeleken
- Als contourkaarten van het lawaai moeten worden gemaakt
- Het meetpunt moeilijk toegankelijk is

De berekeningen worden aan de hand van standaard algoritmen uitgevoerd. Deze zijn veelal nationaal bepaald en hangen vaak af van het soort bron. Daarom zijn ze alleen voor die bepaalde bron bruikbaar. Een uitzondering hierop vormt de internationaal aanvaarde norm ISO 9613, die aan de hand van het geluidvermogen van een bron de niveaus op het ontvangpunt kan bepalen. Omdat op basis van geluidvermogen wordt gerekend is de norm niet afhankelijk van het soort bron (ofschon er wel beperkingen zijn ten aanzien van sterk impulsieve bronnen, of die met hoge toerentallen draaien). De algoritmen zijn meestal geverifieerd door talloze metingen, en voor verschillende situaties; er worden nauwkeurigheden (onzekerheden) van ca. 3 dB bereikt, ongeveer zoals bij metingen ook het geval kan zijn.

## Berekening van Geluidniveaus (Voorspellen Lawaai-belasting)



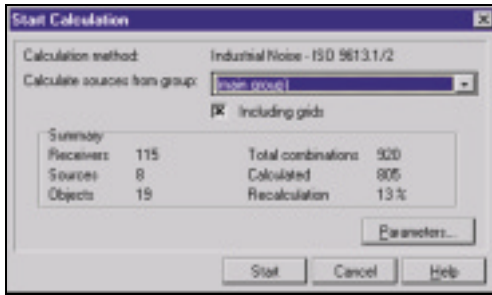
*Door de grote hoeveelheid gegevens is voor het berekenen van geluidniveaus meestal een computer nodig*



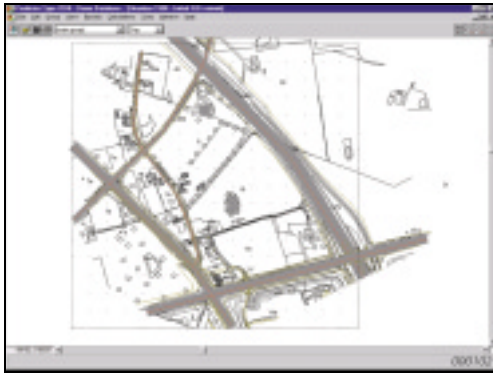
000128

*De algoritmen gaan allemaal uit van een tweedelijg model; de bron in het ene deel, en de voortplanting van het geluid in het andere deel. Hiermee wordt dan het niveau op het gewenste punt berekend*





Het berekenen van geluidniveaus op 115 immisiespunten van 8 bronnen vereist 920 berekeningen bij elke frequentie en voor elke verzwakkingsterm



Een eenvoudig model van een landelijke autoweg met een kruising, bronnen op de weg, stukken akoestisch harde bodem, topografische contouren en enkele ontvangpunten bij de gevels van gebouwen

Ofschoon er meer geavanceerde methodes beschikbaar zijn, zijn de meest gebruikte algoritmen empirisch bepaald en gebaseerd op enkele eenvoudige fysische beginselen. De meeste berekeningen kunnen in feite met pen en papier worden gedaan. Niettemin met het grote aantal rekenpunten en bronnen waar men in de praktijk mee te maken heeft is het gebruik van een computer niet alleen sneller, maar biedt ook betere presentatie- en rapportage mogelijkheden.

De berekeningen worden uitgevoerd aan de hand van een model van de omgeving, met daarin de geluidbronnen, de topografie en bijzonderheden die de geluidvoortplanting naar het ontvangpunt beïnvloeden. In het model worden één of meer rekenpunten ingevoerd, en vervolgens wordt de computer gevraagd de niveaus te bepalen. Gewoonlijk worden  $L_{Aeq}$  niveaus gebruikt maar octaafbandniveaus zijn ook mogelijk.

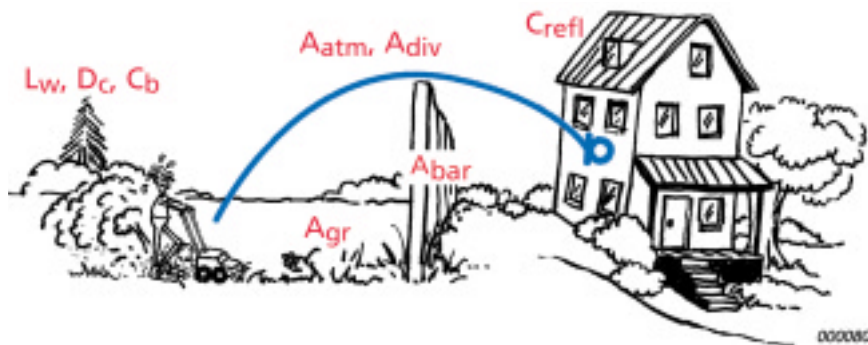
## De algoritmen

Deze zijn in principe eenvoudig te begrijpen. Het geluiddrukkniveau op een bepaald punt, veroorzaakt door een bron met een gegeven sterkte, kan met de volgende formule worden bepaald:

$$L_p = L_W + D_c + C_b - A_{voortplanting}$$

Hierin is:

$L_p$	Equivalent geluidniveau op het ontvangpunt in dB
$L_W$	Geluidvermogen van de bron in dB (t.o.v. 1 pW)
$D_c$	Richtingscorrectie in dB als de bron het geluid niet in alle richtingen gelijk afstraalt
$C_b$	Correctie in dB als de bron niet altijd actief is. Het langetermijn niveau wordt bijv. met 3 dB verlaagd als de bron 12 uur per dag werkt
$A_{voortplanting}$	Verzwakking in dB als gevolg van de voortplanting



Waar de individuele termen van de algoritme voorkomen

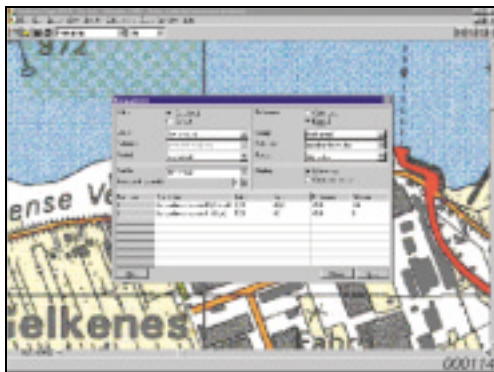
De verzwakkingsterm kan onderverdeeld worden in verscheidene fysische effecten:

$$A_{\text{voortplanting}} = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{gr}} + A_{\text{bar}} + A_{\text{misc}} + C_{\text{refl}}$$

waarin:

$A_{\text{div}}$	verzwakking door geometrische spreiding
$A_{\text{atm}}$	verzwakking door luchtabsorptie
$A_{\text{gr}}$	verzwakking door grondabsorptie/reflectie
$A_{\text{bar}}$	vrijeveld diffractie verzwakking door een obstakel of scherm
$A_{\text{misc}}$	verzwakking door diverse effecten (weersverandering, verstrooiing door bijv. pijplijnen)
$C_{\text{refl}}$	Correcties als gevolg van reflecties

Dit kan allemaal in breedband dB(A) niveaus worden berekend, maar ook in octaafbanden die vervolgens opgeteld het breedband niveau opleveren. De berekeningen in octaafbanden zijn nauwkeuriger en beter bruikbaar bij analyses welke geluidreducties nodig zijn.



*De meetresultaten verbeterden het model; gemiddeld werd een onzekerheid van minder dan 2 dB bereikt met een maximale afwijking van 2.6 dB*

## Controle van de geldigheid verschaft optimale nauwkeurigheid

Net als bij metingen moet de berekening “gekalibreerd” worden. Dit wordt meestal gedaan door op bepaalde punten een aantal metingen te doen en deze te vergelijken met de berekende waarden. De kalibratie van de berekening wordt – in tegenstelling tot metingen – na de eerste berekening uitgevoerd. Hiermee worden dan de resultaten tot een optimale nauwkeurigheid verfijnd. Men dient er voor te zorgen dat de activiteit van de bron gedurende de meting gelijk is aan die van de berekening.

De berekening bevat meestal een correctie voor de weersomstandigheden over de lange termijn. Wanneer metingen en berekeningen worden vergeleken, dient men bij stabiele weersomstandigheden te werken, met de wind van bron naar ontvanger. Worden de resultaten van één bepaalde dag gebruikt, dan kunnen makkelijk systematische fouten ontstaan doordat de wind – en/of grondcondities niet representatief zijn voor de normale situatie. Deze fout kan wel oplopen tot 10 dB. Bovendien zijn de gemeten waarden niet bronspecifiek en kunnen bijdragen bevatten van bronnen die geen deel uitmaken van het onderzoek. Het verdient daarom aanbeveling om over langere perioden te meten en m.b.v. nabewerking van de gegevens de ongewenste bijdragen te verwijderen.

In sommige gevallen – zoals mogelijk toekomstige scenario's inschatten – is controle van de geldigheid door uitvoeren van metingen niet mogelijk. Vergelijking met soortgelijke situaties en zorgvuldige analyse van de resultaten zijn nodig om tot een behoorlijke nauwkeurigheid te komen.

## Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van een bepaalde berekening hangt van verschillende factoren af. De belangrijkste zijn situatie, niveaus, bereik, gegevensinvoer en vakkundigheid.

Algoritmes zijn voor gebruik in verschillende situaties geoptimaliseerd.

Berekeningswijzen voor weg- en spoorlawaai zijn veelal gebaseerd op nationale gegevens over verkeerslawaai en kunnen in landen, waar de mix van voertuigen, of het gebruik en/of de condities anders zijn, van beperkt nut zijn. De nauwkeurigheid kan dus wisselen met het berekende niveau, waarbij de optimale nauwkeurigheid over een kleiner of groter bereik van geluidniveaus kan voorkomen. Meestal echter zijn de algoritmes zo ingericht dat de nauwkeurigheid over een groot bereik van geluidniveaus is verzekerd.

Het zorgen voor een goede gegevensinvoer is een groter probleem omdat het eindresultaat hiervan in hoge mate afhankelijk is. Gegevens over topografie, geluidvermogens van installaties en verkeersintensiteit moeten met zorg worden bekeken. Door gebruik van recente GIS of Autocad bestanden, het ter plaatse meten van geluidvermogen en op bepaalde controlepunten verkeersstellingen uitvoeren, kan het gebruik van onjuiste gegevens worden vermeden.



Tenslotte spelen ook vakkennis van, en ervaring met het bepalen van omgevingslawaai, en met het rekenen met een algoritme zelf, een belangrijke rol om tot optimale resultaten te komen. Als de algoritmen op de juiste manier worden gebruikt, in de situaties waarvoor ze zijn ontwikkeld, dan zijn nauwkeurigheden in de ordergrootte van 3 dB mogelijk.



000086

## Berekeningen vergeleken met metingen

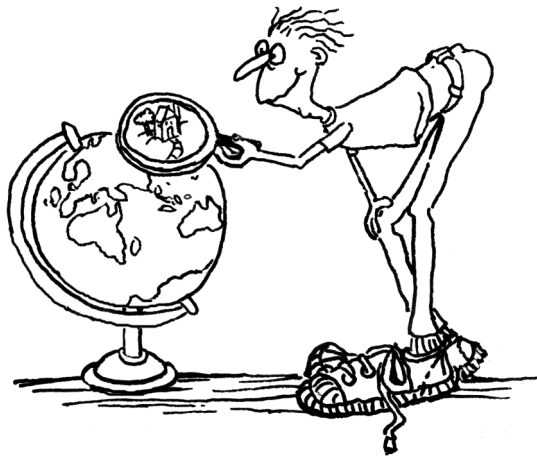
Voordelen	Nadelen
<ul style="list-style-type: none"><li>• Uitgebreide informatie over: Kritische bronnen Veel posities</li><li>• Onafhankelijk van weersomstandigheden</li><li>• Evaluatie van hypothetische situaties</li><li>• Eenvoudig up to date te brengen</li><li>• Minder gevoelig voor achtergrondlawaai</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Grote hoeveelheden gegevens (lawaai en geometrie)</li><li>• Nauwkeurigheid van het resultaat meer afhankelijk van akoestische kennis en van werken met "modellen"</li></ul>



Berekeningen kunnen, net als metingen, worden gebruikt bij het beoordelen van omgevingslawaai. Bovendien kunnen er bronnen mee worden aangegeven waarvan het niveau verminderd moet worden. Ook zijn hieruit beheersmaatregelen en het effect van toekomstige wijzigingen af te leiden, en er kunnen geluidkaarten met contouren worden samengesteld. (zie volgende paragraaf over planning).

Planning is een belangrijke factor bij het beheersbaar maken van omgevingslawaai. We kunnen daarbij twee niveaus onderscheiden:

- Globaal – het omgevingslawaai in een groot gebied wordt voortdurend onderworpen aan beheersmaatregelen, om te voorkomen dat lawaai problemen de kop opsteken en om het gebruik van beperkte middelen te optimaliseren
- Lokaal, waarbij individuele situaties vóór uitvoering worden geëvalueerd. Dit wordt wel een milieu-effect rapportage genoemd, deze vormt dan de basis voor de beslissing of nieuwe ontwikkelingen worden toegestaan.



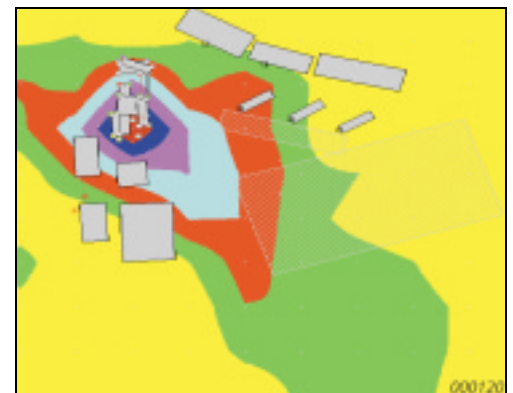
000099

## Lokaal

In veel landen moet een milieu-effect rapportage worden gemaakt alvorens plannen voor een nieuwe weg of een fabriek kunnen worden goedgekeurd. Vaak moet het gevolg voor het omgevingslawaai worden beoordeeld, hetzij door het stellen van een grenswaarde die niet mag worden overschreden, of door afweging van het lawaai en andere milieufactoren tegen de sociaal-economische voordelen van het voorstel. Hierdoor kan het nodig zijn het plan aan te passen om de invloed op de omgeving te minimaliseren, alvorens toestemming wordt verleend.

De hulpmiddelen om de invloed van lawaai te bepalen kunnen zijn:

- Lawaai kaarten met contouren
- Berekening van een gewogen lawaai-index
- Beoordeling van de kosten en het effect van maatregelen om lawaai te verminderen
- Gegevens van het aantal mensen dat aan bepaalde niveaus wordt blootgesteld



Lawaai kaart van een industrieel complex

## Gewogen lawaai-indices

Een gewogen lawaai-index is een maat voor de hinder die lokale bewoners van een bepaalde geluidbron ondervinden. Deze index kan zo worden samengesteld dat 0 betekent dat de niveaus acceptabel zijn omdat ze onder de aanbevolen grenswaarden vallen. Een voorbeeld van een gewogen lawaai-index is te vinden in de Deense regelingen voor de beoordeling van nieuwe wegen.

*De index wordt bekerend door de populatie te vermenigvuldigen met de blootstelling aan lawaai. In het hypothetische voorbeeld hierboven is de index 170*

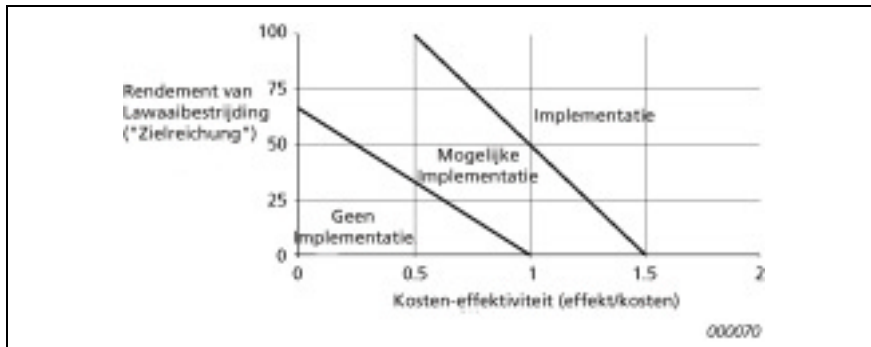
1	2	3	4
L <sub>DEN</sub>	Belastings Factor	Aantal mensen (1000)	Bevolkings Belasting (2×3)
< 45	0.0	20	0
46 – 50	0.1	30	3
51 – 55	0.2	40	8
56 – 60	0.4	65	26
61 – 65	0.8	60	48
66 – 70	1.5	20	30
71 – 75	3.0	10	30
< 76	5.0	5	25
TOTAAL		250	170

Om een typische gewogen lawaai-index te berekenen worden de gebouwen gegroepeerd naar gebruik (wonen, bedrijven/kantoren of industriëel). Deel de gebouwen in naar hun geluidniveaus in klassen van 5 dB. Vermenigvuldig het aantal in elke categorie met een hinderfactor, bepaald door het geluidniveau. Hoe lager het niveau, des te hoger de hinderfactor. Door alle indices van de verschillende klassen op te tellen verkrijgt men de gewogen lawaai-index, die dan gebruikt kan worden om de invloed van de ontwikkeling op het omgevingslawaai te beoordelen of eventueel alternatieven te vergelijken. Hoe lager de index, hoe kleiner de invloed op de omgeving.

Sommige indices gebruiken het aantal inwoners i.p.v. het aantal woningen, waarmee een bevolkings-lawaai-belastingsindex wordt verkregen. Een voorbeeld daarvan is de Noise Impact Index die door de Academy of Sciences in de V.S. is voorgesteld.

## Kosten en effect van maatregelen om het lawaai te reduceren

Wanneer men in Zwitserland kijkt naar vermindering van omgevingslawaai in een bepaalde situatie, dan wordt de doelmatigheid van de maatregelen vergeleken met de kosten. Als de maatregelen het lawaai tot onder de wettelijke waarden op alle plaatsen weten te verminderen en de kosten zijn redelijk dan worden ze uitgevoerd. Als de reductie onvoldoende is om onder de wettelijke grenswaarden te komen, en de kosten zijn hoog, dan worden de maatregelen niet genomen. Het zal duidelijk zijn dat er een grijs gebied is waarin de beslissing door andere factoren wordt bepaald (zie hieronder).



*Of een geluidbeperkende maatregel wordt genomen hangt af van de kosten (doelmatigheid) en het effect*

## Globaal

Globale, of strategische, plannen t.a.v. lawaai zijn erop gericht om lawaai problemen te voorkomen, optimaal gebruik te maken van schaarse middelen (ruimte) door het maken van lawaai kaarten, en het omgevingslawaai in een groot gebied, zoals bijv. een stad te beheersen.

Het in kaart brengen van lawaai wordt voor luchthavens al overal toegepast. De 65 dB en 55 dB contouren van de luchthavens worden gebruikt om de planning van nieuwe start- en landingsbanen te beoordelen en omwonenden te compenseren.



*Lawaaikaarten kunnen als volgt worden gemaakt:*

- door invoeren van resultaten van korte- en langetermijn geluidmetingen
- door invoeren van gegevens van permanente geluidmeetposten
- door berekeningen



Op dit moment is de Europese Unie – op basis van de Noise Pollution Green Paper 1996 – bezig met het ontwikkelen van een European Union Noise Policy. Hierin staan aanwijzingen voor het gebruik van lawaai kaarten, welke kaarten te maken en hoe. Voorgesteld wordt om  $L_{DEN}$  en  $L_{night}$  (de  $L_{Aeq}$  - nachtwaarde) van verschillende bronnen (weg, spoor, industrie e.d.) in lawaai kaarten op te nemen, op een meethoogte van 4 m boven de grond. Het totaal niveau van verschillende bronnen kan met een gegeven methode worden bepaald. De Europese Unie streeft ernaar dat alle steden met meer dan 250 000 inwoners – met gebruikmaking van de huidige modellen – een kaart van het verkeers- en industrielawaai maken. Later moeten dan geharmoniseerde modellen worden gebruikt.

Als het effect van omgevingslawaai voor de burgers moet worden verminderd, dan is het volgende van belang:

- de lawaaibronnen
- de weg die het geluid aflegt
- het type huizen waarin de mensen wonen

De meest voorkomende bron van omgevingslawaai is wegverkeer. Dit is in Europa verantwoordelijk voor meer dan 90% van onaanvaardbare niveaus (dagwaarde  $L_{Aeq} > 65 \text{ dB(A)}$ ). Andere vormen van transport zoals treinen en vliegtuigen veroorzaken ook lawaai, en hoewel meer een lokaal probleem, kunnen er veel mensen door gehinderd worden. Bij toenemende afstand tot de bron neemt lawaai buiten af. Dit komt omdat de geluidenergie over een steeds groter oppervlak wordt verspreid, en door absorptie van de atmosfeer en de grond. Geluidschermen of andere obstakels kunnen het lawaai verder verminderen. De geluidisolatie van gebouwen zelf is de laatste hinderpaal bij het mogelijk binnendringen van omgevingslawaai.

### De bron

De meeste landen stimuleren fabrikanten van auto's en vrachtwagens – door het stellen van grenswaarden aan individuele voertuigen – om stillere produkten te maken. De grenswaarden van dit zgn. “pass-by” geluidniveau zijn in de afgelopen 20–30 jaar voor personenauto's met zo'n 8 dB(A) verlaagd en voor vrachtwagens 15 dB(A).

Enkelen nationale regeringen (bijv. Noorwegen en Italië) hebben wetgeving ingevoerd, waarin de geluidemissie van voertuigen onder normale bedrijfscondities wordt bepaald. Deze tests worden gewoonlijk door garages uitgevoerd als onderdeel van de normale controle van de conditie van het voertuig; soms worden steekproeven genomen.

Niettemin is door het steed groeiende aantal voertuigen het totale lawaai niet verminderd.

Het wegdek kan ook worden verbeterd om lagere geluidniveaus te bereiken. Open asfalt en andere nieuwe oppervlakken kunnen reducties van 2–6 dB(A) opleveren. Spoorlawaai wordt minder door toepassing van gelaste rails op liggers met elastische, geluiddempende stootkussens of matten.

## Lawaaibestrijding



000137



## Het transmissiepad

Een voor de hand liggende methode om lawaai te verminderen is om de mensen zo ver mogelijk van de bron verwijderd te houden. Meestal is het niet praktisch uitvoerbaar, dus is aanvullende verzwakking door schermen noodzakelijk. De hoogte van het scherm en de positie van de bron en/of de ontvanger ten opzichte daarvan, zijn cruciaal voor de hoeveelheid reductie die kan worden bereikt. Goede resultaten van schermen met een hoogte van 1.5 m (Japanse spoorwegen) tot 10m (luchthaven activiteiten op de grond – V.S.) zijn gerapporteerd. Voor het afschermen van wegverkeerslawaai zijn de hoogtes gewoonlijk tussen 3 en 7 m. De bereikbare vermindering wordt ook beïnvloed door het frequentiespectrum van de bron(nen). Lage frequenties worden veel minder verzwakt dan hoge frequenties.

In sommige gevallen kunnen de prestaties van een scherm door het aanbrengen van absorptiemateriaal worden verbeterd. Ook door schermen onder een hoek te plaatsen of glooiend te laten verlopen worden meervoudige reflecties grotendeels vermeden.



## Geluidisolatie van gebouwen

De laatste stap om er verzekerd van te zijn dat mensen in hun huizen niet door omgevingslawaai worden gehinderd, is te zorgen voor voldoende geluidisolatie. Dit wordt gevelisolatie genoemd en wordt gemeten als een gestandaardiseerd niveauverschil ( $D_{nT,tr}$ ) of een Geluidreductie Index ( $R'_{tr}$ ). Verschillende landen benaderen dit op verschillende manieren zoals blijkt uit de volgende voorbeelden:

- In sommige landen is een minimale waarde voor de gevelisolatie vereist.
- In andere (GB) is aanvullende isolatie voorgeschreven wanneer de externe niveaus hoog zijn (luchthavens, wegverkeer).
- Nieuwe huizen mogen in gebieden met een hoog omgevingslawaai niet worden gebouwd (Planning and Policy Guidance 24 in GB).
- Het resulterende niveau binnen is geklassificeerd als slecht boven 35 dB(A) en zeer goed bij minder dan 20 dB(A). (Voorstel: Sound Classification of Dwellings, Draft INSTA 122:1997)



# Bemand of Onbemand

## Waarom moet u erbij zijn?

Voor het vastleggen van omgevingslawaai kan de speciale meetapparatuur van tegenwoordig in 't veld worden achtergelaten, waarna de gegevens worden doorgezonden naar kantoor. Dit is de meest eenvoudige en economische manier om de omgevingslawaai-situatie te beoordelen, en nodig als metingen op langere termijn, of gelijktijdig op meerdere plaatsen moet worden uitgevoerd.

In sommige gevallen echter is het van vitaal belang dat de technicus aanwezig is:

- de meetopstelling wijzigen of verbeteren
- controleren of de metingen representatief zijn
- identificatie van bepaalde bronnen
- achtergrondlawaai beoordelen
- voorkomen dat de meting wordt verstoord
- zorgen dat in de buurt niet met lawaai-gerede gereedschap wordt gewerkt
- bemiddelen in conflicten over milieuaspecten

Bemande metingen worden vaak onder moeilijke omstandigheden verricht - er is weinig tijd, de meetplek is slecht toegankelijk, er is geen netspanning, er zijn onverwachte verstoringen, en de technicus krijgt geen tweede gelegenheid om de metingen te doen. Dus is apparatuur nodig die:

- makkelijk te vervoeren, op te stellen en te bedienen is
- bronnen en verstoringen markeert
- alle gewenste parameters gelijktijdig meet
- de meetgegevens van tijdinformatie voorziet



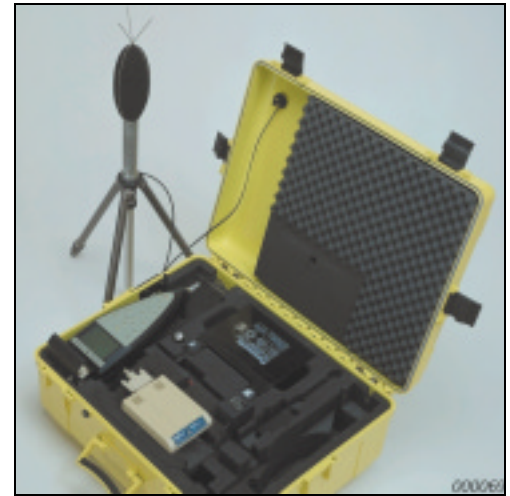
000081



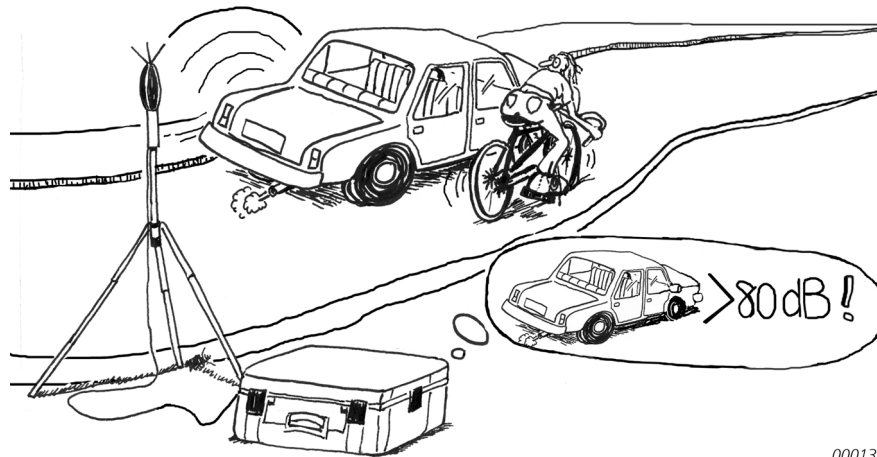
Door alle parameters gelijktijdig te meten zijn de gegevens met elkaar vergelijkbaar en is een tweede meetsessie niet nodig

Voor onbemande metingen moet de apparatuur met grote zorg worden opgesteld, aangezien alles zonder enig toezicht moet werken. Dit vereist tevens:

- een groot dynamisch bereik
- opslaan van metingen (bijv. elke seconde of minuut)
- identificatie van markante geluiden



De GPS (Global Positioning System) eenheid, voert de coördinaten van de meetplaats naar de geluidniveaumeter voor combinatie met de gegevens van de geluidniveaus



000132



*Voor onbemande metingen moet de microfoon beschermd zijn tegen wind, regen en vogels! Niettemin moet de toegankelijkheid t.b.v. inspectie en kalibratie makkelijk zijn*

- gelijktijdige meting van alle parameters
- opnamen om bronnen te identificeren
- opslag van weergegevens
- tijdinformatie bij de meetgegevens
- grote opslagcapaciteit
- automatische kalibratie controle
- meetgegevens en instellingen op afstand op te roepen (bij voorkeur)
- noodvoeding
- weerbestendige microfoon en behuizing
- beschermd tegen geknoei en dieren

### **Efficiënte combinatie**

Vaak is een combinatie van bemande en onbemande metingen de meest efficiënte oplossing; de bemande meting voor een eerste oriëntatie en controle metingen, en de onbemande voor permanente geluidsbewaking en metingen over langere periodes.



*Onbemande metingen kunnen ook met een geluidniveau-meter voorzien van een speciale behuizing worden uitgevoerd, hier afgebeeld met een extra voeding, een DAT recorder voor de identificatie van geluidbronnen en een GSM modem voor het doorsturen van de gegevens naar een PC in 't kantoor*



## De vrede bewaren

Permanente geluidbewaking, 24 uur per dag, 365 dagen per jaar, die kijkt of de grenswaarden niet worden overschreden heeft ook nog een groot aantal andere voordelen. Permanente geluidbewaking wordt door een groeiend aantal organisaties gebruikt.

## Luchthavens

Voor de grote luchthavens is het permanent bewaken van de geluidniveaus van essentieel belang aangezien lawaai voor de omwonende de belangrijkste bron van klachten is. De luchthaven autoriteiten hebben regels opgesteld met het doel om de gevolgen van de activiteiten zoveel mogelijk te reduceren. Men hoopt dat de maatschappijen en hun piloten zich aan deze voorschriften houden, en klachten daardoor zoveel mogelijk worden voorkomen.

Het is meestal nodig om naast de gegevens over het lawaai ook informatie te hebben over het vliegpad dat aankomende en vertrekkende vliegtuigen volgen. Gewoonlijk komt deze informatie van de vliegveld radar, zodat in combinatie met de gemeten geluidniveaus het eenvoudig is om vast te stellen welk vliegtuig te hoge niveaus heeft veroorzaakt.





## Steden

Permanente geluidbewaking in steden bestrijkt:

- de industrie
- bouwlocaties
- belangrijke wegen
- belangrijke spoorwegen
- sport arena's, openluchtconcerten, tentoonstellingsterreinen

Geluidbewaking wordt meestal toegepast als aan stricte geluideisen moet worden voldaan, of om klachten, claims en rechterlijke stappen te voorkomen. Permanente geluidbewaking kan bepaalde trends volgen en helpen bij het opstellen van lawaai kaarten.



## Permanente geluidbewakingssystemen

Deze systemen zorgen voor automatische opslag van meetgegevens, 24 uur per dag, niet alleen voor geluid maar ook andere relevante parameters (bijv. windsnelheid).

Alle meetresultaten worden in de meetpost verzameld en periodiek naar de centrale computer gestuurd, waar de gegevens worden verwerkt en opgeslagen. Het aantal benodigde meetposten hangt af van het gebied dat men wil bestrijken. Systemen bestaan veelal uit 10-30 meetposten maar er zijn systemen met 100 meetposten.



*Permanent meetstation in Madrid*

Een geluidmeetpost bestaat in wezen uit een weerbestendige microfoon, een systeem voor analyse en opslag van meetgegevens en een transmissiesysteem – bijv. aansluiting op een telefoonlijn – om de gegevens te versturen.

De normaal gebruikte analysators meten een reeks geluidparameters waaronder  $L_{Aeq}$  en  $L_N$  niveaus, maar ook detectie van markante geluiden, zgn. “events”. Sommige bieden de mogelijkheid van 1/3-octaf analyse in real-time, waarmee direct indices zoals  $L_{PN}$  (Perceived Noise Level) van elk overvliegend vliegtuig kunnen worden berekend. De meetposten zijn vaak verbonden met een centrale post om daar de gegevens van de verschillende plaatsen te kunnen bekijken en analyseren. De momentele en lange termijn gemiddelde niveaus kunnen op een groot scherm voor het publiek zichtbaar worden gemaakt.

De bewustwording van het publiek en de verstandhouding met de luchtvaartautoriteiten kan erdoor worden verbeterd. Speciaal ingerichte meetwagens kunnen als mobiele meetposten worden gebruikt. Ze zijn meestal voorzien van GPS en kunnen de gegevens via mobiele telefoonlijnen naar een centrale computer sturen. Voor alle metingen is het essentieel dat de apparatuur voldoet aan Type 1 specificaties (zie Internationale Norm IEC 60651).

Omdat meetstations gedurende langere periodes worden gebruikt, zijn ze onderhevig aan de invloeden van vochtigheid, temperatuur, wind, corrosieve atmosfeer en dieren (vogels). Vooral de microfoon is kwetsbaar omdat die het meest is blootgesteld aan de lucht.

Om beschadiging te voorkomen is een speciale weerbestendige microfoon, gemaakt van corrosie-bestendige materialen, en voorzien van een bescherming tegen luchtvochtigheid, aan te bevelen.

Het heeft ook voordelen als het systeem automatisch kan verifiëren of alles goed werkt, bijv. met behulp van CIC (Charge Injection Calibration).

Permanente geluidbewakingssystemen hebben meestal een groot gegevensbestand voor analyses, onderzoek naar de invloed van lawaai, en evaluaties. Markant lawaai en klachten kunnen met elkaar in verband worden gebracht, en gecombineerd met GIS (Geographic Information System) – digitale cartografie – zodat zichtbaar is waar de grootste lawaaielasting zich voordoet.



*Permanente meetposten rond de luchthaven van Wenen*

# Internationale Normen

Bij het beoordelen van omgevingslawaai zijn internationale normen van belang; ze kunnen direct worden toegepast of ze dienen als uitgangspunt voor nationale normen. Dit gedeelte gaat over enkele van de meest belangrijke normen. Er zijn twee grote internationale lichamen die zich met normalisatie bezighouden.

De International Organisation for Standardisation (ISO) belast zich met de methodiek om ervoor te zorgen dat resultaten door het vastleggen van procedures met elkaar vergelijkbaar zijn. De International Electrotechnical Commission (IEC) houdt zich bezig met instrumentatie zodat instrumenten aan bepaalde eisen voldoen en onderling uitwisselbaar zijn zonder dat dit leidt tot verlies van nauwkeurigheid of gegevens.

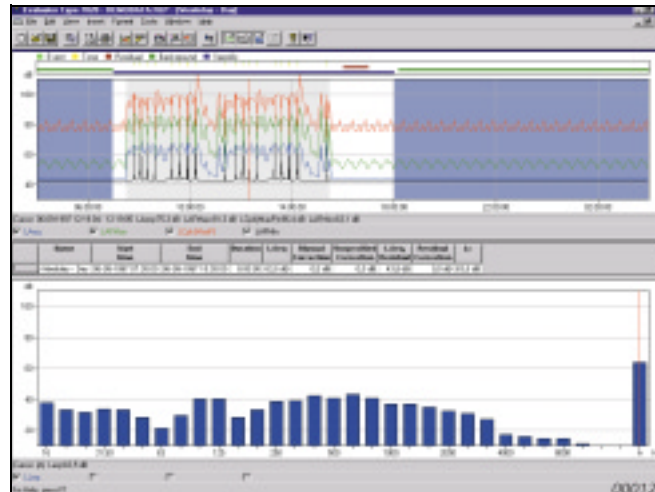
## ISO 1996 – Beoordeling van omgevingslawaai

ISO 1996 “Acoustics and Measurement of Environmental Noise” neemt in de beoordeling van omgevingslawaai een centrale plaats in, en wordt beschouwd als de referentie op dit gebied. De norm is in drieën verdeeld:

- Deel 1 1982: Eenheden en procedures
- Deel 2 1987: Verzamelen van gegevens m.b.t. gebruik van een gebied (gewijzigd in 1998)
- Deel 3 1987: Toepassing van grenswaarden

Het bevat omschrijvingen van de terminologie, waaronder de Rating Level parameter, en geeft aanwijzingen voor de beste manier van werken om omgevingslawaai te beoordelen.

ISO 1996 wordt momenteel herzien, met vooral aandacht voor de meettechnieken met moderne apparatuur, verbetering van de procedures, zoals identificatie van tonen, en informatie over het effect van lawaai afkomstig van verschillende bronnen.



*Het berekenen van de lawaaiklasse (rating level) van een bepaalde bron over de referentieperiode kan toelagen bevatten voor bijv. tonen*

## ISO 3891 – Meten van Vliegtuiglawaai

ISO 3891 “1978 Acoustics – Procedures for Describing Aircraft Noise Heard on the Ground” gaat over de geluidsbewaking van vliegtuiglawaai (geluidmeting, registratie, verwerking en presentatie van de gegevens). Deze norm wordt momenteel herzien. Verwacht wordt dat beschrijving en meting van vliegtuiglawaai waargenomen op de grond zal worden omschreven, en onbemande meting/bewaking van vliegtuiglawaai en het beheer van de luchthaven en de omliggende regio.



## ISO 9613 – Berekeningen

ISO 9613 “Acoustics – Attenuation of Sound during Propagation Outdoors”, is verdeeld in tweeën:

Deel 1 1993: Berekening van absorptie van geluid door de atmosfeer

Deel 2 1996: Algemene berekeningsmethoden

Omschreven wordt een berekeningsmethode in octaven, gebaseerd op puntbronnen met een bepaald geluidvermogen. Lijnbronnen kunnen uit puntbronnen worden opgebouwd.

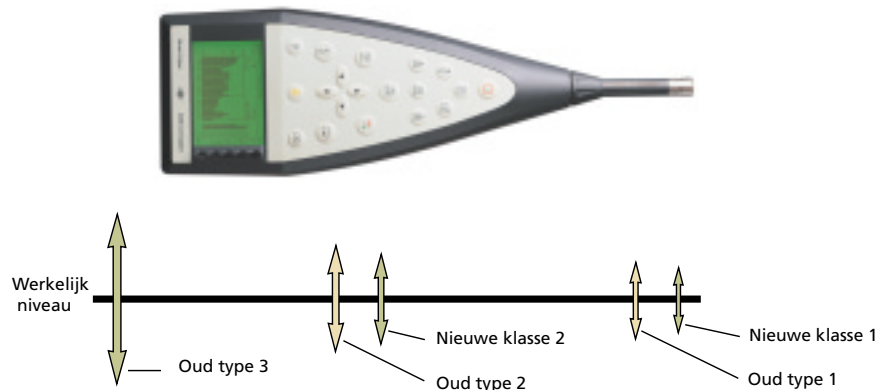


## IEC 60651, IEC 60804 en IEC 61672 Geluidniveaumeters

Deze normen zijn samengevoegd omdat ze allemaal over geluidmeters gaan. De internationale normen voor geluidmeters worden overal ter wereld erkend. Ze zijn belangrijk omdat alle normen over meten verwijzen naar normen voor geluidmeters om aan te geven welke apparatuur nodig is.

In de meeste landen is voor uitvoeren van metingen van omgevingslawaai apparatuur van Type 1 voorgeschreven.

- IEC 60651 – Geluidniveaumeters (1979 – 1993): Geluidniveaumeters worden naar vier klassen van nauwkeurigheid ingedeeld (Type 0,1,2 en 3). Eigenschappen als richtingsgevoeligheid, frequentie- en tijdweging en gevoeligheid voor omgevingsinvloeden worden gespecificeerd. Testprocedures om specificaties te verifiëren worden ook gegeven.
- IEC 60804 – Integreernde geluidniveaumeters (1985, 1989, 1993): Aanvullende norm voor IEC 60651, waarin dit type instrument wordt beschreven (meten van  $L_{eq}$ )
- IEC 61672 – Geluidniveaumeters: een nieuwe ontwerpnorm voor geluidniveaumeters die IEC 60651 en IEC 60804 gaat vervangen. Belangrijkste wijziging: betere specificaties, Type 3 verdwijnt. Het zou moeten betekenen dat de kwaliteit van de apparatuur verder wordt verhoogd en de nauwkeurigheid toeneemt.



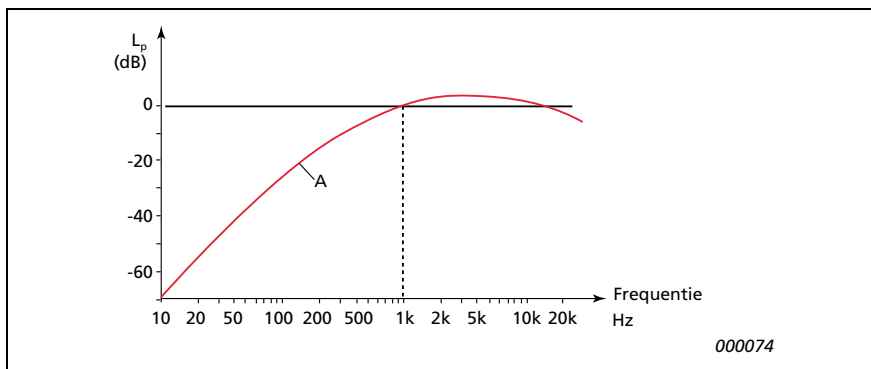
000073

*Schematische voorstelling van de toename in nauwkeurigheid als gevolg van de nieuwe norm voor geluidniveaumeters. De peilen geven de relatieve meetfout aan*

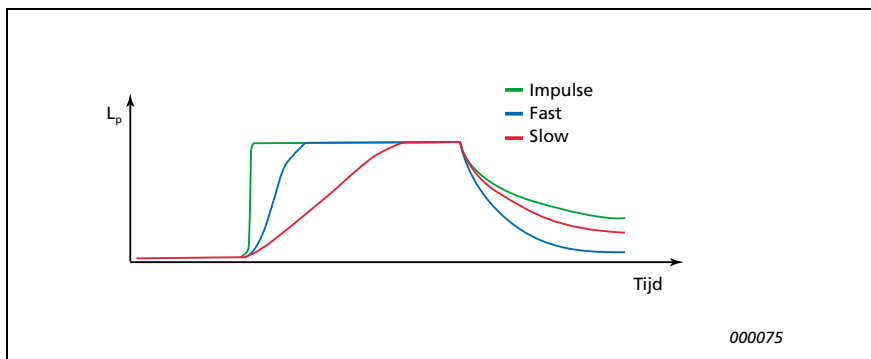
# Parameters en Terminologie voor Omgevingslawaai

Voor het beoordelen van omgevingslawaai en de reacties van het publiek daarop, worden een groot aantal parameters gebruikt. De zeer uiteenlopende reacties van individuen en de eigenschappen van het geluid (niveau, frequentie-inhoud, puls-achtig, intermitterend enz.) heeft geleid tot vele pogingen om met één enkel getal het effect van het geluid te kwantificeren. Hieronder staan de meetse parameters die algemeen in gebruik zijn vermeld.

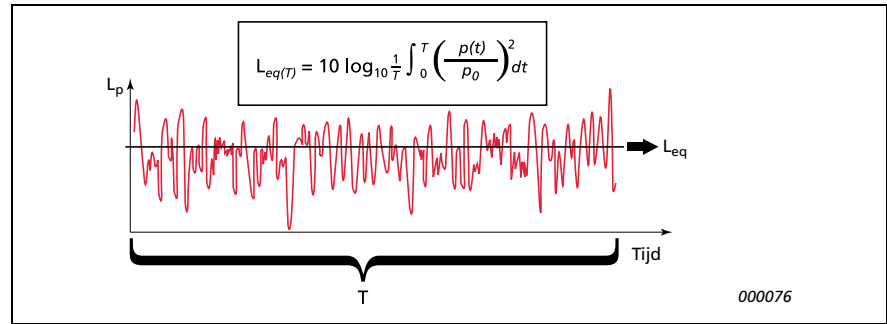
**“A” frequentieweging:** dit is de methode om het signaal in een geluidmeter zo te filteren dat de reactie van het gehoor voor een bepaald gebied van frequenties wordt nagebootst. Als uitgangspunt is de 40 dB contour van gelijke luidheid gekozen. De symbolen die voor de geluidparameter worden gebruikt, bevatten vaak de toevoeging “A” ten teken dat de frequentieweging is gebruikt (dB(A),  $L_{Aeq}$  e.d.).



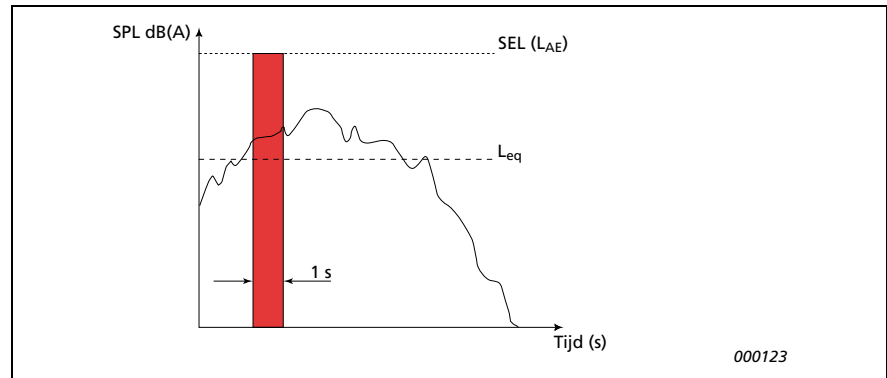
**Fast, Slow en Impulse tijdweging:** van begin af aan werden in geluidmeetinstrumenten genormaliseerde “tijdconstanten” ingebouwd om fluctuerende niveaus af te lezen. Normen voor meting van omgevingslawaai geven meestal aan welke tijdweging (F,S of I) gebruikt moet worden.



**$L_{Aeq,T}$** : Een veel gebruikte geluidparameter die berekent wat het niveau is van een constant lawaai, dat dezelfde energie-inhoud heeft als het wisselende niveau over de meetperiode. De toevoeging “A” geeft aan dat A-weging is gebruikt en “eq” dat een equivalent niveau is berekend. Dus  $L_{Aeq}$  is het A-gewogen equivalent continu geluidniveau.

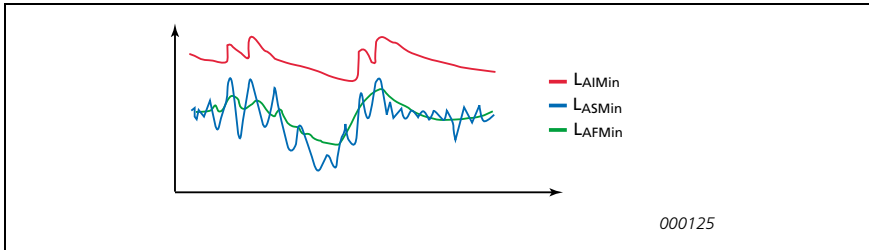
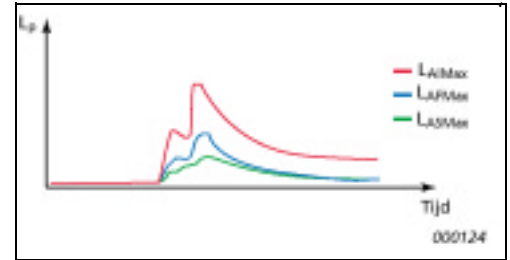


**$L_{AE}$ : Sound Exposure Level (SEL)**: een parameter – nauw verbonden met  $L_{Aeq}$  – die wordt gebruikt voor markante geluiden (treinen, vliegtuigen) met gelijksoortige eigenschappen maar van verschillende duur. De  $L_{AE}$  waarde bevat dezelfde akoestische energie, teruggerekend naar een genormaliseerde periode van 1 seconde, als het werkelijk gemeten geluid. (Het wordt ook wel geluidbelastingsniveau genoemd).

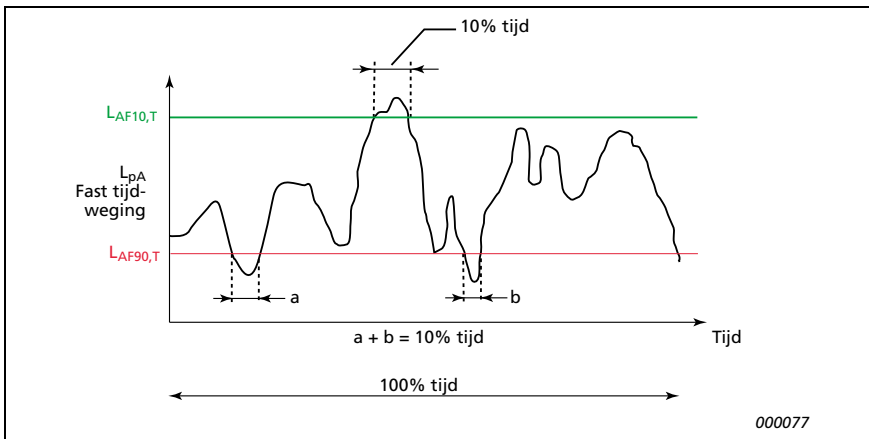


**$L_{AFMax}$ ,  $L_{ASMax}$  of  $L_{AIMax}$ :** de maximum waarde van het A-gewogen geluidniveau gemeten met Fast (F), Slow (S) of Impulse (I) tijdweging. Het zijn de hoogst waargenomen geluidniveaus gedurende de meettijd. Ze worden vaak in combinatie met bijv.  $L_{Aeq}$  gebruikt om na te gaan of een enkel markant geluid een grenswaarde niet overschrijdt. Het vermelden van de tijdweging (F,S of I) is essentieel.

**$L_{AFmin}$ ,  $L_{ASmin}$  of  $L_{AImin}$ :** het laagst gemeten, A-gewogen geluidniveau met Fast (F), Slow (S) of Impulse (I) tijdweging, gedurende de meettijd.




**$L_{AFN,T}$  Percentiel niveaus:** het A-gewogen geluidniveau dat N% van de tijd wordt overschreden. In sommige landen wordt  $L_{AF90,T}$  (geluidniveau 90% van de tijd overschreden) of  $L_{AF95,T}$  gebruikt als een maat voor het achtergrondniveau. Ook hier moet de tijdweging (meestal Fast) worden aangegeven.





$L_{Aeq}$	47 dB
$K_I$	6 dB
$K_T$	3 dB
$K_R$	6 dB
$K_S$	0 dB
$L_R$	62 dB



000129

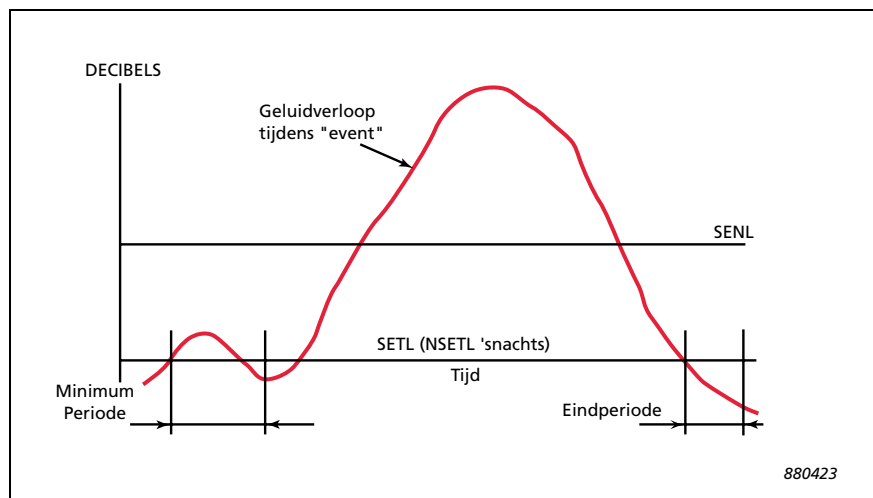
**$L_{Ar,Tr}$  Rating level:** het A-gewogen equivalent continu geluidniveau ( $L_{Aeq,T}$ ) over een bepaalde periode met correcties voor impulsief, intermitterend en tonaal geluid. In 't algemeen wordt het niveau berekend met:

$$L_{Ar,Tr} = L_{Aeq,T} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

In sommige landen wordt subjectief bepaald wat de aard van het geluid in kwestie is. In andere wordt objectief vastgesteld of een geluid tonen bevat of impulsief is.

Bijv. (1) het niveau in een 1/3-octaaftband dat het niveau van twee naastliggende banden met 5 dB of meer overschrijdt geeft aan dat er sprake is van tonen. (2) een meting van het verschil tussen een Impulse en A-gewogen  $L_{eq}$  meting ( $L_{AIm,T}$  en  $L_{Aeq}$ ) is een indicatie voor de aanwezigheid van impulsgeluid.

**Parameters voor vliegtuiglawaai:** als vliegtuiglawaai wordt beoordeeld als een gewone lawaaibron (en dat is meestal het geval) dan zijn de omgevingslawaai parameters  $L_{ASmax}$  en  $L_{AE}$  (als LAX in sommige oudere normen) voor eenmalige geluiden en  $L_{Aeq,T}$  voor opeenvolgende geluiden nodig. In het geval van vliegtuigcertificatie wordt een meer gedetailleerde analyse van het 1/3 octaaf spectrum, met intervallen van 0,5 seconde, gemaakt. Het perceived noise level ( $L_{PN}$ ) wordt dan berekend door de geluiddrukkniveaus om te zetten naar "perceived noisiness" waarden volgens de ICAO annex 16 norm.



Als het lawaaispectrum van het vliegtuig duidelijke tonen bevat, dan wordt een correctie van max. 6,7 dB opgeteld bij de waarde van  $L_{PN}$  om de waarde van het toon-gecorrigeerde  $L_{TPN}$  te verkrijgen. Het totale subjectieve effect van het overvliegen van een vliegtuig moet ook de tijdsduur meenemen. Dit wordt bereikt door het toon-gecorrigeerde  $L_{TPN}$  te integreren om het effectieve perceived noise level,  $L_{EPN}$  te krijgen. Voor nadere details verwijzen wij naar ISO 3891.

**LDN:** dag/nacht gemiddeld niveau. Dit is een  $L_{Aeq}$  met 10 dB(A) toeslag voor de periode van 22:00 – 07:00 uur om te corrigeren voor de hinder tijdens de nachtperiode.

**Frequentiespectrum:** in onderzoeken van omgevingslawaai wordt vaak onderzocht dat de enkele waarde van bijv.  $L_{Aeq}$ , de aard van het geluid niet volledig weergeeft. Als de bron lawaai veroorzaakt waarin duidelijke tonen voorkomen, dan is het meten van het frequentiespectrum in octaven, 1/3-octaven of nog smaller, FFT, aan te bevelen. Bij de berekening (voorspelling) van geluidniveaus wordt vaak met octaafbanden gewerkt om rekening te houden met frequentie-inhoud van bronnen en de geluidvoortplanting.

**Geluidvermogen** is het akoestisch vermogen (W) dat door een geluidbron wordt afgestraald. Dit vermogen is in wezen onafhankelijk van de omgeving; de geluiddruk daarentegen hangt af van de afstand tot de ontvanger, reflecterende oppervlakken e.d.

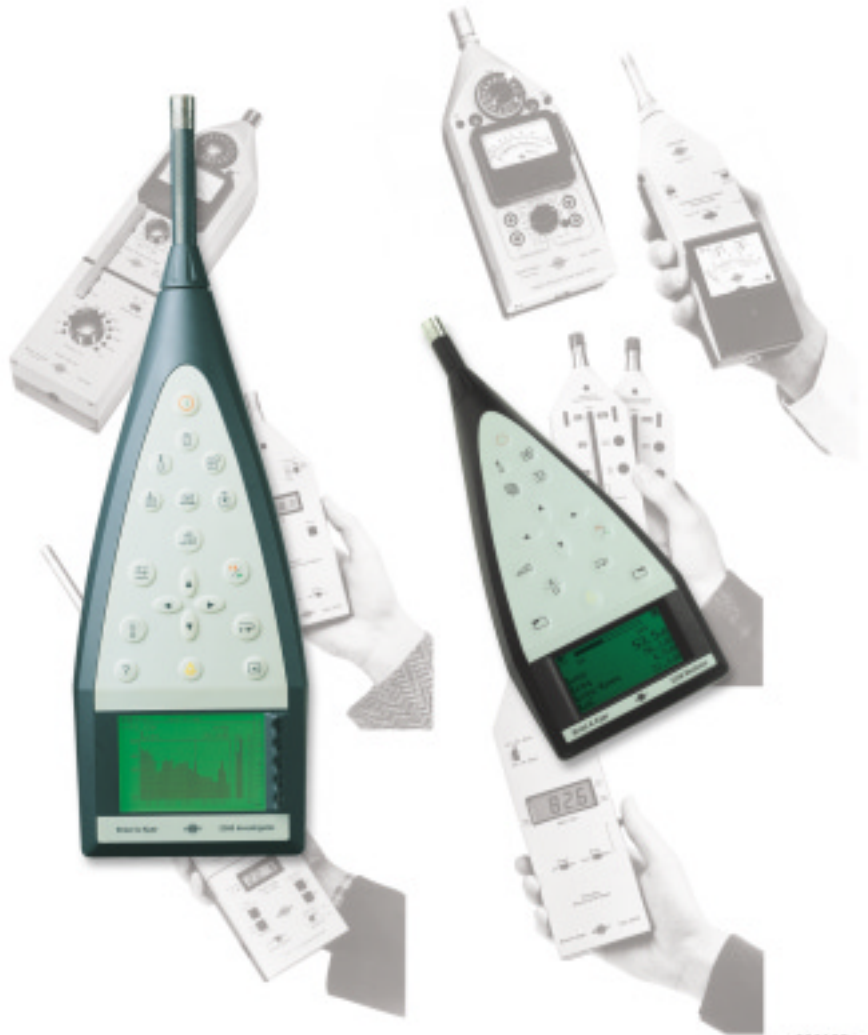
Als het geluidvermogen bekend is, dan kan de geluiddruk op een punt berekend worden. Het omgekeerde is alleen mogelijk onder speciale condities (bijv. een galmkamer of een dode kamer). Het geluidvermogen is dus erg nuttig om een geluidbron te karakteriseren en het geluidniveau te berekenen. Net als geluiddruk wordt geluidvermogen in logaritmische eenheden uitgedrukt. Het referentie geluidvermogeniveau van 0 dB komt overeen met 1 pW (1 picowatt =  $10^{-12}$  W). Het symbool voor geluidvermogeniveau is  $L_w$  en wordt veelal in dB(A), 1/1 octaven of 1/3 octaven uitgedrukt.



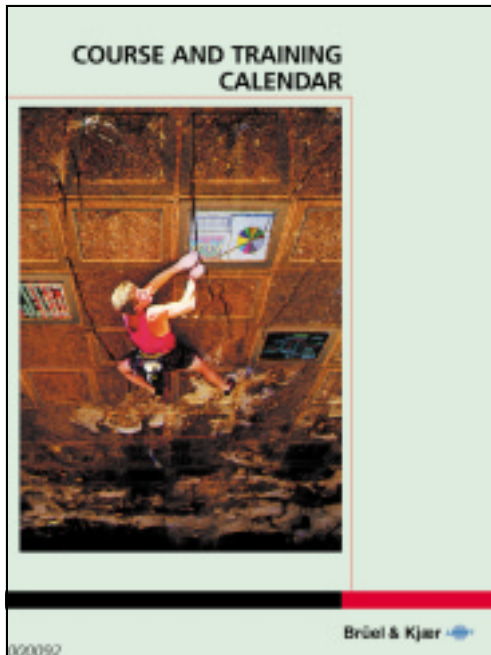
000716

# Over Brüel & Kjær

Brüel&Kjær werd in 1942 door twee Deense ingenieurs, Per V. Brüel en Viggo Kjær, opgericht. Gedurende meer dan 50 jaar is meten van geluid en trilling de kern van onze activiteiten. Brüel & Kjær is wereldwijd een vooraanstaande leverancier van meetmicrofoons, versnellingsopnemers, analysatorsystemen, geluidniveaumeters en kalibratiesystemen. Draagbare geluidniveaumeters kwamen in 1961 beschikbaar en sinds die tijd heeft Brüel & Kjær een leidende rol gespeeld bij het leveren van oplossingen voor professionals op het gebied van omgevingslawaai en lawaai op de werkplek.



000105



### **Wilt u er meer van weten**

Brüel & Kjær geeft in de belangrijkste landen cursussen en training op het gebied van het meten van omgevingslawaai. De cursussen worden door lokale specialisten gegeven, maar ook de applicatie-ingenieurs van het hoofdkantoor in Denemarken.

### **Kalibratie en Service**

In alle regio's zijn Service Centers van Brüel & Kjær te vinden. U kunt daar apparatuur laten kalibreren en repareren en onderhoudscontracten afsluiten waarmee de garantietermijn tot 6 jaar verlengd kan worden.

### **Waar vindt u ons**

Brüel & Kjær is in meer dan 90 landen in de wereld vertegenwoordigd. Meer informatie vindt u bij uw lokale vestiging. Een lijst van vertegenwoordigingen kunt u vinden op onze website: [www.bksv.com](http://www.bksv.com)

U kunt natuurlijk ook altijd contact opnemen met het hoofdkantoor in Denemarken (het adres staat op de achterkant van dit boekje).

HEADQUARTERS: DK-2850 Nærum · Denmark · Telephone: +4545800500 · Fax: +4545801405 · <http://www.bksv.com> · e-mail: [info@bk.dk](mailto:info@bk.dk)

Brüel & Kjær Benelux

Nederland

Plesmanstraat 62 · 3905 KZ Veenendaal · Postbus 412 · 3905 AK Veenendaal · Tel.: (0)318 559290 · Fax: (0)318 559299

**Brüel & Kjær** 