



TNO-rapport

2000.072

Laagfrequent geluid

*Informatie over waarneming, hinder en stress
door laagfrequent geluid in woningen.*

Divisie Volksgezondheid
Wassenaarseweg 56
Postbus 2215
2301 CE Leiden

www.tno.nl

T 071 518 18 18

F 071 518 19 20

Info-VGZ@pg.tno.nl

Datum 21 mei 2001

Auteurs W. Passchier Vermeer
Y. de Kluizenaar

Auteur

W. Passchier Vermeer
Y. de Kluizenaar

Projectnummer

40956

Deze uitgave is te bestellen door het overmaken van f 35,- (incl. BTW) op postbankrekeningnummer 99.889 ten name van TNO-PG te Leiden onder vermelding van bestelnummer 2000.072

Samenvatting

Trillingen die worden geproduceerd in ondergronds gebouwde objecten, zoals weg- en railverkeerstunnels, planten zich door de bodem voort en kunnen zo (delen van) woningen in trilling brengen. Dit kan tot gevolg hebben dat door de trillende (delen van) de woning in slaap- en woonvertrekken laagfrequent geluid wordt afgestraald. Om deze problematiek in kaart te brengen heeft een inventarisatie van kennis over laagfrequent geluid plaatsgevonden, die een onderdeel vormt van een project van CUR/COB commissie D100. Het voorliggende document is een onderdeel van deze inventarisatie. Het doel van deze bijdrage is het leveren van informatie over de volgende aspecten van laagfrequent geluid:

- Waarneming
- Hinder en klachten
- Stress
- Wet- en regelgeving
- Waarneming laagfrequent geluid of trillingen door ondergrondse activiteit

Onder hinder en klachten wordt tevens aandacht geschonken aan de NSG richtlijn laagfrequent geluid (NSG, 1999).

Inhoudsopgave

1	Inleiding 7
1.1	Achtergrond 7
1.2	Laagfrequent geluid 7
2	Waarneming van laagfrequent geluid 8
2.1	Psycho-fysiologische aspecten 8
2.2	Waarnemingsdrempel van laagfrequent geluid 9
3	Hinder en klachten ten gevolge van laagfrequent geluid 12
3.1	Hinder door laagfrequent geluid 12
3.2	Klagers en aard van hun klachten 13
3.3	NSG richtlijn laagfrequent geluid 14
4	Laagfrequent geluid en stress 16
5	Wet- en regelgeving laagfrequent geluid 18
6	Waarneming laagfrequent geluid of trillingen 19
7	Referenties 20

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Deze kennisinventarisatie is uitgevoerd in het kader van een onderzoek over laagfrequent geluid bij ondergrondse bebouwing, project van CUR/COB commissie D100, fase 1. Het doel van deze bijdrage is het leveren van informatie over de volgende aspecten van laagfrequent geluid:

- Waarneming
- Hinder en klachten
- Stress
- Wet- en regelgeving
- Waarneming laagfrequent geluid of trillingen door ondergrondse activiteit

Onder hinder en klachten wordt tevens aandacht geschonken aan de NSG richtlijn laagfrequent geluid (NSG, 1999).

1.2 Laagfrequent 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 nogal arbitraire keus gemaakt worden. In DIN 45680 (1997) is laagfrequent geluid gedefinieerd als geluid met frequenties in de 10 tertsbanden met middenfrequenties van 10 tot en met 80 Hz. Door de Socialstyrelsen (Gezondheidsraad) van Zweden worden de tertsbanden met middenfrequenties van 31,5 tot en met 160 Hz genomen, terwijl ANSI S12.9-1996-Part 4 (1996) de drie octaafbanden rond 16, 31,5 en 63 Hz gekozen heeft. In Passchier-Vermeer (1998) is om de waarnemingsdrempel voor laagfrequent geluid af te leiden uitgegaan van het frequentiegebied dat de 15 tertsbanden van 4 tot en met 100 Hz omvat. In de NSG-Richtlijn laagfrequent geluid zijn om meettechnische redenen de laagste 7 tertsbanden uit het frequentiegebied dat door Passchier-Vermeer is aangegeven buiten beschouwing gelaten en ligt het frequentiebereik van 20 tot 100 Hz. In dit document worden gegevens gepresenteerd over het frequentiegebied van 4 tot 200 Hz.

Laagfrequent geluid in de woonomgeving wordt veroorzaakt door transmissie van geluid van buiten de woning via de lucht, door bronnen in de woning en door het afstralen van geluid door trillende gebouwdelen, die mogelijk door ondergrondse activiteit in trilling zijn gebracht. Wanneer de eigenfrequenties van constructies in het betreffende frequentiegebied liggen, kan opslinging van gebouwdelen optreden. Een secundair effect van laagfrequent geluid is dat het onder meer ramen, deuren en serviesgoed in trilling kan brengen, waardoor hoger frequent geluid (rammelen) ontstaat.

2 Waarneming van laagfrequent geluid

2.1 Psycho-fysiologische aspecten

Laagfrequent geluid kan op verschillende manieren worden waargenomen:

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

Inukai et al. (1986) onderzochten de waarneming van laagfrequent geluid (3, 5, 10, 20 en 40 Hz; geluidsdrukkniveaus van 100 en 110 dB) bij 17 proefpersonen in het laboratorium. Uit hun onderzoek bleek dat:

- Bij 3 en 5 Hz druk op de oren en het lichaam bij lagere geluidsdrukkniveaus waarneembaar zijn dan trillingen en geluid;
- Bij 10 en 20 Hz trillingen van het lichaam bij lagere geluidsdrukkniveaus waarneembaar zijn dan geluid en druk op de oren en het lichaam;
- Boven 20 Hz geluid bij lagere geluidsdrukkniveaus waarneembaar is dan druk en trillingen.

Tsunekawa et al. (1987) onderzocht de waarneming van druk op de oren en het hoofd en van trillingen op de buik en borst als functie van het geluidsdrukkniveau van laagfrequent geluid (< 20 Hz) bij proefpersonen in reële situaties (onder bruggen, in een auto, naast een koeltoren). In deze situaties worden trillingen ongeveer even vaak waargenomen als druk op hoofd en oren. Het eventueel horen van het laagfrequente geluid is nagegaan door proefpersonen gedurende een deel van de experimenten oorkappen op te zetten. Het effect van het eventuele horen van de aangeboden signalen op de trilling- en druksensaties bleek gering te zijn.

Op basis van deze onderzoeken kan worden geconcludeerd dat het niet onwaarschijnlijk is dat mensen laagfrequent geluid met frequenties beneden ongeveer 10 Hz ook waarnemen op andere wijze dan via het gehoor, bijvoorbeeld door druk in de gehoorgang, bij het trommelvlies of op het hoofd. Bij hogere frequenties (tot ongeveer 20 Hz) kunnen daarbij ook trillingen die gevoeld worden in borst, buik of extremiteiten van belang zijn bij de waarneming van laagfrequent geluid. Boven 20 Hz wordt laagfrequent geluid bij de laagste geluidsdrukkniveaus via het gehoor waargenomen en spelen druk in de gehoorgang en trillingen een geringere rol.

Uit het navolgende zal blijken dat laagfrequent geluid in 'normale' situaties veelal laagfrequente *tonen* bevat. Volgens ISO/CD 1996-1 (2000) is een toon hinderlijker dan breedbandig geluid met hetzelfde geluidsdrukkniveau. Of een toon in een breedbandig geluid hoorbaar is, hangt af van het verschil in geluidsdrukkniveau van de toon en van de geluidsdrukkniveaus in een frequentiegebied (de kritische band) van het geluid rond die toon. In het geval van laagfrequent geluid heeft de kritische band een breedte van 100 Hz (rond de frequentie van de toon). In een geluid wordt een laagfrequente toon waargenomen als het geluidsdrukkniveau van de toon ten minste gelijk is aan het geluidsdrukkniveau in de kritische band rond de toon verminderd met 2 dB.

Laagfrequent geluid kan onder normale leefomstandigheden objecten in trilling brengen. In publicaties uit Japan (Yamada, 1980; Nagai et al., 1989) wordt het geluiddrukkniveau waarbij ramen gaan rammelen gegeven als functie van de frequentie. Het is niet bekend of deze waarden ook van toepassing zijn op in Nederland gebouwde woningen.

De luidheid van een toon of smal ruisbandje neemt bij lage frequenties sneller toe met het geluiddrukkniveau dan bij geluiden van hogere frequentie. Dat is duidelijk te zien in de zogenoemde 'equal loudness level contours' uit ISO 226 (1989).

2.2 Waarnemingsdrempel van laagfrequent geluid

In Passchier-Vermeer (1998) is op basis van literatuurgegevens nagegaan welke geluiddrukkniveaus (als functie van de frequentie van het aangeboden smalle ruisbandje of toon) in het laagfrequente gebied al dan niet waargenomen worden. Daarbij zijn waarnemingsdrempels beschouwd, die zijn bepaald met behulp van geluid dat via luidsprekers wordt gepresenteerd aan proefpersonen die zich in een daartoe speciaal ingerichte ruimte bevinden. Deze vrijwel uitsluitend in de psycho-akoestiek toegepaste methodiek levert de waarnemingsdrempel als functie van de frequentie als de proefpersoon met beide oren tegelijkertijd naar het aangeboden geluid luistert en het gehele lichaam zich in het geluidveld bevindt. Hoewel het voor geluid bij frequenties beneden 20 Hz niet uitgesloten is dat de waarneming niet via het gehoor maar op andere wijze tot stand komt, wordt in alle betreffende publicaties met resultaten van psycho-akoestische testen niet de term waarnemingsdrempel maar de term gehoordrempel gehanteerd. In dit document nemen we deze gewoonte over. De gehoordrempel die wordt bepaald als met beide oren naar het aangeboden signaal wordt geluisterd heet de binaurale gehoordrempel. Deze gehoordrempel (in dB) is het juist hoorbare geluiddrukkniveau (ten opzichte van een geluiddruk van $20 \cdot 10^{-6}$ Pa) en dat geluiddrukkniveau 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 geluiddrukkniveau 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.

Er zijn individuele verschillen in de binaurale gehoordrempels (bij een bepaalde frequentie). Voor een groep personen kan de verdeling van hun binaurale gehoordrempels bij een bepaalde frequentie worden beschreven met een 'gemiddelde' en één of meer maten voor de spreiding in de gehoordrempels. De gehoordrempels van doorsnee populaties zijn over het algemeen niet 'statistisch normaal verdeeld'. 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 over het algemeen niet volledig en wordt de verdeling van gehoordrempels van een groep personen beschreven met de mediane gehoordrempel en de gehoordrempels die juist worden

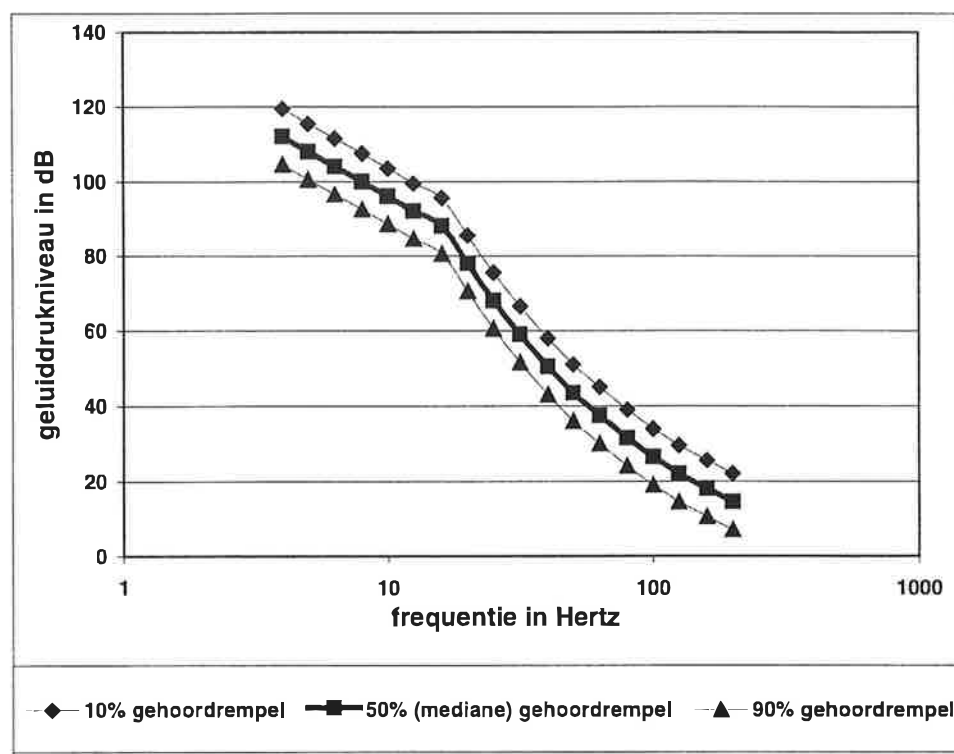
overschreden door 90% en door 10% van de gehoordrempels. De mediane binaurale gehoordrempel van een groep otologisch geselecteerde jonge mensen (18-25 jaar), die ook niet tijdens het werk aan hoge geluidniveaus hebben blootgestaan, is in figuur 1 als functie van de frequentie uitgezet. Tevens zijn aangegeven de gehoordrempels als functie van de frequentie die niet gehoord worden door 10% en door 90% van deze groep. Bij deze groep is er wel sprake van een statistisch normale verdeling van gehoordrempels. Het verschil tussen de mediane gehoordrempel en de 10% en 90%-waarden is 7,5 dB. In tabel 1 zijn de waarden van de mediane gehoordrempels gegeven.

*Tabel 1 Mediane gehoordrempel van een groep otologisch geselecteerde jonge proefpersonen **

Middenfrequentie tertsband in Hz	Geluiddrukkniveau in dB t.o.v. $20 \cdot 10^{-6}$ Pa
4	112
5	108
6,3	104
8	100
10	96
12,5	92
16	88
20	78
25	66
31,5	59
40	50,5
50	43,5
63	37,5
80	31,5
100	26,5
125	22
(160)	(18)
(200)	(14,5)
(250)	(11)
(315)	(8,5)
(400)	(5,5)
(500)	(3,5)

* De mediane waarden in het frequentiegebied van 160 tot 500 Hz zijn eveneens in de tabel opgenomen.

Figuur 1 Verdeling van de ruimtelijk bepaalde binaurale gehoordrempels (in dB ten opzichte $20 \cdot 10^{-6}$ Pa) van een groep otologisch geselecteerde jongeren zonder hoge geluidsbelastingen tijdens het werk. Gegeven zijn de gehoordrempels die juist worden overschreden door 10, 50 en 90% van deze jongeren.



3 Hinder en klachten ten gevolge van laagfrequent geluid

3.1 Hinder door laagfrequent geluid

Geluidhinder is een gevoel van ergernis, wrevel, ontstemming of onbehagen ten gevolge van blootstelling aan ongewenste geluiden. Reacties van mensen op geluid kunnen verschillen, afhankelijk van hun houding ten opzichte van het geluid en de bron die het geluid veroorzaakt, hun geluidgevoeligheid, angst en het gevoel van controle over de geluidbron.

Recent is in het kader van een inventarisatie van de hinder door milieufactoren een landelijk vragenlijstonderzoek uitgevoerd (De Jong et al., 2000). Van begin oktober tot half december 1998 werd een mondelinge enquête afgenomen bij een representatieve steekproef van inwoners van Nederland van 16 jaar en ouder. Daarbij zijn ook vragen gesteld over lichamelijke sensaties die verband kunnen houden met laagfrequent geluid. In tabel 1 zijn deze vragen kort weergegeven en zijn de percentages positieve antwoorden opgenomen. Bij een positief antwoord werd gevraagd of bij de sensatie een geluid werd waargenomen. De percentages respondenten die tevens een geluidssensatie ondergingen zijn in de laatste kolom opgenomen. Aan elke respondent werd een score toegekend: dit is het aantal positieve antwoorden op sensatie plus geluidwaarneming.

Tabel 2 Vragen die te maken zouden kunnen hebben met laagfrequent geluid, gesteld in het landelijke vragenlijst onderzoek uit 1998 (De Jong et al., 2000) Merkt u in uw woning wel eens iets van (aantal respondenten = 2002):

	Percentage met sensatie	Percentage met geluidssensatie
Een oplopende druk in uw oren	6	6
Een trillend gevoel over uw hele lichaam	5	3
Een trillend gevoel op uw borst	3	1,5
Een ongemakkelijk gevoel door een laag, zoemend geluid	10	10
Een onverklaarbaar gevoel van ongemak	11	3

De scoringsprocedure leidt tot de volgende verdeling van de respondenten over de scores van 0 tot en met 5 (zie tabel 3). De analyse kan nog iets worden uitgebreid, en wel met het invoeren van een exclusie criterium. Immers, het hebben van een trillend gevoel kan ook met trillingen samenhangen. Daarom is het heel goed mogelijk dat respondenten de twee vragen naar 'een trillend gevoel...' koppelen aan trillingen die zij ervaren en waarvan zij de herkomst niet kunnen bepalen: 'trillingen waarvan u niet weet waar ze vandaan komen'. De respondenten die in de vragenlijst hebben aangegeven dergelijke trillingen te voelen, kunnen daarom worden uitgesloten van de gevolgde analyse. Het beeld verandert hierdoor niet veel, zie laatste kolom van tabel 3.

Tabel 3 De resultaten van de scoringsprocedure met betrekking tot sensaties die verband kunnen houden met laagfrequent geluid: zonder en met exclusiecriteria (De Jong et al., 2000).

Score	zonder exclusie (%)	met exclusie (%)
0	83	85
1	13	12
2	3,4	2,9
3	0,9	0,8
4	0,4	0,3
5	0,1	-

In totaal rapporteert met exclusie 15% van de respondenten minstens één negatieve sensatie die veroorzaakt zou kunnen zijn door laagfrequent geluid. 4% rapporteert minstens twee negatieve sensaties. De interpretatie van de antwoorden op de vragen wordt ten eerste bemoeilijkt doordat de sensaties waarnaar gevraagd wordt, in feite aspecifiek zijn (dus niet uitsluitend betrekking hoeven te hebben op laagfrequent geluid). Met andere woorden: ongeacht de te kiezen scoringsprocedure en ongeacht waar men de grens legt (bij 1, 2 of meer positief beantwoorde vragen), er zal altijd een *overschatting* optreden wanneer men de sensaties uitsluitend wijt aan laagfrequent geluid. Hoe groot deze overschatting is, kan niet worden aangegeven. Daarom kan op grond van dit onderzoek geen betrouwbare inschatting worden gegeven van de prevalentie van negatieve sensaties door laagfrequent geluid in de Nederlandse bevolking. Hooguit kunnen de gegeven percentages als een (te hoge) bovengrens worden gezien.

Andresen en Møller (1984) hebben curven van gelijke hinderlijkheid van laagfrequent geluid in laboratoriumsituaties opgesteld en vergeleken met in een ander experiment vervaardigde curven van gelijke luidheid. De vraag over hinder in het onderzoek werd in het kader geplaatst van de hinder die men thuis van het betreffende geluid zou hebben. Er is een zeer goede overeenkomst tussen de beide sets curven. De relaties tussen hinder en luidheid blijven behouden over het frequentiegebied beneden 1000 Hz. Bij de lagere frequenties en de lagere niveaus lijkt de tendens aanwezig dat geluid van laag niveau en met lage frequentie nog iets hinderlijker is dan op basis van de luidheid verwacht moet worden. Gezien echter de geringe omvang van de beide onderzochte groepen kan aan dit verschil geen statistisch significante waarde toegekend worden. Een later experiment dat is uitgevoerd door Møller (1987) leverde een zelfde resultaat op: hinder (in het laboratorium) door laagfrequent geluid is sterk gekoppeld aan de luidheid van het geluid. In het algemeen is het echter de vraag of resultaten over in het laboratorium bepaalde hinder generaliseerbaar zijn naar hinder in de woonomgeving.

3.2 Klagers en aard van hun klachten

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

Waarnemers van laagfrequent geluid beschrijven het geluid als een voortdurende dreun, als een in sterkte wisselend gebonk en ook wel als een steeds terugkerend 'gediesel'. Het geluid wordt niet zozeer als lawaaiig of luid ervaren, maar wel als ingrijpend (Tempest, 1989). Het lijkt erop dat de waarnemingsdrempel van een klager over laagfrequent geluid langzaam afneemt en het geluid steeds duidelijker en gemakkelijker wordt waargenomen (International Conference on Low Frequency Noise, 1985).

Gielkens et al. (1998) rapporteren dat mensen met klachten over laagfrequent geluid, gemiddeld genomen, meer aandacht hebben voor geluid, evenals voor muziek, dan hun huisgenoten. Verder hebben de klagers geen afwijkende kenmerken, behalve een frequenter gebruik van slaap- en kalmeringsmiddelen. 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 publicaties meest genoemde gevolg van laagfrequent geluid houdt verband met aspecten van de slaap, zoals het niet kunnen inslapen.

Tempest (1989) heeft in de United Kingdom een landelijk onderzoek gedaan naar klachten bij lokale autoriteiten over laagfrequent geluid. Naar schatting waren er in 1989 in de United Kingdom ruim 500 klachten over laagfrequent geluid. Klachten werden veroorzaakt door industrie (35%), muziek (13%), wegverkeer (11%), handelslocaties (9%), gieterijen (6%), elektrische installaties (5%), explosies (4%), bouw (4%), mijnen (3%), railverkeer (2%), vliegverkeer (2%) en overige bronnen (6%).

In veel situaties waarin men klaagt over laagfrequent geluid is het binnen gemeten A-gewogen geluidniveau over het gehele frequentiegebied niet meer dan 25 tot 30 dB(A). Vaak zijn in het terstband- of lijnspectrum pieken zichtbaar in het laagfrequente gebied die duiden op tonen. Volgens Piorr en Wietlake (1990) komen er bij laagfrequent geluid in een woonruimte waarover wordt geklaagd, altijd een of meer laagfrequente tonen voor. 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, 1998).

3.3 NSG richtlijn laagfrequent geluid

In april 1999 is de NSG richtlijn laagfrequent geluid verschenen. De richtlijn is ontstaan als gevolg van de wens om doeltreffender om te kunnen gaan met klachten over laagfrequent geluid. De richtlijn is in de eerste plaats bedoeld om klachtenbehandelaars, met name akoestisch onderzoekers, een handvat te geven om

een klacht te objectiveren. Daarbij is gekozen voor een criterium (referentie gehoordrempel) waaraan het resultaat van geluidmetingen kan worden getoetst. De richtlijn bestaat uit drie delen: beoordeling, uitvoering en informatie. Als referentie gehoordrempel is gekozen voor de gehoordrempel die wordt overschreden door de gehoordrempels van 90% van een groep otologisch niet-geselecteerde personen in de leeftijd van 50 tot 60 jaar.

Na het verschijnen van de richtlijn is een evaluatie onderzoek over het gebruik van de richtlijn gestart. In het onderzoek is aan instanties waaronder gemeenten in Nederland het verzoek gericht om aan te geven of er klachten over laagfrequent geluid ontvangen waren en of bij de behandeling van de klachten de richtlijn een rol heeft gespeeld. De zeer voorlopige conclusies zijn:

1. De indruk bestaat dat de omvang van de problematiek in aantallen gering is;
2. De behandeling van klachten over laagfrequent geluid vindt primair plaats via de gemeentelijke overheid;
3. Veel gemeenten hebben geen enkele klacht ontvangen over laagfrequent geluid;
4. Bij de gemeenten met klachten beperkt het zich vaak tot een enkel geval;
5. De richtlijn speelt vooralsnog een marginale rol bij de behandeling van klachten over (vermeend) laagfrequent geluid;
6. In ongeveer de helft van de gevallen waar metingen zijn uitgevoerd vindt overschrijding van de referentiecurve van de richtlijn plaats.

4 Laagfrequent geluid en stress

Stress kan naar de oorzaak worden ingedeeld in drie categorieën: stress tengevolge van gebeurtenissen op wereldschaal (rampen / oorlog), stress ten gevolge van ingrijpende persoonlijke gebeurtenissen (overlijden / scheiding) en stress als gevolg van 'achtergrondstressoren' (Lazarus en Cohen, 1977).

Laagfrequent geluid is een typisch voorbeeld van een achtergrondstressor (Benton en Leventhall, 1994). Achtergrondstressoren verschillen van andere stressoren in die zin dat de betrokkene zich van de stress in het begin niet volledig bewust is en de stressor vrijwel ongemerkt een integraal onderdeel van de omgeving van de betrokkene wordt. Personen die aan achtergrondstressoren worden blootgesteld zijn over het algemeen niet in staat aan te geven wanneer specifieke stress symptomen zijn begonnen op te treden, noch kunnen zij de oorzaak van de symptomen onderkennen. Aangezien achtergrondstressoren over het algemeen niet onmiddellijk een volledige instorting tot gevolg hebben, gaat men in het begin gewoon met het dagelijks leven door. Daarom bouwt het gevolg van de stressor zich op, waarbij een langzame vermindering van taakuitvoering en kwaliteit van leven begint op te treden. Het gebrek aan controle over een achtergrond stressor staat centraal bij de gevolgen van zo'n stressor (Passchier-Vermeer, 1993; Gezondheidsraad 1994).

Onbegrip van de omgeving, die vaak het laagfrequent geluid niet of nauwelijks waarneemt, voor de betrokkene die hinder van laagfrequent geluid ervaart, zorgt vaak voor een onzekerheid, die vaak tot gevolg heeft dat de betrokkene steeds sterker geobsedeerd raakt door het laagfrequente geluid, en steeds slechter gaat functioneren.

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 gedragsreacties zijn agressie, vermijdingsgedrag en overmatig gebruik van voedsel of genotsmiddelen. Somatische effecten zijn effecten als veranderingen in de bloedsomloop (hoge bloeddruk) en ademhaling, hoofdpijn, duizeligheid, zweten, en slapeloosheid. Vasudevan en Leventhall (1982) voerden een epidemiologisch onderzoek uit bij 40 klagers over laagfrequent geluid in hun woning. Tijdens interviews bleek bij velen dat het geluid hun zo bezighield dat ze ternauwernood aan iets anders konden denken, met concentratieverlies, gezondheidsklachten zoals hoofdpijn, depressieve gevoelens en slapeloosheid tot gevolg. Volgens de deelnemers veroorzaakte niet zozeer de sterkte van het geluid de overlast, maar het bonken of dieselen van het geluid. Bij metingen bleek dat in alle gevallen laagfrequente tonen in het spectrum aanwezig waren in de woningen van de klagers.

Nagai et al. (1989) hebben vragenlijstonderzoek gecombineerd met metingen van laagfrequent geluid. Een 'superhighway' aangelegd over een grote brug veroorzaakte een geluidsspectrum waarvan het laagfrequente deel een toon bevatte met een frequentie van 6 Hz, waarbij het mediane geluidsdrukniveau in de frequentie range van 1 tot 50 Hz in de woonwijk, dichtbij de brug gemeten, overdag 85 dB was en 's nachts 73 dB. In deze woonwijk ondervond 70% van de gezinnen hinder van het schudden van de ramen en 66% van het rammelen van de ramen. Op minder dan 20 meter van de superhighway lag het percentage gehinderden door rammelen tussen 80 en 90%. De gezondheidsvragenlijst met 21 gezondheidsaspecten is ook ingevuld in een referentiepopulatie uit een andere stad, met eveneens veel

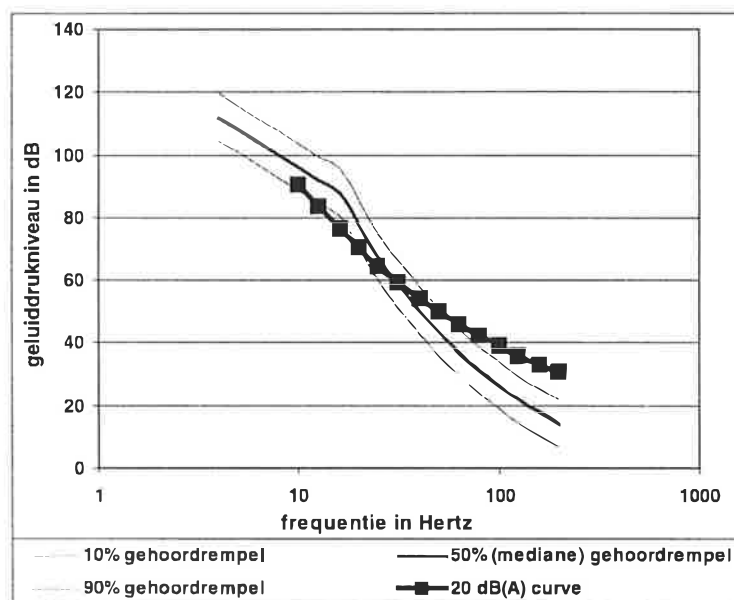
verkeersgeluid, maar zonder laagfrequente componenten in het spectrum. Bij 11 gezondheidsaspecten bleek het percentage mensen met klachten over een aspect in de onderzoekspopulatie tenminste 10% hoger te liggen dan in de referentiepopulatie. Het betreft onder meer hoofdpijn, een zwaar gevoel in het hoofd, vermoeidheid, oorsuizen, moeilijkheden met ademen, druk op de oren. Het opmerkelijkste verschil tussen onderzoeks- en referentiepopulatie bestond echter uit de mate waarin slaapproblemen optraden. In de belaste groep had 48% van de personen slaapproblemen en in de referentiegroep 11%. Nadere analyse toonde aan dat met name het rammelen van de ramen de oorzaak van de slaapverstoring was. Er is waarschijnlijk een hoge correlatie tussen het geluidniveau bij hogere frequenties en het laagfrequente geluidniveau. De vermindering in gezondheid kan dus niet alleen aan laagfrequent geluid toegeschreven worden. De auteurs zijn van mening dat het rammelen van de ramen en daardoor veroorzaakte slaapverstoring wel uitsluitend een effect van laagfrequent geluid is.

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

5 Wet- en regelgeving laagfrequent geluid

Er is in Nederland geen specifieke op laagfrequent geluid gerichte wet- en regelgeving. Door de A-weging van de frequenties in het geluidsspectrum van geluidsbronnen zoals weg- rail- en vliegverkeer en doordat in het kader van wet- en regelgeving beoordeling plaatsvindt van buitenniveaus, is deze beoordeling niet geschikt voor laagfrequent geluid. Afhankelijk van het type geluidbron (wegverkeer lokaal, wegverkeer autowegen, industriegebruik, vliegverkeer) zijn er in de Nederlandse regelgeving ter zake diverse (buiten aan de gevel bepaalde) maximaal toelaatbare geluidniveaus gegeven, mede afhankelijk van de situatie: nieuwe situatie, bestaande situatie, saneringssituatie, voorkeurs/planningssituatie. De maximaal toelaatbare geluidniveaus binnen in de woning mogen de 35 dB(A) niet overschrijden voor diverse geluidsbronnen. Dit betreft een etmaalwaarde. Aangezien bij laagfrequent geluid veelal sprake is van geluid dat één of meer tonen bevat en over overlast gedurende de slaapperiode, mogen correcties voor tonen (correctiefactor 5 dB(A)) en voor de nachtperiode (correctiefactor 10 dB(A)) in rekening worden gebracht. Daaruit volgt dat de grenswaarde voor binnen gemeten geluidniveaus (equivalente geluidniveaus bepaald over een periode van 8 uur) ligt op 20 dB(A). In figuur 2 is de curve gegeven met geluidsdrukkniveaus in tertsbanden die per tertsband 20 dB(A) oplevert. Deze curve is vergeleken met de mediane, 10% en 90% gehoordrempel voor otologisch geselecteerde jongeren (zie figuur 1). De mediaan en de tertsband 20 dB(A) curve snijden elkaar in het gebied rond 31,5 Hz. Dat betekent dat meer dan 50% van de jongeren een toon of smal ruisbandje van 20 dB(A) met (midden)frequentie hoger dan 31,5 Hz zullen waarnemen. Bij de laagste frequenties is de kans op waarneming van een toon of ruisbandje van 20 dB(A) minder waarschijnlijk.

Figuur 2 De verdeling van gehoordrempels van otologisch geselecteerde jongeren als functie van de frequentie en een curve die het geluidsdrukkniveau van een tertsband geeft met een geluidniveau van 20 dB(A).



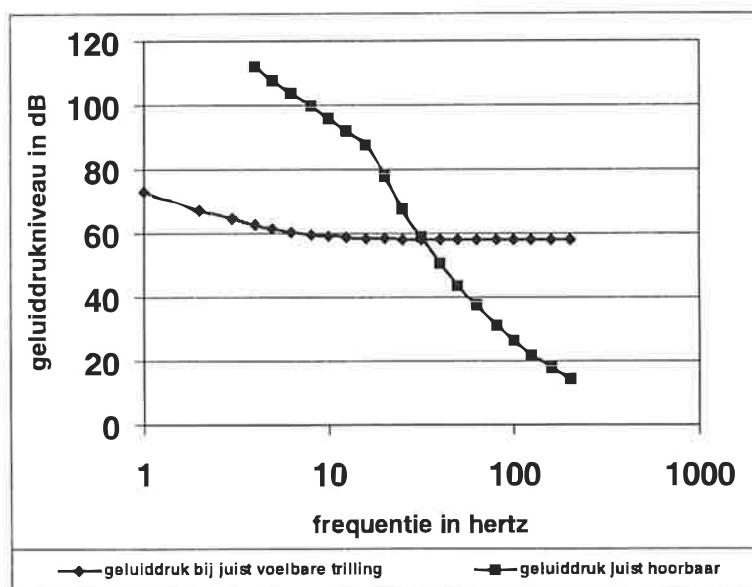
6 Waarneming laagfrequent geluid of trillingen

Ondergrondse activiteit kan (delen) van een woning in trilling brengen. In het kader van bijeenkomsten over het opstellen van de NSG richtlijn laagfrequent geluid is door FG van den Berg een bijlage geproduceerd, die nagaat of en onder welke omstandigheden een trillende vloer laagfrequent geluid veroorzaakt dat beter waarneembaar is dan de trillingen zelf. Hij doet daarbij een aantal aannames, waarvan moet worden vastgesteld of ze reëel zijn. De aannames zijn: nagalmtijd $T = 1$ s, afstralcoëfficiënt = 0,1, kamerhoogte 2,5 m. Het geluiddrukkniveau van het geluid dat wordt voortgebracht door een trillende vloer die trilt met een frequentie f Hz en waarvan de trilling juist gevoeld wordt is:

$$L = 58 + 10 \cdot \lg((5,6/f)^2 + 1) \quad \text{dB}$$

Figuur 3 geeft als functie van de frequentie zowel de mediane gehoordrempel van otologisch geselecteerde jongeren als de curve met het geluiddrukkniveau van het geluid dat wordt afgestraald door een trillende vloer waarvan de trilling juist voelbaar is. Het snijpunt ligt bij de middenfrequentie van de tertsband rond 31,5 Hz. Dat betekent dat meer dan 50% van de jongeren afgestraald geluid hoort met frequenties hoger dan 31,5 Hz terwijl de trillingen niet gevoeld worden. Bij de laagste frequenties is de kans op waarneming van trillingen (veel) groter dan die voor het waarnemen van het afgestraalde geluid.

Figuur 3. Geluiddrukkniveaus als functie van de frequentie (in Hertz) van in een kamer afgestraald geluid bij juist voelbare trillingen van een vloer en de mediane gehoordrempel van een otologisch geselecteerde groep jongeren.



7 Referenties

- ANDRESEN J, MØLLER H. Equal annoyance contours for infrasonic frequencies. *J Low Frequency Noise & Vibration* 1984;3:1-9
- ANSI. ANSI S12.9-1996-part 4. Quantities and procedures for description and measurement of environmental sound. Draft, 1996.
- BENTON S, LEVENTHALL HG. The role of 'background stressors' in the formation of annoyance and stress responses. *J Low Frequency Noise & Vibration* 1994;13:95-101.
- BENTON S. Measurement challenges in assessing the annoying characteristics of noise: is low frequency noise a special case? *J Low Frequency Noise & Vibration* 1997; 16(1):13-24.
- BERG VAN DEN GP, NEDERHOED RR, ALTENA PWG. 'STIL GELUID' laagfrequent geluid in woningen. RU Groningen, Natuurkundewinkel. Groningen, 1998.
- DAWSON H. Practical aspects of the low frequency noise problem. *J Low Frequency Noise & Vibration* 1982;1:28-44.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft. Berlin: DIN, 1997. DIN 45680:1997-03.
- Gezondheidsraad. Commissie Geluid en gezondheid. Geluid en gezondheid. Gezondheidsraad, 1994. Rapport 1994/15.
- Gezondheidsraad. Commissie Stress en gezondheid. Stress en gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad, 1992. Rapport A92/02.
- GIELKENS SIJSTERMANS C, COLIJN TH, JONGMANS LIEDEKERKEN AW. Gevoeligheid voor laagfrequent geluid. Een studie naar mogelijke factoren. Heerlen: juli 1998; GGD Oostelijk Zuid-Limburg
- HERINGA PH, VERCAMMEN MLS. Laagfrequent geluid; een literatuurstudie. Den Haag: Ministerie van VROM, 1988. Rapport GF-HR-01-04.
- INABA R, OKADA A. 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.
- 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/CD 1996 Acoustics - Description, assessment and measurement of environmental noise - Part 1: basic quantities and assessment procedures. Copenhagen: ISO/TC43, 2000.
- INUKA Y, TAYA H, MIYANO H ET ALL. A multidimensional evaluation method for the psychological effects of pure tones at low and infrasonic frequencies. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1986;5:104-12.
- JONG DE RG, STEENBEKKERS JHM, VOS H. Hinder en andere zelfgerapporteerde effecten van milieuverontreiniging in Nederland. Inventarisatie verstoringen 1998. Leiden, TNO-PG, 2000. Rapport PG/VGZ/2000.012.
- LAZARUS RS, COHEN F. Environmental stress. In I. Attman en JF Wohlwill (eds), Human behaviour and the environment: Current theory and research, vol 2. New York, Plenum.
- MIROWSKA M. Results of measurements and limits proposal for low frequency noise in the living environment. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1995;14:135-141.
- MØLLER H. Annoyance of audible infrasound. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1987;6:1-17

- NAGAI N, MATSUMOTO K, JAMASUMI Y ET ALL. Process and emergence on the effects of infrasonic and low frequency noise on inhabitants. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1989;8:87-99
- NSG (Nederlandse Stichting Geluidhinder) NSG-Richtlijn laagfrequent geluid. Delft: NSG, 1999.
- OSGUTHORPE JD, MILLS JH. Nonauditory effects of low-frequency noise exposure in humans. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1982;90:367-70.
- PASSCHIER-VERMEER W. Beoordeling laagfrequent geluid in woningen. Leiden: TNO Preventie en Gezondheid, 1998. Rapport 98.028.
- PASSCHIER-VERMEER W. Geluid en gezondheid. Achtergrondstudie. Den Haag: Gezondheidsraad, 1993. Rapport A93/02.
- PIORR D, WIETLAKE KH. Assessment of low frequency noise in the vicinity of industrial noise sources. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1990;9:116-9.
- SOSIALSTYRELSEN. Indoor noise and high sound levels. General guidelines. Stockholm: Swedish National Board of Health and Welfare, 1996.
- TEMPEST W. 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.
- TESARZ M, KJELLBERG A, LANDSTROM U, HOLMBERG K. Subjective response patterns related to low frequency noise. *J Low Frequency Noise Vibration and Active Control* 1992;16:145-9.
- TSUNEKAWA S, KAJIKAWA Y, NOHARA M ET ALL. Study on the perceptible level for infrasound. *J Sound and Vibration* 1987;112:15-22.
- VASUDEVAN RN, LEVENTHALL HG. A study of annoyance due to low frequency noise in the home. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1982;3:157-164.
- VASUDEVAN RN, LEVENTHALL HG. Annoyance due to environmental low frequency noise and source location - a case study. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1989;8:30-9.
- VERCAMMEN MLS. Low-frequency noise limits. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1992;11:7-12.
- VERCAMMEN MLS. Setting limits for low frequency noise. *J Low Frequency Noise and Vibration* 1989;8:105-9.
- YAMADA S. Occurrence and control of low frequency noise emitted from an icecream storehouse. *J Low Frequency Noise and Vibratio*