

NSG-RICHTLIJN LAAGFREQUENT GELUID

NSG
Nederlandse Stichting Geluidhinder,
Postbus 381,
2600 AJ DELFT
telefoon: (015) 256 27 23
fax.: (015) 257 86 63
e-mail: info@nsg.nl
website: <http://www.nsg.nl>

april 1999

VOORWOORD

Deze richtlijn is ontstaan als gevolg van de wens doeltreffender om te kunnen gaan met klachten over laagfrequent geluid.

Akoestische adviseurs en (gemeentelijke) milieubureaus krijgen regelmatig de vraag voorgelegd hoe klachten over laagfrequent geluid op een objectieve wijze onderzocht kunnen worden. TNO Preventie en Gezondheid te Leiden werd door de Nederlandse Stichting Geluidhinder (NSG) gevraagd aan te geven waarop de beoordeling van het in een woning gemeten geluid kan worden gebaseerd: hiervoor is een studie uitgevoerd door Passchier-Vermeer (Passchier-Vermeer, 1998: Beoordeling Laagfrequent Geluid in Woningen). De Natuurkundewinkel van de Rijksuniversiteit Groningen werd gevraagd om een voorstel te doen voor de tekst van een richtlijn waarin het vaststellen van de hoeveelheid en aard van het laagfrequente geluid in de woning centraal staat. Hierover is gerapporteerd door Van den Berg (Van den Berg, 1999: Meten van laagfrequent geluid in woningen).

Voor meer informatie over het onderwerp laagfrequent geluid en over de uitgangspunten die bij het opstellen van deze richtlijn zijn gehanteerd verwijzen wij naar de genoemde rapporten.

Begeleidingscommissie

In de begeleidingscommissie voor de ontwikkeling van deze richtlijn hadden de volgende personen zitting:

ir. G.P. van den Berg (RUG)
ir. A.W. Bezemer (VROM)
drs. W. Passchier - Vermeer (TNO-PG)
ing. P. van Riswijk (provincie Gelderland)
ing. P.A. Sloven (DCMR)

Projectleider: J. Kramer (NSG)

Gebruikswijzer

Laagfrequent geluid wordt hier aangeduid met LF geluid. In deze richtlijn gaat het om het frequentiegebied van 20 tot 100 Hz. Hinder van laagfrequent geluid wordt verder aangeduid met LFG hinder. Dit document kan worden aangehaald als 'NSG-Richtlijn laagfrequent geluid'.

De 'NSG-Richtlijn laagfrequent geluid' is in de eerste plaats bedoeld om klachtenbehandelaars, m.n. akoestisch onderzoekers, een handvat te geven om een klacht te objectiveren. Daarbij wordt gekozen voor een criterium (referentiecijve) waaraan het resultaat van geluidmetingen in woningen kan worden getoetst. Voor het gebruik van de referentiecijve is het niet altijd nodig alle onderdelen van deze richtlijn onverkort toe te passen. Indien bron en omstandigheden geen punt van discussie zijn en de onderzoeker het geluid waarneemt kan een aangepaste onderzoeksmethode worden gehanteerd.

De NSG-Richtlijn laagfrequent geluid is niet bedoeld om de bron van het geluid op te sporen, maar kan daarbij wel behulpzaam zijn.

De NSG-Richtlijn laagfrequent geluid bestaat uit drie delen:

Deel 1: beoordeling

De beoordelingswijze zelf: de vergelijking van het meetresultaat met de referentiecijve die als criterium dient om te constateren dat een laagfrequent geluid hoorbaar is.

Deel 2: uitvoering

Een toelichting op de beoordelingswijze, met aandacht voor de klachtbehandeling en de uitvoering van metingen en analyse

Deel 3: informatie

Bijlagen met aanvullende informatie over LF geluid (hinder), waarneming en apparatuur.

Deel 1: BEOORDELING

I BEOORDELINGSWIJZE

- 1 Beoordelingscriterium
- 2 Beoordelingsprocedure
- 3 Aanvullende opmerkingen

blz.
4

Deel 2: ASPECTEN BIJ DE UITVOERING

II BEHANDELING VAN EEN KLACHT

- 4 Uitgangspunten
- 5 Overwegingen vooraf
- 6 Opname van de klacht

6

III UITVOERING VAN EEN METING

- 7 Overwegingen vooraf
- 8 Meetsysteem
- 9 Meetplaats
- 10 Meettijd
- 11 Stoorgeluiden
- 12 Meting
- 13 Analyse meetresultaten
- 14 Analyse tonaal geluid
- 15 Aanvullende opmerkingen bij de beoordeling
- 16 Overschrijding 35 dB(A)-waarde
- 17 Meetrapport

7

Deel 3: AANVULLENDE INFORMATIE

Bijlage A: ASPECTEN VAN LF GELUID

- A1 Definitie LF geluid
- A2 Fysische aspecten
- A3 Psycho-fysiologische aspecten
- A4 Klachten en klagers
- A5 Andere criteria voor de beoordeling van LF geluid

14

Bijlage B: GEVOLGEN VAN LF GELUID

- B1 Geluidhinder
- B2 LF geluid als stressor

18

Bijlage C: WAARNEMING VAN LF GELUID

- C1 Gehoordrempel en waarnemingsdrempel
- C2 Horen met twee oren
- C3 Beschrijving gehoordrempels van groepen mensen
- C4 Aanpak in stappen

19

Bijlage D: APPARATUUR

- C1 Meetsysteem
- C2 Frequentiebereik
- C3 Niveaubereik
- C4 Resolutie en betrouwbaarheid
- C5 Geluid van opname-apparatuur

21

REFERENTIES

23

Deel 1: BEOORDELING

I BEOORDELINGSWIJZE

1 Beoordelingscriterium

De luidheid neemt bij LF-geluid sneller toe met het geluidsniveau dan bij gewoon geluid en hinder kan al ontstaan bij kleine overschrijdingen van de gehoordrempel. Daarom is in deze richtlijn 'hoorbaarheid' als beoordelingsmaatstaf gekozen: zodra LF-geluid hoorbaar is, kan hinder ontstaan.

Uit een inventariserend onderzoek blijkt dat klachten over LF-geluid voornamelijk afkomstig zijn van oudere mensen. Bij jongeren - jonger dan 40 jaar - zijn klachten zeldzaam. Daarom is de 90%-gehoordrempel van een doorsnee groep oudere personen (50 tot 60 jaar) als referentiecurve voor hoorbaarheid gebruikt. Van deze groep hoort 90 % een geluid met een niveau beneden de referentiecurve niet; 10 % is nog wel in staat een geluid (net) beneden deze curve te horen (zie bijlage C).

Het beschouwde frequentiegebied loopt van de tertsband van 20 Hz tot en met de tertsband van 100 Hz. Bij geluidsmetingen in situaties met klachten over laagfrequent geluid werden geen hoorbare geluidsniveaus bij frequenties lager dan 20 Hz aangetroffen. Frequenties hoger dan 100 Hz kunnen wat betreft de hinderlijkheid ervan met de gebruikelijke A-weging worden beoordeeld.

| frequentie (Hz) | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 |
|----------------------|----|----|------|----|----|----|----|-----|
| referentiecurve (dB) | 74 | 62 | 55 | 46 | 39 | 33 | 27 | 22 |

De referentiecurve is bedoeld om de klacht te objectiveren.

Het is niet zo dat wanneer in een bepaalde situatie de referentiecurve wordt overschreden er ook klachten zullen optreden.

Voor geluid in het algemeen kan als wettelijke grens een etmaalwaarde van 35 dB(A) als grenswaarde in een woning gelden ingeval het om bepaalde bronnen gaat (aanpandige bedrijven). Dat betekent dat 's nachts (met een nachtcorrectie van 10 dB) een niveau van maximaal 25 dB(A) door die bronnen toelaatbaar wordt geacht; bij tonaal geluid (toeslag tonaal geluid 5 dB) is dat 20 dB(A). De beoordelingsprocedure van geluid in het algemeen, waarbij LF-geluid niet is uitgesloten, wordt bepaald door de desbetreffende voorschriften (zie 16).

2 Beoordelingsprocedure

De beoordeling geschiedt aan de hand van tenminste twee geluidsopnamen van elk ca. 10 minuten op de hinderlokatie. In het algemeen zijn dit opnamen 's nachts in de slaapkamer waar de hinder optreedt (zie 8 t/m 12). Gaat het om een onbekende bron, waarvan het geluid niet met zekerheid door de onderzoeker wordt gehoord, dan wordt het sterk aanbevolen geluidsopnamen door de klager te laten uitvoeren (zie 7). Vervolgmetingen, als aannemelijk is dat de gehinderde een gemeten LF geluid kan horen, kunnen door de onderzoeker worden uitgevoerd. Van de opnamen worden vervolgens (frequentie-) ongewogen, equivalente tertsbandspectra bepaald. Het is daarbij van groot belang dat stoorgeluiden het resultaat niet beïnvloeden. Doordat de analyse achteraf plaats vindt, kunnen kortdurende stoorgeluiden dan alsnog worden geëlimineerd. Voor technische specificaties van de apparatuur zie bijlage D.

- Bepaal per tertsband met middenfrequentie van 20 tot en met 100 Hz het ongewogen tertsbandniveau zó dat stoorgeluid zoveel mogelijk wordt vermeden (zie 11 en 12). De duur van de ongestoorde meting dient tenminste 5 minuten te bedragen.
- Noteer de verschillen met de referentiecurve (zie tabel 1: 'niveau boven referentie-curve'). Bij een positieve waarde (gemeten niveau > referentiewaarde) wordt het geluid in die tertsband in principe hoorbaar en hinderlijk geacht. Herhaal dit voor elke opname.
- Bepaal het maximum van het niveau boven de referentiecurve voor alle tertsbanden van alle relevante opnames. Dat maximum met de bijbehorende frequentie is het samenvattende

kwantitatieve eindresultaat van de beoordeling. Bij een negatief maximum is hoorbaar LF geluid volgens de definitie van deze richtlijn niet aanwezig.

Tabel 1:

bepaling geluidsdrukniveaus per tertsbands boven referentiecurve (één opname)

| Frequentie (Hz) | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 |
|--|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| gemeten tertsbandsniveau (dB) G | | | | | | | | |
| referentiecurve (dB) D | 74 | 62 | 55 | 46 | 39 | 33 | 27 | 22 |
| niveau boven referentiecurve (dB) G - D | | | | | | | | |

Het resultaat van een opname zijn de waarde(n) in de onderste rij

- Geef de frequentie van een eventueel optredende toon of tonen als deze uit een smalbandiger analyse (zie 14) is afgeleid.

3 Aanvullende opmerkingen

- Bij de analyse worden in het algemeen tertsbandspectra verkregen over een groter frequentiegebied dan 20 - 100 Hz. Mocht blijken dat zich niet in dit gebied, maar wel bij frequenties beneden 20 Hz of tussen 100 en 200 Hz een geluid bevindt dat waarneembaar moet worden geacht, dan is het uiteraard mogelijk dat dat geluid de bron van klachten is. Vergelijking vindt dan plaats met de gehoordrempel zoals vermeld in bijlage C, tabel 3.
- Men dient voorzichtig te zijn met de interpretatie van geluid met frequenties beneden 20 Hz omdat de meetnauwkeurigheid niet altijd goed bekend is. Bovendien stijgt de waargenomen luidheid zo snel met het niveau dat bij geringe overschrijdingen van de individuele waarneemdrempel al veel hinder kan optreden.
- Bij een aanmerkelijke overschrijding van de referentiecurve kan toepassing van de wettelijke beoordelingswijze, voorzover er een van toepassing is, zinvol zijn. Aan de meetprocedure worden dan andere eisen gesteld (zie 16).
- Bij een geringe onderschrijding van de referentiecurve kan niet worden uitgesloten dat de gehinderde toch een LF geluid hoort. Hoewel zo'n geluid voor 90 % van de doorsnee ouderen onhoorbaar is, heeft toch 5 % een gehoordrempel die tot 2 dB beneden de referentiecurve ligt en hoort de resterende 5 % nog iets lagere geluidsdrukniveaus.

Deel 2: ASPECTEN BIJ DE UITVOERING

II BEHANDELING VAN EEN KLACHT

4 Uitgangspunten

Of een klacht als LFG klacht wordt behandeld, wordt vastgesteld op basis van de beschrijving door de gehinderde. Deze zal het geluid beschrijven als ‘een lage toon’, ‘gebrom’, ‘gezoem’, als geluid afkomstig van een ‘verre dieselmotor’ of een ‘gedempte wasmachine’. Soms varieert het geluid op min of meer regelmatige wijze en wordt dan als bonkend of dieselend omschreven. Ook wordt het wel beschreven als het gewaar worden van een trilling of dat het gevoeld kan worden op de maag (middenrif) of als druk op de oren of in het hoofd. Het geluid moet geen incident zijn, maar langere tijdsperioden ervaren worden. Beslis vóór de meer gedetailleerde opname van de klacht (zie 6) en nogmaals daarna of de klacht inderdaad als een LFG klacht moet worden behandeld of wellicht als een ‘gewone’ geluidsklacht of een trillingsklacht.

Uitgangspunt bij de opname van de klacht is: de gehinderde neemt het geluid daadwerkelijk waar, de klachtafhandeling is gericht op het objectiveren van dat geluid.

Uitgangspunt bij de meting is: de meting geschiedt op een plaats en tijd dat het hinderlijke LF geluid naar het oordeel van de gehinderde daadwerkelijk hoorbaar is.

Uitgangspunt bij de beoordeling is: een geluid kan geen hinder veroorzaken als het niveau ervan beneden de gehoordrempel ligt. Als daarentegen een LF geluid aantoonbaar boven de gehoordrempel ligt dan is dat een objectieve bevestiging van de aanwezigheid van hoorbaar, en dus in potentie hinderlijk, LF geluid.

Uiteindelijk zijn de individuele gehoordrempel en de omstandigheden bepalend voor de hoorbaarheid. Omdat deze in het algemeen niet bekend zijn, wordt in plaats daarvan een referentiecurve gebruikt.

5 Overwegingen vooraf

De uiteindelijke oorzaak van LFG hinder kan divers zijn. Soms is een geluidsbron duidelijk aanwijsbaar en produceert deze een meetbaar en voor meer mensen hoorbaar brom-, zoem- of ander LF-geluid. Aan de andere kant is de bron vaak volstrekt onbekend en hoort niemand het geluid behalve de gehinderde. Zelfs kan soms niet worden uitgesloten dat het dan om lichaamseigen geluid gaat.

Als in de praktijk een LF geluid door meting kan worden aangetoond blijkt het altijd om tonaal geluid te gaan (Van den Berg e.a. 1999, Passchier-Vermeer 1998) en vooral om hinder 's nachts. Als het om bronnen binnenshuis gaat (kan ook bij burens zijn) zullen dat meestal elektrisch gevoede bronnen zijn, waarbij de toon is gekoppeld aan de netfrequentie (50 Hz; bij asynchrone motoren: net beneden 50 Hz) of aan een omwentelingsfrequentie of veelvoud (aantal schoepen) daarvan. Buiten zullen in de eerste plaats stationaire bronnen verdacht zijn die, als ze veraf zijn, betrekkelijk groot (luid) zullen moeten zijn. Bij een geluidsbron buitenshuis kan onder andere gedacht worden aan pompen, ventilatoren, motoren, compressoren, transformatoren, grote industriële complexen of drukke snelwegen op grote afstand.

Er zijn meerdere redenen waarom een akoestisch onderzoeker een hinderlijk geluid niet altijd opmerkt ten tijde van een bezoek ter plekke of van een (voorgenomen) meting:

- de bron werkt niet of minder.
- het geluid is er alleen of vooral bij bepaalde weersomstandigheden (zoals: niet teveel wind, juiste windrichting, inversie, vorst).
- het geluid wordt (vooral overdag) gemaskeerd door ander geluid,.
- de onderzoeker heeft LF geluid nog niet leren waarnemen.
- de gehoordrempel van de onderzoeker ligt zo hoog dat hij het geluid niet kan horen.

In de drie laatste gevallen kan het geluid op dat moment overigens wel meetbaar zijn.

6 Opname van de klacht

Bij het opnemen van de klacht wordt er in deze richtlijn van uitgegaan dat er op het eerste gezicht weinig aanknopingspunten zijn (één of hooguit enkele gehinderden, bron niet zeker bekend). Onderstaande vragen aan de gehinderde kunnen dan aanknopingspunten geven. Ook als er wel meer duidelijkheid lijkt te zijn, dienen de vragen zoveel mogelijk te worden doorlopen: de onderzoeker moet zelf een zo duidelijk en objectief mogelijk beeld van de klachten krijgen. Noteer de gegevens.

1 Vraag naar aard en kenmerken van het geluid:

- een omschrijving van het geluid.
- sinds wanneer is het geluid hoorbaar ?
- wie kunnen het horen ?
- waar is het geluid hoorbaar (binnen/buiten, thuis/elders binnen, plaats in huis) ?
- wanneer is het geluid hoorbaar (dag/nacht, weekeinde, bepaalde tijden) ?
- zijn er mogelijke bron(nen) aanwijsbaar ?
- is er een verband met de windrichting (of eventueel andere weersvariabelen)

2 Vraag naar maatregelen die eventueel zijn genomen:

- is geprobeerd of gehoorbeschermingsmiddelen, zoals oordopjes of oorkappen (geen gewone watten) helpen ?
- is de hoofdnettschakelaar al eens uitgezet?.
- is een verdachte bron al eens uitgezet?
- zijn er al eerder metingen verricht ? (resultaat ?)

3 Overige opmerkingen

De gehinderde is de deskundige voor wat betreft de eigen klachten en waarnemingen. Bovendien kan hij/zij eventueel zinnige aanwijzingen geven omtrent de aard van het geluid of zelfs de bron. Wees echter kritisch op interpretaties, verklaringen of veronderstellingen van een leek; controleer deze vóór ze voor juist aan te nemen om te voorkomen een verkeerd spoor te volgen.

III UITVOERING VAN EEN METING

7 Overwegingen vooraf

Maak de gehinderde duidelijk dat de meting alléén bedoeld is om vast te stellen hoeveel LF geluid er aanwezig is. Met de meting wordt de luidheid (sterkte) en de frequentie (toonhoogte) van het op de meetplaats aanwezige LF geluid objectief vastgesteld.

1. Als er inderdaad geluid boven de referentiecurve kan worden gemeten, dan geeft dat geen uitsluitel of oordeel over de feitelijke geluidsbron. De meetresultaten kunnen wel bruikbaar zijn om die nader te bepalen. In het algemeen kan met de meetresultaten niet zonder meer een ingreep aan een bron worden afgedwongen, maar dienen ze in eerste instantie om een klacht te staven.
2. Als er geen geluid boven de referentiecurve kan worden gemeten, dan moet de oorzaak in eerste instantie elders gezocht worden. De mogelijkheid bestaat dat het om geluid van lagere (< 20 Hz) of hogere (> 100 Hz) frequentie of om trillingen gaat. Voorzover dat nog niet heeft plaatsgevonden kan ook een audiologisch of wellicht verdergaand medisch onderzoek overwogen worden.

Zolang de onderzoeker zelf het geluid niet met zekerheid hoort wordt de meting door de gehinderde uitgevoerd, dat wil zeggen dat deze het hinderlijke geluid opneemt met professionele apparatuur. Voor deze meetwijze zijn diverse redenen:

- de onderzoeker voorkomt de teleurstelling (voor zowel zichzelf als de gehinderde) dat één bezoek onvoldoende is en dat nog één of zelfs meerdere bezoeken nodig zijn.
- als het geluid niet erg luid is, kan het ook voor de gehinderde moeilijk zijn om aan te geven of het op dat moment waarneembaar is.
- de onderzoeker richt zich wellicht op een voor de onderzoeker waarneembaar geluid dat door de gehinderde niet bedoeld wordt. Ook kan het geluid op het moment van een meting verricht door de onderzoeker, (veel) zwakker zijn dan anders.
- door zelf te meten kan de gehinderde het geluid opnemen dat voor hem/haar representatief is, en eventueel ook nog situaties opnemen waarin het geluid een andere sterkte heeft of zelfs afwezig is (voor de onderzoeker een nuttige referentiewaarde).
- het spaart de onderzoeker nacht- en overwerk, tijd en kosten.

Uit de metingen kan blijken dat er voldoende reden is om maatregelen te nemen aan de bron. Zeker als het een bron bij derden betreft is het wenselijk dat de onderzoeker zelf het hinderlijke geluid alsnog

meet. De meet- en analysewijze zijn dan in principe hetzelfde, maar aan de reproduceerbaarheid en representativiteit zullen hogere eisen gesteld worden (zie ook 16).

Alleen in een zeer duidelijk geval (meerdere mensen horen het, goed hoorbaar geluid, bron bekend) kan de onderzoeker overwegen *direct* zelf te meten. Men moet daar echter, gezien bovengenoemde redenen, *zeer terughoudend* in zijn. Ook dan is overleg met de gehinderde(n) van belang voor wat betreft plaats en tijd van de meting.

Veel informatie over (de problemen bij) het meten van LF geluid wordt gegeven in (Riemens, 1995), hoewel de aanwijzingen daarin niet altijd overeenkomen met deze tekst. Verder wordt de hier geschetste werkwijze grotendeels gevolgd in [van den Berg e.a., 1999]; daar worden de resultaten gegeven van metingen in woningen van zowel gehinderden als van mensen zonder klachten.

Het wordt aanbevolen om, als men nog geen ervaring heeft met deze metingen, eerst ervaring op te doen met de meet- en analyseprocedure door in representatieve omstandigheden te oefenen.

Representatief is: een stille omgeving, een geluid met vooralsnog onbekende eigenschappen, uitvoering van de geluidsopnamen door een ander (niet-deskundig).

8 Meetsysteem

Het meetsysteem bestaat uit een opname-eenheid en een analyse-eenheid.

- De opname-eenheid bestaat uit een microfoon en een opslageenheid, en wordt bij de gehinderde achtergelaten. De gehinderde maakt met deze eenheid zelf opnamen. Een DAT-recorder plus microfoon is een elegante oplossing waarvan in deze tekst wordt uitgegaan. Alternatieven zoals de directe inzet van een analyser of een computergebaseerd systeem (pc plus microfoon) zijn niet onmogelijk, maar voor de gehinderde waarschijnlijk te ondoorzichtig om te kunnen bedienen. Een belangrijk voordeel van opslag op magneetband (eventueel digitaal in pc) is dat het geluid afluisterbaar is en achteraf op meerdere manieren kan worden geanalyseerd.
- De analyse-eenheid bestaat uit een spectrum-analysator waarop de recorder kan worden aangesloten. Aanbevolen wordt het gebruik van apparatuur om het tijdsverloop van het totale geluidsniveau te registreren (papierschrijver, pc) om de invloed van storingen zichtbaar te maken vóór de spectrale analyse plaatsvindt.

De specificaties van de gebruikte apparatuur moeten, zeker in het LF gebied, bekend zijn. Voor nadere eisen en aandachtspunten bij de apparatuur: zie bijlage D.

9 Meetplaats

Er dient gemeten te worden op één van de twee volgende plaatsen:

- de plaats waarvan de gehinderde aangeeft dat daar het geluid het duidelijkst waarneembaar is.
- indien er geen bepaalde plaats is aangegeven wordt er gemeten in een ‘harde’ hoek van een ruimte op 20 à 50 centimeter van de wanden. Een harde hoek is een hoek tussen twee muren (geen deur, raam, boekenkast e.d.).

Indien het geluid overal in huis (goed) hoorbaar is, dan is de ruimte waar gemeten wordt bij voorkeur een verblijfsruimte (slaapkamer, woonkamer) waar de gehinderde vaak verblijft.

10 Meettijd

Er dient gemeten te worden binnen één van de twee volgende perioden:

- gedurende de nachtperiode, ongeveer vanaf 23:00 uur tot ca. 4:00 (‘s zomers) of 6:00 uur (‘s winters). In deze tijd zijn vroege vogels nog niet verstorend, worden in het algemeen (ook in de verdere omgeving) de minste activiteiten ontplooid en zijn de minste apparaten en machines werkzaam. Verkeer is een belangrijke bron van stoorgeluiden en kan uiteraard ook ‘s nachts nog van invloed zijn.
- indien de gehinderde aangeeft dat het geluid op een andere tijd aanwezig is en ‘s nachts niet of aanmerkelijk minder: de tijd waarvan de gehinderde aangeeft dat het geluid het duidelijkst waarneembaar is.

Een opname (meting) duurt 10 tot 15 minuten. Daarvan dienen tenminste 5 minuten vrij van stoorgeluiden te zijn.

Men dient *tenminste* twee opnamen te maken zodat duidelijk wordt hoe stabiel het gemeten geluid is. Aanbevolen wordt aan te sluiten bij de gangbare praktijk: tenminste driemaal meten op tenminste twee verschillende dagen c.q. nachten [Industrielawaai].

Om een duidelijker relatie te kunnen leggen met wat de gehinderde waarneemt (zie 7) zijn meer opnamen gewenst en desgewenst kan men die meerdere metingen ook op verschillende tijden uitvoeren.

De apparatuur dient zolang bij de gehinderde te blijven tot deze de gelegenheid heeft gehad voldoende representatieve opnamen te maken (zie 7).

11 Stoorgeluiden

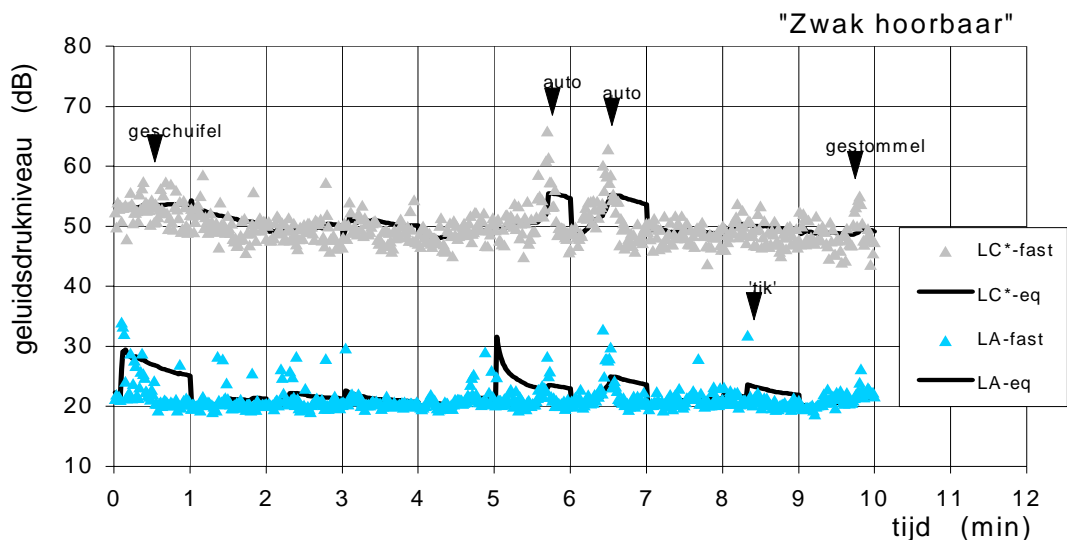
Het vermijden van stoorgeluiden verdient speciale aandacht omdat de meetomgeving vaak zo stil is dat ook zachte geluiden al merkbaar zijn. Dierengeluiden kunnen in de vroege ochtend (vaak vogels met gefluit met maximale geluidsniveaus tussen 3000 tot 6000 Hz) tamelijk luid zijn, maar in het spectrum makkelijk te onderscheiden van LF geluid. Harde wind veroorzaakt veel laagfrequent geluid. Alle verkeer, ook bij incidentele passages, kan stoorgeluid in het LF gebied veroorzaken.

Stoorgeluiden worden al vermeden door in een stille periode te meten: 's nachts. Verdere stoorgeluiden in huis kunnen worden vermeden door, vooral bij de meetplaats, zoveel mogelijk bronnen uit te schakelen zoals een klok/wekker, aquariumpomp, TL-buis, koelkast, elektrische voedingen en apparatuur op 'standby'-stand. Tijdens een meting dient men zich in de woning stil te houden.

Ook de meetapparatuur kan stoorgeluid produceren (zie bijlage D).

Stoorgeluiden die niet altijd kunnen worden vermeden (bijvoorbeeld een passerende auto) moeten achteraf buiten de analyse worden gehouden.

Onderstaande afbeelding is een opname overdag over een tijdsperiode van 10 minuten. De 'klager' heeft aangegeven dat het hinderlijke geluid 'zwak hoorbaar' is tijdens de opname. In de eerste minuut is een storing opgetreden; deze minuut wordt niet in de verdere analyse betrokken.



Figuur 1: Verloop in de tijd van C- en A- gewogen geluidsdrukniveaus (driehoekjes meetwaarden per seconde; lijnen: equivalente meetwaarden vanaf begin van elke minuut)

12 Meting

Installeer de apparatuur op een plaats overeenkomstig punt 9 en waar de apparatuur tevens voldoende lang kan blijven staan voor een goede opname (zie 10).

Geef instructie dat één of meer opnamen gemaakt moeten worden van (elk) 10 tot 15 minuten op een tijdstip volgens punt 10. Mocht er tijdens een opname toch langduriger (> 1 minuut) stoorgeluid optreden, dan moet de opnametijd met die tijdsduur verlengd worden. Bij een zeer langdurige storing wordt de meting gestopt en op een geschiktere tijd opnieuw uitgevoerd.

Geef instructie dat aan het begin van een opname de datum en tijd (en zonodig naam en/of plaats) worden genoemd, alsmede een typering van wat men hoort van zowel het te meten LF geluid ('hard', 'zachtjes hoorbaar', 'brom niet hoorbaar') als het overige geluid ('stil', 'ver verkeer'). Eventueel kan ook worden afgesproken dat er schriftelijke notities worden gemaakt.

Geef instructie voor het bedienen van de apparatuur mondeling en schriftelijk. Laat de bediener zelf ter controle alle handelingen uitvoeren die bij een opname horen. Zorg dat de bediener alléén die toetsen bedient die nodig zijn voor het opnemen en stoppen. De opname is vrijwel waardeloos als het opnameniveau tussentijds is gewijzigd.

Tijdens een opname dienen geen personen in de meetruimte te blijven, en moet men ook elders in huis stil zijn (niet blijven lopen of praten, geen tv of radio aan).

Ijk de opname-eenheid met een geijkte geluidsbron zowel voor als na de metingen.

13 **Analyse meetresultaten**

Ga na of de ijktonen aan het begin en het einde van de meting dezelfde waarde opleveren. Is dit verschil groter dan 0,2 dB, dan is wellicht het opnameniveau tussentijds gewijzigd en zijn de gemeten geluidsniveaus niet meer met zekerheid te bepalen.

Luister de opname af en noteer stoorgeluiden. Het is aan te bevelen hierbij het verloop van het geluidsniveau met de tijd te registreren omdat stoorgeluiden daarin eenvoudig als maxima herkenbaar zijn. LF geluid wordt via een hoofdtelefoon niet goed weergegeven !

Bepaal van de opname het ongewogen tertsbandspectrum zó dat de stoorgeluiden niet worden meegenomen. Meet daartoe het ongewogen equivalente geluidsdrumniveau over tenminste 5 minuten (niet noodzakelijk aaneengesloten) van (tenminste) de tertsbanden van 20 tot 100 Hz.

Bepaal het 'gewone' dB(A)-niveau, d.w.z. het totale A-gewogen geluidsniveau. Dit is om een indicatie te hebben van het heersende geluidsniveau. Men kan hiertoe het equivalente A-gewogen geluidsniveau bepalen over één of meer perioden van enkele minuten of de grenzen aangeven waarbinnen zich, in één of meer perioden van enkele minuten, het A-gewogen niveau voor het grootste deel van de tijd bevindt. In beide gevallen dienen stoorgeluiden niet te worden meegenomen.

Directe meting van het breedbandige dB(A)-niveau levert meestal geen bruikbare, soms zelfs geen correcte waarde op (zie ook 16). Het A-filter reduceert de lage frequenties zo sterk dat de meetwaarde vaak vooral uit (hoogfrequente) meetruis bestaat die echter niet als zodanig herkenbaar is. Bovendien kunnen (niet aan de bron toe te schrijven) stoorgeluiden het resultaat veel makkelijker beïnvloeden. Herhaal de analyse voor eventuele andere opnamen. Vergelijk de resultaten, met name de verschillen en overeenkomsten in frequentie en niveau van tertsbanden onderling en met de eventuele opmerkingen ('hard', 'matig', 'LF-geluid niet hoorbaar', e.d.) van de gehinderde.

14 **Analyse tonaal geluid**

LF geluid heeft een tonaal karakter als één tertsbandniveau tenminste 3 tot 7 dB (resp. bovenin en onderin het LF gebied) verhoogd is ten opzichte van de naburige tertsbanden of als slechts één tertsband boven de gehoordrempel uitkomt. Een tonaal LF geluid kan daarnaast nog hogere harmonischen hebben.

De frequentie van een toon kan nauwkeuriger worden vastgesteld met smalbandiger analyse: een lijn- of Fourierspectrum of een 1/12e of 1/24e octaafband spectrum (zie bijlage A2). De spectrale verdeling van het geluid kan een indicatie geven van de aard van de bron of kan vergeleken worden met de spectrale verdeling van het geluid van een mogelijke bron. Bepaal daarom zo mogelijk de frequentie van de toon binnen de verhoogde tertsband (een nauwkeurigheid van 1 Hz is in het algemeen voldoende).

15 **Aanvullende opmerkingen bij de beoordeling**

Er wordt geen tijdsduurcorrectie toegepast omdat ook een LF geluid dat niet voortdurend aanwezig is klachten kan veroorzaken. In de praktijk blijkt het echter vaak de gehele nacht of minstens uren lang voor te komen, hoewel het niet elke nacht hoorbaar hoeft te zijn.

De gehoordrempel die hier als referentiecurve wordt gebruikt houdt in dat 10 % van de oudere volwassenen beter hoort, 90 % hoort slechter. Gemiddeld heeft een LFG gehinderde een minder goed gehoor, wat uiteraard niet voor elk individueel geval op hoeft te gaan: er is geen zekerheid of de gehinderde niet beter hoort dan de gebruikte referentiecurve, wellicht zelfs alleen in een beperkt frequentiegebied. Als er (goede) redenen zijn te veronderstellen dat de gehoordrempel van de gehinderde beter is, dan wordt een audiologisch onderzoek daarnaar aanbevolen (er wordt in de klinische audiologie echter niet zo laagfrequent gemeten als 20 Hz). Aan de hand van de resultaten kan wellicht de hoorbaarheid van het gemeten geluid opnieuw beoordeeld worden.

Als er bij frequenties *nabij* het LF gebied een opvallende toon gemeten is, dient dat in het meetrapport vermeld te worden. Er kan bijvoorbeeld een duidelijke verhoging in het spectrum waarneembaar zijn bij een frequentie boven 100 Hz. Of er kan beneden 20 Hz een hoog niveau zijn gemeten waarvan de grootte niet goed bepaald kan worden door niet-lineariteiten in de meet- of analyseapparatuur.

16 **Overschrijding 35 dB(A)-waarde**

Indien lawaai van buiten in een woning door dringt, dan gelden in een aantal gevallen (zoals bij wegverkeerslawaai en bedrijfslawaai in aanpandige situaties) voorschriften voor het maximaal toelaatbare geluidsniveau binnenshuis. Deze zijn van toepassing op een in de woning binnendringend geluid, ook als dat LF geluid zou zijn.

Toepassing van deze beoordeling is vooral zinvol indien men wil aantonen dat geluid van een bekende geluidsbron een grenswaarde binnenshuis overschrijdt. De maximaal toelaatbare waarde en de meet- en beoordelingsprocedure worden bepaald door de desbetreffende voorschriften en staat los van de beoordeling volgens de in deze richtlijn te hanteren referentiecurve. In de vaak stille omgeving waar bij LFG klachten meestal sprake van is, is het echter aan te bevelen het dB(A)-niveau te bepalen op de hier gegeven wijze, dus door op een gemeten ongewogen spectrum achteraf de A-weging toe te passen (zie 13). Als uitgangspunt voor de toetsing wordt hier een grenswaarde binnenshuis van 35 dB(A) aangehouden.

Rekening houdend met een toeslag voor tonaal geluid (-5 dB) en de nachtperiode (-10 dB) is het maximaal toelaatbare niveau binnenshuis: 20 dB(A). Is er geen sprake van tonaal geluid, dan is 's nachts het maximaal toelaatbare niveau binnenshuis: 25 dB(A).

Het A-gewogen niveau tengevolge van de bron bepaalt men als volgt:

- bepaal de niveaus, in tertsbanden (G_i), van het geluid dat aan deze bron kan worden toegeschreven.
- verminder deze niveaus met de A-correctie volgens tabel 2. ($L_{A,i} = G_i - A_i$)
- bepaal de energetische som van deze A-gewogen tertsbanden. Deze som (L_A) bepaalt men uit de afzonderlijke tertsbandsniveaus $L_{A,i}$ met behulp van de formule:

$$L_A = 10 \log \left(\sum 10^{(L_{A,i}/10)} \right)$$
 waarbij dus gesommeerd wordt over alle tertsbandsniveaus die aan de bron kunnen worden toegeschreven.

Tabel 2: bepaling A-gewogen geluidsdrukniveaus per tertsband (één opname)

| Frequentie (Hz) | eventueel lagere tertsbanden | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | eventueel hogere tertsbanden |
|-------------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| gemeten tertsbandsniveau (dB) G | | | | | | | | | | |
| A-correctie per tertsband (dB) A | 10 Hz : 70,4 12,5 : 63,4 16 : 56,7 | 50,5 | 44,7 | 39,4 | 34,6 | 30,2 | 26,2 | 22,5 | 19,1 | 125 Hz : 6,1 160 : 13,4 200 : 10,9 |
| A-gecorrigeerd niveau (dB) G-A | | | | | | | | | | |

A-gewogen equivalent niveau: $L_A = 10 \log \left(\sum 10^{(L_{A,i}/10)} \right)$ waarin $L_{A,i}$ geluidsdrukniveau van i-de tertsband (alleen tertsbands veroorzaakt door bron)

17 Meetrapport

Beschrijf kort het probleem aan de hand van situatiegegevens (woning, woonomgeving, akoestische omgeving) en van door de gehinderde(n) verstrekte gegevens (zie 6). Geef een overzicht van mogelijke of verdachte bronnen.

Vermeld specificaties van de gebruikte apparatuur en ijkmethode.

Vermeld per geluidsoptname: plaats en tijd van meting, weersomstandigheden (wind, temperatuur, bewolking), de (door gehinderde) op het gehoor waargenomen LF geluiden en de stoorgeluiden. De stoorgeluiden kunnen door de gehinderde zijn beschreven en/of achteraf beluisterd zijn vanaf de opname.

Geef van elke geluidsoptname het gemeten, ongestoorde tertsbandspectrum en vermeld het niveau en de frequentie van de tertsband die in het LF gebied het meest boven de referentiecurve uitstijgt (zie tabel 1).

Vermeld bij tonaal geluid eventueel de frequentie van de toon of tonen voorzover die met een smalbandiger analyse nauwkeuriger zijn bepaald.

Vermeld de verschillen tussen opnames, met name voor wat betreft de waarneming van LF geluid en de spectrale niveaus.

Geef als conclusie of een geluid in het LF gebied is gevonden dat uitstijgt boven de referentiecurve en vermeld tertsbandfrequentie en -niveau, eventueel de preciezer bepaalde frequentie. Vermeld eventueel of het redelijk is te veronderstellen dat dat geluid de oorzaak is van de klachten.

Vermeld een eventuele duidelijke verhoging in het spectrum als die zich voordoet juist buiten het LF gebied, met name als er in het LF gebied geen overschrijding van de referentiecurve wordt gevonden.

Als een aanmerkelijke verhoging in het spectrum is gevonden, dan kan het geluid desgewenst indicatief beoordeeld worden op overschrijding van de 35 dB(A)-grenswaarde of een andere van kracht zijnde grenswaarde (zie tabel 2)

Vermeld de naam van de onderzoeker en de datum waarop het rapport is opgemaakt.

Deel 3: AANVULLENDE INFORMATIE

Bijlage A: ASPECTEN VAN LF GELUID

A1 Definitie LF geluid

Laagfrequent geluid is geluid dat componenten in het laagst hoorbare frequentiegebied heeft. Bij de vaststelling van het frequentiebereik moet zowel voor de laagste als de hoogste frequentie een keus gemaakt worden. Deze keuzes zijn tot op zekere hoogte arbitrair.

Met LF geluid wordt in deze richtlijn bedoeld luchtgedragen geluid met frequenties in de tertsbanden van 20 tot 100 Hz.

Geluid van hogere frequenties wordt verder aangeduid met 'gewoon' (niet-LF) geluid.

De ondergrens van 20 Hz is om praktische redenen gekozen. Ten eerste omdat uit onderzoek blijkt dat in Nederland geen klachten voorkomen bij lagere frequenties dan 20 Hz (Vercammen 1990, Van den Berg e.a. 1999). Ten tweede omdat meten beneden 20 Hz problematisch kan zijn voor wat betreft de beschikbare apparatuur.

De bovengrens van 100 Hz is gekozen op grond van in de literatuur genoemde waarden, waar grenzen worden vermeld variërend van 80 tot 160 Hz. Er is geen algemeen gangbare grens voor de overgang tussen gewoon (niet LF) en LF geluid.

Vanuit het oogpunt van hinder zijn de grenzen dus arbitrair omdat er geen sprake is van duidelijk met de frequentie samenhangende effecten. Het is mogelijk dat op grond van toekomstig onderzoek de begrenzing van het LF-gebied minder arbitrair kan worden gekozen.

A2 Fysische aspecten

Voortplanting laagfrequent geluid

De absorptie van laagfrequent geluid in de atmosfeer is veel lager dan van hoger frequent geluid. Door de lage absorptie van laagfrequent geluid kunnen laagfrequente geluidbronnen op grote afstand hoorbaar zijn. Dit wordt versterkt doordat geluidreflecties op kunnen treden door bijvoorbeeld temperatuurinversies in de atmosfeer.

Laagfrequent geluid in een woning kan veroorzaakt worden door transmissie van (laagfrequent) luchtgeluid van buiten de woning, door bronnen in de woning en door het afstralen van laagfrequent geluid door trillende gebouwdelen. Daarbij kan opslinging van gebouwdelen optreden doordat de eigenfrequenties van constructies in het betreffende frequentiegebied liggen. Een secundair effect van laagfrequent geluid is dat het serviesgoed, ramen en deuren in trilling brengt, waardoor hoorbaar hoger frequent geluid (rammelen) ontstaat.

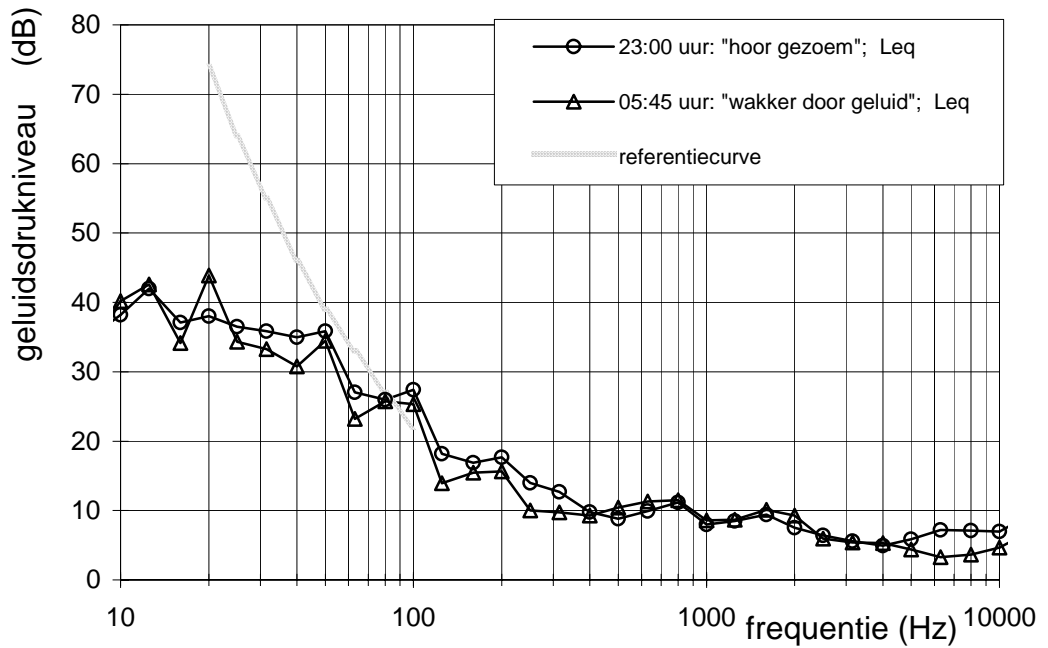
Geluidisolatie van de woning

Voor laagfrequent geluid is de geluidisolatie van een woning veel geringer dan voor hoger frequent geluid. Bijvoorbeeld, voor een gevel met een 'gewoon' raam van enkel glas is de geluidisolatie rond 50 Hz ongeveer 15 dB en rond 500 Hz ongeveer 30 dB. Dit impliceert dat laagfrequent geluid veel beter in de woning doordringt dan hoger frequent geluid. Bij frequentie lager dan 100 Hz spelen ook de afmetingen van het (ontvangst)vertrek een rol. Door interferentie kan opslinging plaatsvinden. Afhankelijk van de plaats in de ruimte kan de geluidisolatie bij zeer lage tonen (lager dan 50 Hz) minder dan 10 dB zijn.

Vorm van het spectrum van laagfrequent geluid

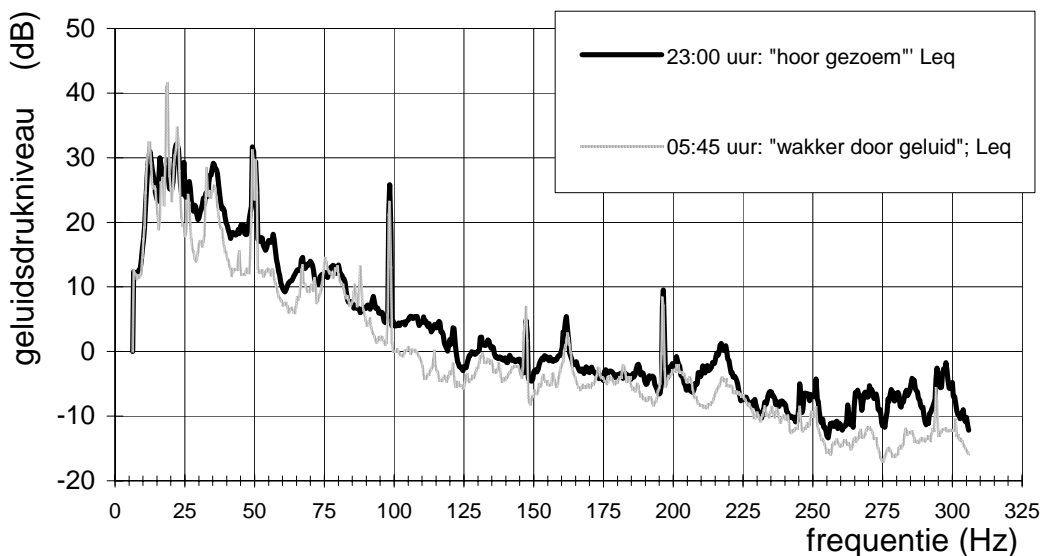
Alle gepubliceerde spectra van binnen gemeten laagfrequent geluid op plaatsen waar dit voor klagers (en eventueel anderen) soms hoorbaar is, hebben vanaf 50 á 63 Hz naar hogere frequenties globaal een aflopend spectrum (Heringa en Vercammen, 1988; Vasudevan en Leventhall, 1982, 1989; Vercammen, 1990, 1992; Dawson, 1982; Mirowska, 1995; Van den Berg e.a. 1999). In figuur 2 is een tertsbandspectrum van geluid met laagfrequente componenten weergegeven. Het is een uitwerking van twee opnamen binnenshuis (in de slaapkamer) op de plaats waar de betreffende persoon het laagfrequente geluid hoort. Het spectrum bevat een piek bij 100 Hz, die bij nadere analyse aangemerkt kan worden als een toon bij deze frequentie, zoals uit figuur 3 blijkt.

De hellingen van de eerder genoemde gepubliceerde spectra boven 50 Hz variëren. In de meeste situaties waarin klachten optreden, zijn de tertsbandsniveaus boven 500 Hz niet meer dan 10 tot 15 dB. In veel van deze situaties is het binnen gemeten A-gewogen geluidniveau over het gehele frequentiegebied niet meer dan 25 tot 30 dB(A).



Figuur 2 Tertsbandspectra (L_{eq} , zonder frequentieweging) op twee verschillende tijdstippen vergeleken met de referentiecurve; op beide tijdstippen werd 'geluid' waargenomen door de klager. Overschrijdingen van de referentiecurve vinden plaats in de tertsbands bij 100 Hz van 5 dB en 3 dB.

In veel situaties waarin men klaagt over laagfrequent geluid, zijn in het tertsbands- of lijnspectrum pieken zichtbaar in het laagfrequente gebied die duiden op tonen. Volgens Piorr en Wietlake (1990) komen er bij laagfrequent geluid in een (woon)ruimte waarover geklaagd wordt, altijd één of meer laagfrequente tonen voor. De gepubliceerde spectra van laagfrequent geluid ondersteunen deze stelling (Heringa en Vercammen, 1988; Vasudevan en Leventhall, 1982, 1989; Vercammen, 1990, 1992; Dawson, 1982; Mirowska, 1995; Van den Berg e.a., 1999).



Figuur 3 Lijnspectrum (lijnbreedte 0,4 Hz; L_{eq} zonder frequentieweging) van de opnamen, waarvan in figuur 2 de tertsbandspectra zijn gegeven.

A3 Psycho-fysiologische aspecten

Waarneming van laagfrequent geluid

Laagfrequent geluid kan worden waargenomen door:

- het gehoor
- een gevoel van druk, onder meer in de gehoorgang en op het hoofd;
- trillingen in buik, borst, armen en benen.

Maskering

Maskering is het effect dat een geluid onhoorbaar is door de aanwezigheid van een ander (maskeer)geluid. Maskering van geluid treedt niet alleen op in het frequentiegebied van het maskeergeluid maar ook in de naastgelegen frequentiegebieden. Het maskerende effect is daarbij naar hogere frequenties veel groter dan naar lagere frequenties. Maskeergeluid kan een geluid dat gelegen is in één tot drie lager gelegen tertsbanden maskeren, afhankelijk van zowel de sterkte van het maskeergeluid als van het andere geluid.

Het volgende is een praktijkvoorbeeld van het effect van maskering op het horen van laagfrequent geluid. Bij een woonhuis treedt zowel het (min of meer constante) geluid van een nabijgelegen snelweg als het laagfrequente geluid van een compressor op. Buiten zijn de geluidsdrukniveaus van het wegverkeer overdag zo hoog, dat de compressor buiten niet wordt gehoord. Gezien het frequentieafhankelijke effect van de geluidsisolatie van de woning wordt het geluid van de compressor binnen niet door het wegverkeersgeluid gemaskeerd en kan binnen dus wel hoorbaar zijn. Dit horen zal duidelijker zijn als 's avonds het wegverkeersgeluid afneemt en het geluid van de compressor dezelfde sterkte houdt als overdag. Door het wegvallen van het maskerende effect van het wegverkeersgeluid is de compressor 's nachts binnen duidelijk hoorbaar.

Hoorbaarheid van een toon

Er wordt wel aangenomen dat een toon hinderlijker is dan breedbandig geluid (ISO 1996). Er kunnen twee mogelijkheden worden onderscheiden. De eerste mogelijkheid is dat de geluidsdrukniveaus in de frequenties rond een toon te laag zijn om te worden waargenomen. Er kan dan geen maskering van de toon door het omringende geluid optreden en om te bepalen of een toon gehoord wordt hoeft er geen rekening met de omliggende geluidsdrukniveaus gehouden te worden. Bij de tweede mogelijkheid zijn de geluidsdrukniveaus in de frequenties rond de toon wel hoorbaar, d.w.z. de geluidsdrukniveaus liggen boven de gehoordrempel. Of een toon in een (breedbandig) geluid hoorbaar is, hangt af van het verschil in geluidsdrukniveau van de toon en van de geluidsdrukniveaus in een frequentiegebied (de zogenoemde kritische band) van het geluid rond de toon. In het geval van laagfrequent geluid moet de kritische band met een breedte van 100 Hz (rond de frequentie van de toon) beschouwd worden. In een geluid wordt een *laagfrequente toon* waargenomen als het geluidsdrukniveau van de toon ten minste gelijk is aan het geluidsdrukniveau in de kritische band rond de toon verminderd met 2 dB¹.

A4 Klachten en klagers

Klachten

In publikaties worden de volgende details over de ervaringen van mensen met klachten over laagfrequent geluid genoemd (Gielkens, 1998; Inaba, 1988; Tempest, 1989; Benton, 1997; Tesarz, 1992; Vasudevan, 1982; Persson, 1996):

- De richting van het geluid is niet te bepalen;
- Het geluid domineert de omgeving;
- Het is moeilijk om het geluid te negeren;
- Het geluid is overal aanwezig in de ruimte;
- Het is 's nachts erger;

¹

Bij een beoordeling van een spectrum in tertsbanden is een 100 Hz gebied 8 tertsbanden breed bij een toon van 20 Hz en 3 tertsbanden bij een toon van 125 Hz. Bij een beoordeling uit een tertsbandspectrum of een toon al dan niet hoorbaar is moet het geluidsdrukniveau van een toon bij 20 Hz om als toon gehoord te worden 7 dB boven de omringende 8 tertsbanden uitkomen, ervan uitgaande dat de geluidsdrukniveaus in de omringende tertsbanden gelijk zijn ($10 \lg 8 = 9$; $9 - 2 = 7$). Voor een toon van 125 Hz betreft dit 3 dB ($10 \lg 3 = 5$; $5 - 2 = 3$).

- Oudere mensen hebben er meer last van;
- De gevoeligheid voor het geluid neemt bij iemand met klachten in de loop van de tijd toe

Hoe omschrijven laagfrequent geluid waarnemers wat ze horen?

In de literatuur wordt het gehoorde geluid omschreven als een voortdurende dreun, als een in sterkte wisselend gebonk, en ook wel als een steeds terugkerend 'gediesel'. Volgens Tempest (1989) (zie ook International Conference on Low Frequency Noise, 1985) antwoorden mensen die klagen over laagfrequent geluid steeds op dezelfde wijze op vragen als 'vind je het lawaaiig?' 'Nee' 'Klinkt het luid?' 'Nee' 'Is it a big noise?' 'Nee' 'Is er een aspect dat je ingrijpend vindt?' 'Ja' 'Kun je aangeven welk aspect dat is?' 'Nee, dat kan ik niet omschrijven'.

Leventhall (International Conference on Low Frequency Noise, 1985) spreekt over het 'tuning-in' van een waarnemer van laagfrequent geluid. Het lijkt er op dat de waarnemingsdrempel van een klager over laagfrequent geluid langzaam afneemt en het laagfrequente geluid steeds duidelijker en gemakkelijker wordt waargenomen. Persson (International Conference on Low Frequency Noise, 1985) heeft dit bij klagers over laagfrequent geluid ook waargenomen. Zij merkt tevens op dat er waarnemers van laagfrequent geluid zijn, die aangeven dat ze niet weten hoe, maar eerst op de een of andere manier een sensatie ervaren en dan laagfrequent geluid horen.

Klagers over laagfrequent geluid

Mensen met klachten over laagfrequent geluid behoren vooral, maar niet uitsluitend, tot de leeftijdsgroep boven 50 jaar (Gielkens, 1998; Inaba, 1988; Benton, 1997; Tesarz, 1992; Vasudevan, 1982). Volgens Tempest (1989) en Gielkens (1998) hebben mensen die klagen over laagfrequent geluid geen beter gehoor dan hun leeftijdgenoten. Klachten betreffen ook vaak, maar niet altijd, laagfrequent geluid gedurende de (late) avond en de nacht (Nagai, 1989; Mirowska 1995). Het in de diverse publikaties meest genoemde gevolg van laagfrequent geluid houdt verband met aspecten van de slaap, zoals het niet in kunnen slapen².

Klagers in het laboratorium en thuis

Broner en Leventhall (1984) hebben laboratorium experimenten gedaan met 75 proefpersonen waarvan 21 personen met klachten over laagfrequent geluid en 54 controles. Beide groepen zijn blootgesteld aan 7 geluiden met frequenties tussen 20 en 90 Hz bij drie verschillende sterktes. Het bleek dat de gemiddelde hinderscores van beide groepen in alle 21 situaties niet verschilden, noch bleek er een systematische trend in alle resultaten tesamen. Er is ook gevraagd of men een bepaald geluid thuis acceptabel zou vinden. Dan scoren de personen met klachten bij het laagste geluidsdruk niveau veel hoger dan de anderen. Bij de zeven blootstellingen aan het laagste geluidsdruk niveau zouden 19,8% van de klagers de situatie thuis onacceptabel vinden en 5,5% van de controles. Bij de hogere geluidsdruk niveaus bleek er weinig verschil.

A5 Andere criteria voor de beoordeling van LF geluid

In enkele landen en eerder in Nederland zijn criteria voorgesteld om LF geluid te beoordelen. Behalve bij ANSI (1997) hebben ze allen gemeenschappelijk dat een tertsbandspectrum wordt bepaald dat bij de laagste frequenties vergeleken wordt met een gehoordrempel; bij de hogere frequenties is aansluiting gezocht bij (hogere) grenswaarden voor 'gewoon' geluid in dB(A). De overgang tussen beide frequentiegebieden is eigenlijk willekeurig, net zoals de grens tussen LF-geluid en 'gewoon' geluid dat is (zie A1). De Duitse DIN-norm (1997) acht daardoor enig hoorbaar geluid toelaatbaar vanaf 80 Hz. Een Zweeds criterium (Socialstyrelsen 1996) en een criterium voorgesteld door Vercammen (1992) achten vanaf 40 Hz enig hoorbaar geluid toelaatbaar.

²

Er is één klein onderzoek verricht waarbij de invloed is bestudeerd van laagfrequent geluid op de slaap. Inaba en Okada (1988) onderzochten in het laboratorium zes studenten. Er werden slaap EEG's opgenomen. Bij blootstelling aan laagfrequent geluid blijken meer veranderingen in slaapstadia op te treden dan in een stille omgeving. Er bleek verder geen invloed op andere slaapparameters, zoals de inslaaptijd.

Bijlage B: GEVOLGEN VAN LF GELUID

B1 Geluidshinder

Ongewenste geluiden kunnen een gevoel geven van ergernis, wrevel, ontstemming of onbehagen. Dit heet geluidshinder. De reacties van mensen op geluid kunnen verschillen. De houding ten opzichte van het geluid speelt daarbij een rol. Ook geluidgevoeligheid, angst, en het gevoel van controle over de geluidbron is van belang voor de hinder.

B2 Laagfrequent geluid als stressor

Met betrekking tot 'gewone' omgevingsgeluiden, zoals afkomstig van het verkeer en de industrie, komen steeds meer onderzoeksgegevens beschikbaar die aantonen dat deze geluiden bij langdurige blootstelling bij een deel van de blootgestelden stress veroorzaken (Passchier-Vermeer, 1993; Gezondheidsraad, 1994). Met 'gewoon' omgevingsgeluid kunnen mensen in de omgeving de ervaren stress begrijpen, ook al ervaart men zelf geen of minder overlast. Veel gecompliceerder is het over het algemeen met stress door laagfrequent geluid. Vaak is er in een woonomgeving maar één persoon die het laagfrequente geluid waarneemt en bij deze persoon ontstaat soms twijfel aan de eigen geestelijke vermogens. Daarbij is een belangrijke factor dat de bron door de klager veelal niet is aan te wijzen. Als men een klacht indient bij de betrokken autoriteiten, wordt als vervolg daarop niet altijd door geluidmetingen aangetoond dat er laagfrequent geluid aanwezig is. Vaak blijkt dat de omgeving zelfs erg rustig is. Dit heeft vaak tot gevolg dat de betrokkene steeds sterker geobsedeerd raakt door het laagfrequente geluid, en steeds slechter gaat functioneren.

Gevolgen van stress

De reacties op een stressor kunnen van psychologische, gedragsmatige en somatische aard zijn (Gezondheidsraad, 1992). Psychologische effecten zijn naast hinder bijvoorbeeld depressie, frustratie en irritatie. Voorbeelden van gedrag als reactie op stressoren zijn agressie, vermijdingsgedrag en overmatig gebruik van alcohol, tabak, drugs of voedsel. Somatisch zijn effecten als veranderingen in de bloedsomloop (hoge bloeddruk) en ademhaling, hoofdpijn, duizeligheid, zweten, en slapeloosheid. De gevolgen van stress door laagfrequent geluid kunnen in epidemiologisch onderzoek in kaart gebracht worden. Een voorbeeld van een dergelijk onderzoek is het in Engeland in 1982 uitgevoerde onderzoek bij 40 klagers over laagfrequent geluid in hun woning (Vasudevan en Leventhall, 1982). Uit de dagelijks gedurende enkele maanden ingevulde logboekjes bleek dat de overlast door het laagfrequente geluid het grootst was tussen laat op de avond en vroeg in de morgen. Tijdens de interviews bleek bij velen dat het geluid hen zo bezighield dat ze ternauwernood aan iets anders konden denken. Dat leidde tot gebrek aan concentratie, gezondheidsklachten zoals hoofdpijn, depressieve gevoelens, slapeloosheid. Het voornaamste aspect dat volgens de deelnemers aan het onderzoek overlast veroorzaakt is het dieselen/bonken van het geluid, niet de sterkte.

Laboratoriumexperimenten

Osguthorpe en Mills (1982) hebben in het laboratorium het effect van blootstelling aan laagfrequent geluid (octaafbanden rond 63, 125, en 250 Hz) op bloedcirculatie (hartslag, bloeddruk) en stresshormonen (cortisol, catecholaminen) in het bloed onderzocht. Zij stellen een statistisch significante verhoging van cortisol door blootstelling aan elk van de octaafbanden vast. Dit resultaat wijst er op dat laagfrequent geluid dezelfde fysiologische gevolgen heeft als hoger frequent geluid

Bijlage C: WAARNEMING VAN LF GELUID

C1 Geoordrempel en waarnemingsdrempel

Centraal bij de behandeling van klachten over laagfrequent geluid staat de vraag of een klager in staat is het eventueel in een ruimte aanwezige geluid waar te nemen. Deze waarneming zal over het algemeen via het gehoor gebeuren. Echter, op basis van onderzoeken is het waarschijnlijk dat personen laagfrequent geluid met frequenties beneden ongeveer 10 Hz ook waarnemen op een andere wijze dan via het gehoor, bijvoorbeeld door druk in de gehoorgang, bij het trommelvlies of op het hoofd. Bij iets hogere frequenties (ongeveer 20 Hz) kunnen daarbij ook trillingen gevoeld worden in borst, buik of extremiteiten. Bij de laagste frequenties zou dus niet over gehoordrempel maar over waarnemingsdrempel gesproken moeten worden. Opvallend is echter dat in alle betreffende publikaties met resultaten over psycho-akoestische testen niet de term waarnemingsdrempel maar de term gehoordrempel wordt gehanteerd, ook voor de waarneming in het zeer laagfrequente gebied. Toch zijn de proefnemingen vrijwel altijd zo ingericht dat het laagfrequente geluid door de proefpersonen ook via druk en trillingen zou kunnen zijn waargenomen. Deze waarnemingen zijn dus impliciet in de bepaling van de gehoordrempel meegenomen. In het vervolg wordt ook alleen de term gehoordrempel gehanteerd.

C2 Horen met twee oren

Voor veel toepassingen wordt de gehoordrempel van personen bepaald met behulp van een audiometer die is uitgerust met hoofdtelefoons. Bij deze 'gewone' vorm van audiometrie wordt de gehoordrempel als functie van de frequentie bepaald voor beide oren afzonderlijk. Een audiometer wordt zo geïkht dat een geselecteerde groep jonge mensen bij alle frequenties een mediane gehoordrempel heeft van 0 dB. In dit hoofdstuk worden gehoordrempels beschouwd die zijn bepaald met behulp van geluid dat via luidsprekers wordt gepresenteerd aan luisteraars die zich in een daartoe speciaal ingerichte ruimte bevinden. Deze vrijwel uitsluitend in de psycho-akoestiek toegepaste methodiek levert de gehoordrempel als functie van de frequentie als de luisteraar met beide oren tegelijkertijd naar het aangeboden geluid luistert, de zogenoemde binaurale gehoordrempel. Deze gehoordrempel (in dB) is het juist hoorbare geluidsdrukkniveau (ten opzichte van een geluidsdruk van 20 μ Pa) en dat geluidsdrukkniveau wordt bepaald met 'gewone' geluidmeet-apparatuur. De binaurale gehoordrempels zijn dus geschikt om te worden vergeleken met de uitkomsten van geluidmetingen die worden uitgevoerd in woningen om na te gaan of laagfrequent geluid aanwezig is. Immers, als de binaurale gehoordrempel van een persoon bij een bepaalde frequentie bijvoorbeeld 50 dB is en het geluidsdrukkniveau van een geluid in een ruimte bij deze frequentie gelijk aan 60 dB, dan zal deze persoon het geluid kunnen horen. Een andere persoon met een binaurale gehoordrempel van 70 dB bij dezelfde frequentie echter niet.

C3 Beschrijving gehoordrempels van groepen personen

Er zijn individuele verschillen tussen de gehoordrempels (bij een bepaalde frequentie). De verdeling van de gehoordrempels van een groep personen bij een bepaalde frequentie wordt beschreven met een 'gemiddelde' en één of meer maten voor de spreiding in de gehoordrempels. Allerlei oorzaken van gehoorverlies hebben bij een doorsnee populatie tot gevolg dat er meer spreiding is in de hogere (slechtere) gehoordrempels dan in de lagere (betere) gehoordrempels, waardoor de gehoordrempels niet normaal maar scheef verdeeld zijn. Daarom karakteriseren de gemiddelde gehoordrempel en de standaarddeviatie in de gehoordrempels de verdeling van de gehoordrempels van een groep personen niet volledig. In deze richtlijn is gekozen voor de verdeling van de gehoordrempels van een groep personen in de leeftijdscategorie van 55 jaar beschreven met de mediane gehoordrempel en de gehoordrempel die juist wordt overschreden door 90% van de gehoordrempels. Passchier-Vermeer (1998) heeft aangegeven op welke wijze de drempelwaarden tot stand zijn gekomen. Voor verder inzicht in de gehoordrempels van een doorsnee groep 55-ers is in onderstaande tabel 3 ook een schatting gemaakt van de gehoordrempels die door 50 % (mediaan) respectievelijk door 10% van de groep juist wordt overschreden. In de onderhavige richtlijn laagfrequent geluid wordt het frequentiegebied van 20 Hz tot 100 Hz in beschouwing genomen van de 90 % groep.

Tabel 3 Procentuele waarden van de gehoordrempels (geluidsdrumniveau in dB t.o.v 20 µPa) van een doorsnee groep 55-ers. Het betreft de gehoordrempels overschreden door 90%, 50% (mediaan) en 10% van de gehoordrempels. De in deze richtlijn gehanteerde beoordelingscurve voor klagers over LF geluid is vetgedrukt (afgerond op hele dB's).

| Frequentie in Hertz | Gehoordrempel overschreden door | | |
|---------------------|---------------------------------|---------------|------|
| | 90% | 50% (mediaan) | 10% |
| 4 | 107,5 | 119 | 135 |
| 5 | 103,5 | 115 | 131 |
| 6,3 | 99,5 | 111 | 127 |
| 8 | 95,5 | 107 | 123 |
| 10 | 91,5 | 103 | 119 |
| 12,5 | 87,5 | 99 | 115 |
| 16 | 83,5 | 95 | 111 |
| 20 | 74 | 85 | 101 |
| 25 | 62 | 73 | 89 |
| 31,5 | 55 | 66 | 82 |
| 40 | 46 | 57,5 | 73,5 |
| 50 | 39 | 50,5 | 66,5 |
| 63 | 33 | 44,5 | 60,5 |
| 80 | 27 | 38,5 | 54,5 |
| 100 | 22 | 33,5 | 49,5 |
| 125 | 17,5 | 29 | 45 |
| 160 | 13,5 | 25 | 41 |
| 200 | 10 | 21,5 | 37,5 |
| 250 | 6,5 | 18 | 34 |
| 315 | 4 | 15,5 | 31,5 |
| 400 | 1 | 12,5 | 28,5 |
| 500 | - 1 | 10,5 | 26,5 |

Bijlage D: APPARATUUR

D1 Apparatuur

De apparatuur bestaat uit:

1. een opname-eenheid bij de klager;
 - microfoon;
 - voorversterker.
 - DAT-recorder.
2. een analyse-eenheid in het laboratorium;
 - spectrum-analysator.
 - eventueel een papierschrijver of pc.

Het is niet verstandig om de analyse-eenheid bij de klager achter te laten omdat de bediening ervan lastig is.

D2 Frequentiebereik

Het frequentiebereik kan worden beperkt door elke component afzonderlijk in de opname-eenheid. In het algemeen is de frequentiekenarakteristiek van moderne componenten vanaf 20 Hz tot ver in het hoogfrequente gebied recht, d.w.z. dat de versterking frequentie-onafhankelijk is. Bij lagere frequenties is de lineariteit vaak nog redelijk, maar minder goed gespecificeerd. Moderne apparatuur is in het algemeen niet zonder meer geschikt voor frequenties lager dan enkele hertz.

De analyse-eenheid moet in staat zijn om in elk geval vanaf 20 Hz tertsbandspectra te verwerken. Aanvullend is het wenselijk dat smalbandiger kan worden geanalyseerd teneinde tonale componenten te kunnen onderscheiden, bijvoorbeeld in 1/12e of 1/24e oktaafbanden of als een Fourier- of lijnspectrum. Men dient er op verdacht te zijn dat een spectrumanalysator frequenties wellicht kan weergeven tot ver onder de 10 of 20 Hz, maar dat dan niet altijd een correct niveau wordt weergegeven vanwege beperkingen (niet-lineariteit, ruis) in het systeem.

Hoewel de metingen het LF gebied betreffen is inzicht in de optredende niveaus bij frequenties boven het LF gebied (> 100 Hz) ook wenselijk. Het over het hele gehoorgebied A-gewogen geluidniveau geeft een beeld van het algemeen voorkomende niveau.

D3 Niveaubereik

In het algemeen veroorzaken laagfrequente geluiden vooral 's nachts overlast in woningen, dus als het relatief stil is. Dat betekent dat men in het algemeen bij lage tot zeer lage geluidsniveaus meet. Veel voorkomende waarden voor het totale geluidsniveau zijn: 40 - 70 dB(lin) en 20 - 25 dB(A).

Ondanks deze lage geluidsniveaus moet men over een relatief groot bereik kunnen meten omdat de geluidsdruk-niveaus van de referentiecurve in het LF-gebied variëren over een bereik van 50 dB. In principe moet men kunnen meten van ca. 10 dB onder tot zeker 10 dB boven de referentiecurve, d.w.z. over 70 dB in het LF-gebied. Moderne, professionele apparatuur voldoet hieraan. DAT-recorders hebben een bereik van 90 dB. Bij voorkeur stelt men in op geluidsniveaus van 0 à 10 tot 90 à 100 dB. Het bereik van het meetsysteem wordt aan de onderzijde beperkt door ruis in de afzonderlijke componenten. In het LF-gebied is dat vooral ruis van de voorversterker. Dat ruisniveau kan bij de laagste frequenties corresponderen met een geluidsniveau van enkele tientallen dB, maar neemt af bij toenemende frequentie. Bij hoge frequenties wordt de systeemruis bepaald door thermische ruis van de microfoon. Een één-inch microfoon heeft een lagere ruisdrempel dan de veel gebruikte half-inch. Nog kleinere microfoons zijn vanwege hun hogere ruisniveaus af te raden.

Hoge niveaus zullen in het algemeen geen probleem zijn voor de apparatuur. Het is echter belangrijk dat tijdens een onderzoek het meetbereik aan de bovenzijde niet overschreden wordt, aangezien door het begrenzen van het ingangssignaal hogere frequenties worden geïntroduceerd die tot grote beoordelingsfouten kunnen leiden. Een 'overload' of 'overflow' is derhalve niet toegestaan. Tijdens een meting is een incidentele overschrijding van het bereik niet erg, als dat deel van de opname later niet gebruikt wordt.

D4 Resolutie en betrouwbaarheid

Bij een lijnspectrum heeft elke lijn een vaste frequentiebreedte (lijnbreedte), nl. de spectrumbreedte gedeeld door het aantal lijnen. Bij een 1/12e of 1/24e octaafbandspectrum is de lijnbreedte variabel en een vast percentage van de middenfrequentie van de band; bij 1/3e octaaf (terts): 26%, 1/12e octaaf: 6%, 1/24e octaaf: 3%. Bij lage frequenties geeft dit zeer kleine bandbreedtes.

De nauwkeurigheid (standaarddeviatie) waarmee het geluidniveau in een frequentieband door meting wordt bepaald is afhankelijk van de meettijd T en de breedte B van de frequentieband en bedraagt $10 \cdot \log(1 + (4BT)^{-1})$. Een nauwkeurigheid beter dan 1 dB wordt bereikt als het product BT groter is dan 1. Bij de tertsbands met frequentie 20 Hz, breedte $B = 5,2$ Hz, is de nauwkeurigheid bij meettijden van seconden dus al voldoende goed. Variaties in het geluid zelf zullen tot grotere onzekerheden leiden. Bij smalbandiger analyses moet men in de praktijk bij de laagste frequenties wel rekening houden met voldoende lange meettijden.

D5 Geluid van opname-apparatuur

Het loopwerk van een recorder en een netvoeding veroorzaken geluiden die tijdens een meting of tijdens de analyse merkbaar kunnen zijn. Het loopwerkgeluid is onvermijdelijk, maar bevat geen of nauwelijks LF geluid, en kan enigszins vermeden worden door voldoende afstand tussen recorder en microfoon (ca. 2 m) te houden en daarbij de recorder niet in een hoek te zetten. Belangrijk is het geluid van de recorder te kennen zodat het bij analyse herkenbaar is.

Het geluid van een netvoeding, dat 100 Hz-harmonischen bevat, kan eveneens verminderd worden door voldoende afstand. Mocht het toch te luid zijn, dan kan het vermeden worden door geen netvoeding te gebruiken, maar een accu. Dit stoorgeluid is zeer ongewenst speciaal in het geval dat het hinderlijke LF geluid ook uit harmonischen van de netfrequentie bestaat.

REFERENTIES

ANSI: **Quantities and procedures for description and measurement of environmental sound**. deel 4 van Noise assessment and prediction of long-term community response, American National Standards Institute, 1997.

S. Benton: **An investigation into the self generation of annoyance responses to low level low frequency noise**. J Low Frequency Noise & Vibration 1991; 10(2)59-62.

B. Berglund, P. Hassmén, R.F. Soames Job: **Sources and effects of low-frequency noise**, Journal of the Acoustical Society of America Vol. 99 (5), mei 1996.

G.P. van den Berg: **Laagfrequent geluid en hinder Informatiebundel**, Natuurkundewinkel RuG i.s.m. Meldpuntennetwerk Gezondheid en Milieu en gespreksgroep Laagfrequent Geluid (rapportnr. NWU-71), 1996.

G.P. van den Berg: **Sound exposure measurements in cases of low frequency noise complaints**, proc. Internoise 1998, Christchurch, 1998.

G.P. van den Berg, P.W.G. Altena, R.R. Nederhoed: **Stil geluid; laagfrequent geluid in woningen**, Natuurkundewinkel RuG (Rapportnr. NWU-83), maart 1999.

G.P. van den Berg: **Meten van laagfrequent geluid in woningen**, voorstel voor een richtlijn, Natuurkundewinkel RuG (Rapportnr. NWU-84), februari 1999.

N. Broner., H.G. Leventhall: **The annoyance and unacceptability of lower level low frequency noise**. J Low Frequency Noise and Vibration 1984;3(4):154-166.

H. Dawson: **Practical aspects of the low frequency noise problem**. J Low Frequency Noise & Vibration 1982;1:28-44.

DIN: **Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschmissionen in der Nachbarschaft**, Deutsches Institut für Normierung (DIN 45680), Berlijn, 1997.

Gezondheidsraad. Commissie Stress en gezondheid. **Stress en gezondheid**. Den Haag: Gezondheidsraad, 1992. Rapport A92/02.

Gezondheidsraad. Commissie Geluid en gezondheid. **Geluid en gezondheid**. Den Haag: Gezondheidsraad, 1994. Rapport A94/15.

P.H.Heringa, M.L.S.VercammenL **Laagfrequent geluid; een literatuurstudie**. Den Haag: Ministerie van VROM, 1988. Rapport GF-HR-01-04.

C. Gielkens-Sijstermans, T.H. Collijn, A.W. Jongmans-Liedekerken: **Gevoeligheid voor laagfrequent geluid; een studie naar mogelijke factoren**, GGD Oostelijk Zuid-Limburg, 1998.

R. Inaba, A. Okada: **Study on the effects of infra- and low frequency sound on the sleep by EEG recording**. J Low Frequency Noise and Vibration 1988;7:15-9.

Industrielawaai: **Handleiding meten en rekenen Industrielawaai**, Interdepartementale Commissie Geluidhinder (rapport IL-HR-13-01) 1981.

International Conference on low frequency noise and vibration, London, 1985. Discussion at the end of the conference.

International Organization for Standardization. ISO 226 Acoustics - **Equal-loudness level contours for otologically normal listeners - Part 1: Reference threshold of hearing under free-field and diffuse-field listening conditions**. Geneve: ISO, 1997.

International Organization for Standardization. ISO 7196 **Acoustics - Frequency weighting characteristic for infrasound**. Geneve:ISO, 1994.

M. Mirowsky: **Results of measurements and limits proposal for low frequency noise in the living environment**. J Low Frequency Noise and Vibration 1995;14:135-141.

NSG: **Laagfrequent geluid : verslag van een workshop 13 november 1996**, Nederlandse Stichting Geluidhinder, Delft, 1997.

Nagai N, Matsumoto K, Jamasumi Y et al. **The threshold of sensation for infrasound**. J Low Frequency Noise and Vibration 1982;1:165-73.

Nagai N, Matsumoto K, Jamasumi Y et al. **Process and emergence on the effects of infrasonic and low frequency noise on inhabitants**. J Low Frequency Noise and Vibration 1989;8:87-99.

J.D.Osguthorpe, J.H. Mills: **Nonauditory effects of low-frequency noise exposure in humans**. **Otolaryngol Head Neck Surg** 1982;90:367-70.

W. Passchier-Vermeer: **Geluid en gezondheid. Achtergrondstudie**. Den Haag: Gezondheidsraad, 1993. Rapport A93/02.

W. Passchier-Vermeer: **Vibrations in dwellings: exposure and annoyance**. Leiden: TNO-PG, 1995. Rapport 95.058.

W. Passchier-Vermeer: **Beoordeling laagfrequent geluid in woningen**, TNO Preventie en Gezondheid (rapport 98.028), 1998.

K. Persson, R. Rylander: **Disturbance from low-frequency noise in the environment: a survey among the local environmental health authorities in Sweden**, Journal of Sound and Vibration vol. 121 No. 2 (1988).

D Piorr, K.H. Wietlake **Assessment of low frequency noise in the vicinity of industrial noise sources**. J Low Frequency Noise and Vibration 1990;9:116-9.

L. Reubsaet: **De geluidwering van de gevel bij lage frequenties**; Vakgroep FAGO Faculteit Bouwkunde TU Eindhoven (afstudeerrapport), 1997.

C.G. Rice: **Annoyance due to low frequency hums**, British Medical Journal Vol. 308, feb. 1994.

S. Riemens: **Meten van Laagfrequent geluid**, Handboek voor Milieubeheer - Deel III: Lawaai-beheersing, Samson H.D. Tjeenk Willink, Alpen aan de Rijn, september 1995.

J.W. Sargent: **A study of environmental low frequency noise**, Building Research Establishment UK (1994).

C. Sijstermans: **Laagfrequent geluid: een gezondheidsprobleem?!?!**, GGD Oostelijk Zuid-Limburg, 1996.

Chr. Simmons: **Measurements of Sound Pressure Levels at Low Frequencies in Rooms**; SP Swedish National Testing and Research Institute (SP Report 1997:27), 1997.

Socialstyrelsen: **Indoor Noise and High Sound-Levels**: General Guidelines issued by the Swedish National Board of Health and Welfare (Socialstyrelsen), 1996.

M. Tesarz, A. Kjellberg, U. Landstrom, K. Holmberg: **Subjective response patterns related to low frequency noise.** J Low Frequency Noise Vibration and Active Control 1992;16:145-9.

W Tempest: **A survey of low frequency noise complaints received by local authorities in the United Kingdom.** J Low Frequency Noise and Vibration 1989;8:45-9.

R.N. Vasudevan, H.G. Leventhall: **A study of annoyance due to low frequency noise in the home.** J Low Frequency Noise and Vibration 1982;3:157-164.

R.N. Vasudevan, H.G. Leventhall: **Annoyance due to environmental low frequency noise and source location - a case study.** J Low Frequency Noise and Vibration 1989;8:30-9.

M.L.S. Vercammen: **Setting limits for low frequency noise.** J Low Frequency Noise and Vibration 1989;8:105-9.

M.L.S. Vercammen: **Low-frequency noise limits.** J Low Frequency Noise and Vibration 1992;11:7-12

M.L.S. Vercammen (1992): **Laagfrequent geluid**, Handboek voor Milieubeheer - Deel III: Lawaai-beheersing, Samson H.D. Tjeenk Willink, Alpen aan de Rijn, februari 1992.

M.L.S. Vercammen (1990): **Laagfrequent geluid overdrachtsmetingen**, Adviesbureau Peutz & Associates bv (Rapport nr. R548-12), 1990.

M.L.S. Vercammen, P.H. Heringa: **Laagfrequent geluid; grenswaarden, overdracht en meten.** Nijmegen: Adviesbureau Peutz & ass., 1990. Rapport R 548-13.