

SC2
m b j (1)

TNO-rapport

GELUIDMATEN VOOR VliegVERKEER

IBISSTAMBOEKNUMMER

10972

NIPG-publikatienummer
93.085

december 1993

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

BIBLIOTHEEK NEDERLANDS INSTITUUT VOOR
PRAEVENTIEVE GEZONDHEIDSZORG TNO

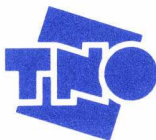
10 JAN 1994

POSTBUS 124, 2300 AC LEIDEN

H.M.E. Miedema

Nederlandse organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek

TNO-Gezondheidsonderzoek stelt zich ten doel bij te dragen
aan de verbetering van preventie en behandeling van ziekten
en afwijkingen door het toepasbaar maken van kennis op
medisch biologisch, psychosociaal en epidemiologisch
gebied ten behoeve van de volksgezondheid en de
gezondheidszorg.



Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO,
zoals gedeponneerd bij de Arrondissementsrechtbank
en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

H.M.E. Miedema

Geluidmaten voor vliegverkeer/H.M.E. Miedema. - Leiden :
Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg
TNO
NIPG-publikatienummer 93.085. - Met lit. opg.
ISBN 90-6743-296-2
Trefw.: geluidshinder ; luchtverkeer.

HOOFDSTADSE BIBLIOTHEEK
PREVENTIEVE GEZONDHEIDZORG TNO
JAN 1984
POSTBUS 134, 2300 AC LEIDEN

Deze uitgave is te bestellen door het overmaken van f 27,85 (incl. BTW) op postbankrekeningnr. 99.889 ten name van het NIPG-TNO te Leiden onder vermelding van bestelnummer 93.085.

INHOUD	pagina
1. INLEIDING	1
1.1 Doelstelling	1
1.2 Indeling van het rapport	4
DEEL I: HINDER	7
2. EEN MODEL VOOR DE INVLOED VAN GELUID OP HINDER	9
2.1 Dosis-respons relaties	9
2.2 Een model	11
3. LUIDHEID: HET FREQUENTIEPATROON	18
3.1 A, B, C en D-weging	19
3.2 Zwicker	19
3.3 Stevens	20
3.4 Toetsing	21
3.5 Integratietijd	22
4. LUIDHEID: HET TIJDPATROON	24
4.1 Gebeurtenis	24
4.2 Dagdeel	25
4.3 24 uur	26
4.4 Week, seizoen, jaar	28
5. ANDERE ASPECTEN DAN LUIDHEID: HET FREQUENTIEPATROON	30
5.1 'Noisiness'	30
5.2 Tonaliteit, hoog en laag geluid, scherpte	31

	pagina
6. ANDERE ASPECTEN DAN LUIDHEID: HET TIJDPATROON	34
6.1 Luidheidtoenamen	34
6.2 Ruwheid	36
7. HET RUIMTELIJK PATROON	37
7.1 Verschil tussen meest en minst belaste gevel	37
7.2 Verschil tussen binnen en buiten	37
8. DE BEOORDELING VAN HINDER DOOR OMGEVINGSGELUID	39
9. CONCLUSIES MET BETREKKING TOT GELUIDMATEN EN HINDER	42
DEEL II: SLAAPVERSTORING	47
10. ONTWAAKREACTIES DOOR GELUID: DE METHODE VAN GRIEFAHN	49
10.1 Griefahn's 10% ontwaakcurve	49
10.2 De onderzoeksgegevens	50
10.3 De afleidingsprocedure	51
11. VERGELIJKING VAN DE METHODE VAN GRIEFAHN MET L_{ctm} EN B	54
12. ZELF-GERAPPORTEERDE SLAAPKWALITEIT	58
12.1 Gegevens en methode van analyse	58
12.2 Resultaten	60
12.3 Enkele opmerkingen	62
13. CONCLUSIES MET BETREKKING TOT GELUIDMATEN EN SLAAPVERSTORING	69

	pagina
14. CONCLUSIES	72
LITERATUUR	75
BIJLAGEN	79

1. INLEIDING

In deze inleiding wordt eerst de doelstelling van deze studie geformuleerd en toegelicht. Daarna wordt de opzet van dit rapport beschreven.

1.1 Doelstelling

Het doel van deze studie is aan te geven welke geluidmaten gebruikt kunnen worden bij het vaststellen van grenswaarden voor omgevingsgeluid in de woonomgeving, in het bijzonder voor het geluid van de grote burgerluchtvaart. Er zal in dit rapport speciale aandacht gegeven worden aan de volgende maten. Voor de exacte definitie van de in dit rapport genoemde geluidmaten verwijzen we naar de bijlage.

- Het $L_{Aeq}(24h)$, gedefinieerd als 10 maal de logaritme van een gemiddelde over 24 uur.
- Het L_{dn} , waarin in vergelijking met het $L_{Aeq}(24h)$ de bijdrage van de nacht zwaarder gewogen wordt.
- De BKL, die in Nederland voor de kleine burgerluchtvaart gebruikt wordt en verwant is aan het L_{dn} , maar die via specifieke regels bepaald wordt voor een jaarperiode.
- Het L_{etm} , waarin net als in het L_{dn} een straffactor voor de nacht en daarnaast ook voor de avond is opgenomen. In afwijking van het L_{dn} wordt voor het L_{etm} het maximum genomen van de bijdragen uit de verschillende etmaalperiodes. Het L_{etm} wordt in Nederland gebruikt voor de beoordeling van de het geluid van wegverkeer, railverkeer en van industrie.
- B in Ke, die in tegenstelling tot de bovengenoemde maten uitgaat van een maximum tijdens een gebeurtenis. De andere maten gaan uit van een som van de maximale en niet-maximale waarden tijdens een gebeurtenis. B wordt in Nederland gebruikt voor vliegverkeer met uitzondering van de kleine burgerluchtvaart.

Bovenstaande maten zijn voorgesteld als indicator voor de mate waarin geluid hinder veroorzaakt. Daarnaast wordt hier ook Griefahn's 10% ontwaakcurve besproken, welke is voorgesteld specifiek voor de beoordeling van de invloed van geluid op de slaap.

Het $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , L_{etm} hebben betrekking op de geluidexpositie gedurende een etmaal, Griefahn's 10% ontwaakcurve op de geluidexpositie gedurende één nacht. De voor de regelgeving gehanteerde definities van B en BKL daarentegen hebben betrekking op een jaar. Maar deze maten zijn te bepalen via een tussenstap waarbij de waarden per etmaal worden vastgesteld. Tenzij anders wordt aangegeven bedoelen we hier met B en BKL de bij deze tussenstap bepaalde waarden voor het etmaal.

De bruikbaarheid van geluidmaten hangt in de eerste plaats af van hun relatie met negatieve effecten. Sterkere negatieve effecten van geluid moeten samengaan met een hogere waarde van de geluidmaat. In deze studie wordt de relatie van geluidmaten onderzocht met de niet-specifieke hinder (deel I) en met vermindering van de slaapkwaliteit (deel II).

Naast de relatie met negatieve effecten is de onderlinge afstemming tussen de gebruikte geluidmaten van belang. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om de vraag hoe het gebruik van verschillende maten voor dezelfde situatie gecombineerd moet worden.

Momenteel worden in Nederland in relatie tot vliegverkeer vier geluidmaten gebruikt. Voor de grote burgerluchtvaart en rond militaire vliegvelden wordt voor stijgende en landende vliegtuigen de maat B, uitgedrukt in Ke, gebruikt. Rond de luchthaven Maastricht is in verband met slaapverstoring door nachtvluchten de 10% ontwaakcurve van Griefahn berekend, naast de maat B. Voor de kleine burgerluchtvaart is de maat BKL in gebruik. Het geluid van proefdraaien wordt behandeld als industrie-geluid en beoordeeld met het L_{em} . Ter onderscheiding van het grondgeluid zullen we in het vervolg geluid van stijgende en dalende vliegtuigen en ook van rondvliegende vliegtuigen (circuitvliegen, vliegtuigen in een parkeerbaan) geluid van overvluchten noemen.

In principe zou een reductie van het aantal maten de formulering en uitvoering van beleid vereenvoudigen. Dit geldt in het bijzonder ten aanzien van beleid met betrekking tot situaties waarin meerdere bronnen voorkomen waarvoor nu verschillende geluidmaten gehanteerd worden. Bij het overstappen op een andere geluidmaat moeten geluidcontouren in termen van de nieuwe maat worden vastgesteld en hiermee kunnen vergaande praktisch consequenties samenhangen. Daarom is het belangrijk een eventuele aanpassing zorgvuldig te onderbouwen, voor te bereiden en te plannen. In deze studie wordt nagegaan of een keuze voor één bepaalde geluidmaat onderbouwd kan worden.

Een aanvullende motivatie voor het beschouwen van alternatieven is dat geen van de vier genoemde maten elders in de EG of daarbuiten wordt gebruikt. In andere landen worden nog andere maten gebruikt. Een grotere overeenkomst in de gebruikte maten zou een vergelijking van Nederlandse grenswaarden met die uit andere landen in of buiten de EG beter mogelijk maken. Het lijkt zinvol om een Nederlandse discussie over geluidmaten in samenhang te voeren met discussies daarover binnen de EG. Voor vliegverkeergeluid is binnen de EG reeds enige tijd een dergelijke discussie aan de gang, gesteund door inventarisaties van gebruikte meetmethoden, maten en daaraan verbonden consequenties (zie bijvoorbeeld: ECAC/ANCAT/3, 1975; Koppert, 1991; Jonkhart, 1992; Koppert, 1993).

Van de drie maten voor het geluid van overvluchten (B, BKL en Griefahn) is B het eerst geformuleerd, als maat voor het geluid van burger en militaire luchtvaart. Later werd verondersteld dat B voor

specifieke gevallen een onvoldoende relatie zou hebben met negatieve effecten. Daarom zijn ook andere maten ingevoerd. Hiermee is op het beperkte gebied van de beoordeling van het geluid van overvluchten een afstemmingsprobleem ontstaan. Bijvoorbeeld, overvluchten van grote en kleine vliegtuigen nabij hetzelfde vliegveld worden afzonderlijk, volgens twee verschillende systemen beoordeeld. In geen van beide beoordelingssystemen wordt er rekening mee gehouden dat op eenzelfde plek ook het andere type vliegtuigen geluidhinder kan veroorzaken. We geven hieronder een kort overzicht van beperkingen die gesuggereerd zijn ten aanzien van de maat B en die aanleiding zijn geweest voor de vraag of niet voor bepaalde gevallen andere maten nodig zijn.

Omdat wordt uitgegaan van de piekniveaus, wordt de waarde van B niet beïnvloed door de duur van een overvlucht. Voor de grote burgerluchtvaart ligt de duur van een overvlucht, mede afhankelijk van de definitie die hiervoor wordt gehanteerd, meestal onder de 30 s. Bij kleine vliegtuigen komen ook vaak langdurige overvluchten voor tijdens circuitvliegen. Maar ook bij lesvluchten met grote toestellen kunnen passages van aanzienlijke duur voorkomen. Het ligt voor de hand dat bij een grote variatie in de duur van de overvluchten er rekening mee gehouden moet worden dat deze factor de hinder mede beïnvloedt.

Voor de kleine burgerluchtvaart is de BKL ingevoerd. De waarde van de BKL wordt niet alleen door het piekniveau, maar door het geluidniveau gedurende de gehele passage beïnvloed, zodat de duur van de passage mede bepalend is. Met de invoering van de BKL is de vraag ontstaan hoe in situaties met kleine en grote vliegtuigen het gebruik van beide maten gecombineerd moet worden. De huidige voorschriften daaromtrent houden geen rekening met de cumulerende werking van blootstelling aan kleine en grote burgerluchtvaart maar gaan ook voor dergelijke situaties uit van de maatregelen die voor elk van de individuele bronnen van toepassing zouden zijn. De meest vergaande hiervan moeten worden uitgevoerd. Deze werkwijze houdt er geen rekening mee dat, door de aanwezigheid van een tweede bron, deze op één bron afgestemde maatregelen ontoereikend kunnen zijn.

Een ander belangrijk punt, waarop de BKL afwijkt van B, is de wijze waarop de blootstellingen gedurende de dagen van een jaar gecombineerd worden. De BKL wordt relatief sterk bepaald door de drukste dagen in de drukste weken van het jaar. Dit zijn voor de kleine burgerluchtvaart, omdat sportvliegen daar een belangrijk element van is, doorgaans de weekeinden in de zomer. Omdat men op dergelijke dagen de ramen meer of verder open heeft en meer buiten verblijft, werd verwacht dat men dan bij eenzelfde geluidemissie, vastgesteld aan de gevel, meer hinder ondervindt dan anders. Maar dat men op mooie dagen de ramen meer of verder open wil zetten en meer buiten wil verblijven geldt natuurlijk rondom alle vliegvelden en ook elders. Daarom zou deze constatering niet alleen consequenties moeten hebben voor de maat waarmee de blootstelling aan geluid van kleine vliegtuigen bepaald wordt, maar voor alle geluidmaten waaronder die voor grote vliegtuigen.

De maat B is gevalideerd aan de hand van gegevens over hinder en verstoringen (o.a. van de slaap) rond Schiphol zoals die waren vastgesteld middels vragenlijsten. Omdat betwijfeld werd of de maat bij grote aantallen nachtvluchten een goede indicatie geeft voor slaapverstoring, in het bijzonder voor de kans op ontwakken, is rond de luchthaven Maastricht de beoordelingsmethode van Griefahn gebruikt. Met de invoering van deze methode neemt de complexiteit van de vraag hoe de verschillende benaderingen (B, BKL en Griefahn) gecombineerd moeten worden verder toe.

Een specifiek geval, dat momenteel de aandacht heeft, is het geluid van helikopters, waarvoor B de maat is die in regelgeving in Nederland gebruikt wordt. Door de groei van het civiele gebruik van helikopters en in verband met de oprichting van een luchtmobiele brigade, neemt de blootstelling aan geluid van helikopters toe. Naar aanleiding daarvan wordt de vraag gesteld welke maat een goede voorspelling geeft voor de hinder door geluid van helikopters. B is ontworpen voor het geluid van vliegtuigen en helikopters wijken hier qua gebruik en geluidkarakteristieken nogal vanaf. Maar het zal tevens duidelijk zijn dat een vijfde maat voor vliegverkeer uit praktische overwegingen zeer ongewenst is.

In het verleden is ook de vraag gesteld of B geschikt is voor de beoordeling van geluid van vliegtuigen, in het bijzonder straaljagers, rond militaire bases. Hierover heeft De Jong (1983a) gesteld dat dit inderdaad zo is en dat er dus voor dit type vliegverkeer geen andere maat nodig is. Wel wordt door De Jong en Groeneveld (1983) aangegeven dat de (specifieke) hinder in dergelijke situatie bij een gelijke waarde van B hoger is dan rond een civiel vliegveld.

Ook is erop gewezen dat sinds de validering van B het type vliegtuigen en de mate waarin wordt gevlogen is veranderd. Er wordt nu meer gevlogen met stillere vliegtuigen. Dus de wijze waarop eenzelfde waarde van B tot stand komt is veranderd. Hier is de vraag aan verbonden of B nog wel voldoet in deze gewijzigde situatie.

1.2 Indeling van het rapport

In het eerste deel van het rapport wordt ingegaan op de relatie tussen blootstelling aan en hinder door geluid, in het tweede deel op de relatie tussen blootstelling aan en ontwaakreacties door geluid. Na het tweede deel volgen in hoofdstuk 14 algemene conclusies.

In hoofdstuk 2 worden eerst voor een aantal geluidmaten resultaten gepresenteerd met betrekking tot hun relatie met de hinder. Daarna wordt een model besproken, dat aangeeft hoe stappen te onderscheiden zijn in de bepaling van geluidmaten die een indicatie moeten geven van de hinder.

Sommige bestaande maten zijn te definiëren met stappen die volgens het model toelaatbaar zijn. Andere daarentegen niet en zijn dus niet in overeenstemming met het model.

In hoofdstuk 3 wordt gedetailleerd ingegaan op de eerste 'frequentie'-stap in de bepaling van het $L_{Aeq}(24h)$. Bij de meeste gebruikte geluidmaten wordt in deze eerste stap het momentane frequentiepatroon samengenomen tot het A-gewogen geluidniveau.

In hoofdstuk 4 wordt vervolgens gedetailleerd ingegaan op drie 'tijd'-stappen in de bepaling van geluidmaten. Hiermee worden de momentane waarden, die bij de eerste stap bepaald zijn, over 24 uur samengenomen. Ook wordt de verdere integratie over de tijd, tot een waarde voor een jaar, besproken.

In hoofdstuk 5 komt het ruimtelijk patroon van het geluid in en rond de woning aan de orde. De variatie tussen diverse plekken daar kan van invloed zijn op de hinder.

De hoofdstukken 6 en 7 hebben betrekking op andere determinanten van hinder dan geluidniveaus. In hoofdstuk 6 zijn dit aspecten, zoals tonaliteit, die samenhangen met het frequentiespectrum; in hoofdstuk 7 aspecten, zoals impulsiviteit, die samenhangen met het tijdpatroon van het geluid.

In hoofdstuk 8 wordt op basis van het voorafgaande een beknopte schets gegeven van een procedure voor de beoordeling van omgevingsgeluid. Een belangrijk element in deze procedure is een geluidmaat, waarvan de specificatie gebaseerd is op de hoofdstukken 2 - 4.

In hoofdstuk 9 worden conclusies geformuleerd ten aanzien van geluidmaten voor de beoordeling van de hinder, ondermeer door ze te vergelijken met de specificatie in hoofdstuk 8. Daarbij wordt specifiek ingegaan op de maten $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , BKL, L_{etm} en B.

In hoofdstuk 10 wordt overgestapt van de relatie met hinder als criterium voor een geluidmaat, naar de relatie met slaapverstoring als criterium. Hierbij wordt de bespreking beperkt tot de relatie met de kans op ontwaken. De door Griefahn opgestelde 10% ontwaakcurve wordt beschreven en besproken.

In hoofdstuk 11 wordt de relatie tussen een beoordeling op basis van deze curve en een beoordeling aan de hand van de geluidmaten L_{etm} en B besproken.

In hoofdstuk 12 komt een andere indicator voor aantasting van de slaapkwaliteit aan de orde. In plaats van ontwaken wordt daar gekeken naar de zelf-gerapporteerde slaapkwaliteit.

Tenslotte worden in hoofdstuk 13 conclusies geformuleerd ten aanzien van de beoordeling van verstoring van de slaap door geluid. Er wordt specifiek ingegaan op B en Griefahn's 10% ontwaakcurve.

DEEL I: HINDER

2. EEN MODEL VOOR DE INVLOED VAN GELUID OP HINDER

De geluidblootstelling van een woning kan beschreven worden als een patroon van geluidintensiteiten, op elk tijdstip voor ieder frequentiegebied één. Men kan zich dit 3-dimensionaal voorstellen. Bij elk punt in de tijd een patroon van geluidintensiteiten per frequentie, een frequentiepatroon, en bij een bepaalde tijdspanne hoort een sequentie van zulke frequentiepatronen, tezamen het frequentie-tijd patroon vormend.

Het frequentie-tijd patroon op een plek bij een woning geeft een vrij uitgebreid beeld van de geluidblootstelling daar, maar dit beeld is niet compleet. Het bevat bijvoorbeeld geen informatie over welk geluid van welke bron afkomstig is. Ook kan het patroon op andere plekken in of rond de woning anders zijn. Voorlopig laten we deze aspecten buiten beschouwing. Op het laatste aspect komen we in hoofdstuk 7 terug.

De doelstelling van deze studie is het aangeven van de geluidmaten die gebruikt kunnen worden voor het vaststellen van grenswaarden voor omgevingsgeluid. Een geluidmaat vat een frequentie-tijd patroon voor een bepaalde tijdspanne samen tot één getal. Verschillende geluidmaten doen dit op een verschillende manier.

In paragraaf 1.1 is opgemerkt dat de bruikbaarheid van een geluidmaat in de eerste plaats afhangt van de relatie met negatieve effecten. In dit deel van het rapport gaat het om de hinder als effect. Dus hier is het criterium voor een goede samenvatting van het frequentie-tijd patroon, d.w.z., voor een goede geluidmaat, dat deze een groter getal oplevert voor een situatie die hinderlijker is.

In dit hoofdstuk worden twee complementaire benaderingen geschetst. In de eerste paragraaf worden kwantitatieve gegevens over dosis-hinder relaties bekeken voor enkele relevante, bestaande geluidmaten. We kijken bijvoorbeeld naar de L_{em} -hinder relatie en de B-hinder relatie. Deze gegevens blijken niet voldoende grond te geven om de ene geluidmaat te verkiezen boven de ander. Daarom wordt in de tweede paragraaf meer in detail ingegaan op het samenvatten van het frequentie-tijd patroon, zoals dat bij het bepalen van een geluidmaat gebeurt. Er worden verschillende stappen onderscheiden waarop in de hierna volgende hoofdstukken verder wordt ingegaan.

2.1 Dosis-respons relaties

Schultz (1978) heeft een curve vastgesteld voor de relatie L_{dn} - hinder. Dit was een van de eerste, veel onderzoeken omvattende synthese van dosis - hinder gegevens. Het artikel van Schultz heeft aanleiding gegeven tot een uitgebreide discussie over de beschrijving van de relatie tussen geluidblootstelling en

hinder (Schultz 82; Kryter, 1982, 1983; Fidell e.a., 1991). De discussie ging er onder meer over of voor de verschillende vormen van transport één relatie volstaat of dat er verschillende relaties nodig zijn voor een adequate beschrijving.

Om duidelijkheid te krijgen zijn door Miedema (1992) de originele data van diverse Europese geluidhinderstudies gecompileerd en heranalyseerd. Er waren ongeveer 13.000 beoordelingen van de hinderlijkheid van geluid die gekoppeld konden worden aan een dosiswaarde voor dat geluid. Naast het L_{dn} zijn ook het $L_{Aeq}(24h)$ en het L_{etm} bepaald. Voor de verkeersbronnen (vliegerverkeer, snelwegverkeer, overig wegverkeer en railverkeer) is de relatie van de hinder met elk van de drie blootstellingsmaten weergegeven in de figuren 2.1 en 2.2.

In figuur 2.1 is het percentage dat erge hinder, hinder respectievelijk minstens enige hinder ondervindt weergegeven als functie van de blootstelling.

In figuur 2.2 is de hinderscore uitgezet als functie van de geluidblootstelling. Een score van 0 duidt op geen hinder in de blootgestelde populatie, een score van 100 op extreme hinder bij elk individu in de blootgestelde populatie. De totale correlatie is 0,49 0,50 en 0,50 voor de relatie tussen de hinder en $L_{Aeq}(24h)$, L_{etm} respectievelijk L_{dn} . Dit verschil in correlatie is marginaal en vormt geen basis om één van de drie maten boven de andere te verkiezen. Een verklaring voor de vrijwel gelijke correlaties kan de sterke samenhang zijn tussen de geluidniveaus in de verschillende periodes van de dag. De correlaties voor alleen vliegerverkeer van $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} en L_{etm} met de hinder zijn 0,53 0,54 en 0,53 respectievelijk.

Bij de interpretatie van bovengenoemde correlaties is het van belang in het oog te houden dat ze berekend zijn op individueel niveau: per persoon is de combinatie van belasting en gerapporteerde hinder als uitgangspunt voor de correlatieberekening genomen. Soms worden ook correlaties in de orde van de 0,8, 0,9 gerapporteerd. Deze zijn dan berekend op geaggregeerd niveau: eerst is per geluidbelastingsklasse de geluidbelasting gemiddeld en de hinder gemiddeld en voor de resulterende paar combinaties van gemiddelde belasting en gemiddelde hinder is de correlatie berekend. Deze correlatie zegt dan uiteraard weinig meer over de spreiding in de oorspronkelijke data.

De boven genoemde correlaties horen bij deze figuur 2.2. Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar de genoemde referentie, waar de figuren aan ontleend zijn.

Naast de drie beschouwde maten zijn voor de Nederlandse situatie vooral BKL en B interessant.

Voor de BKL is de relatie met de hinder niet kwantitatief onderzocht. De wijze waarop voor de BKL uit de dagen van het jaar een 'representatieve' dag wordt vastgesteld is zeer specifiek voor die maat, maar de bepaling van de waarde voor een dergelijke 'representatieve' dag vertoont sterke gelijkenis met het L_{dn} . Het belangrijkste verschil is dat voor de BKL drie in plaats van twee periodes van de dag worden onderscheiden. Een dagperiode uit het L_{dn} (7.00 - 22.00) wordt nader onderverdeeld in een dag

(7.00 - 19.00) en een avond (19.00 - 22.00), en voor de avond wordt een straffactor van 5 dB(A) toegepast. Afgezien van de bepaling van de 'representatieve' dag, zou de relatie met het L_{dn} (= day-night level) tot uitdrukking gebracht kunnen worden door de aanduiding L_{den} (= day-evening-night level).

Een vergelijking tussen de correlatie van $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} en L_{etm} met de hinder en die correlatie voor B is moeilijk te maken, omdat er geen studies zijn waarin zowel B als één of meer van die andere maten aan de hinder gerelateerd zijn. Er zijn wel studies waarin de relaties tussen geluidmaten onderling is bekeken, maar die geven geen informatie over de relatie met de hinder (ECAC/ANCAT/3, 1975; NATO/CCMS, 1989; Jonkhart, 1992).

Een goed interpreteerbare vergelijking van de geluidmaten onderling, en in het bijzonder van B of BKL met $L_{Aeq}(24h)$, L_{etm} of L_{dn} op basis van de correlatie met de hinder is dus moeilijk te maken. In het volgende concentreren we ons op een vergelijking van de wijze waarop de verschillende geluidaspecten gekwantificeerd worden, waarvan bekend is dat ze de hinder beïnvloeden. Eerst wordt bestudeerd wat de beste methode lijkt om de verschillende aspecten te kwantificeren, daarna wordt dit vergeleken met de kwantificatie ervan in genoemde maten.

2.2 Een model

We gaan hier uit van een frequentie-tijd patroon voor één bron. Welke geluidmaat een goede samenvatting van dit frequentie-tijd patroon geeft hangt af van de wijze waarop de geluidintensiteiten per frequentie-tijd combinatie, waaruit dit patroon bestaat, de hinder beïnvloeden. Het gaat bijvoorbeeld om de vraag welke afname van intensiteiten voor bepaalde frequentie-tijd combinaties compenseren voor een toename van intensiteiten voor andere frequentie-tijd combinaties, zodanig dat de hinder ongewijzigd blijft. Een dergelijke onderlinge compensatie wordt wel aangeduid als de 'trade-off' tussen bijdragen, in dit geval de bijdragen aan de hinder.

Miedema (1993, in voorbereiding) formuleert een model dat eigenschappen van deze trade-off voor geluidhinder kwalitatief beschrijft. Door de kenmerken exact te formuleren kan worden afgeleid welke geluidmaten in overeenstemming zijn met deze kenmerken. Dit zijn alleen bepaalde maten, namelijk, maten die gedefinieerd kunnen worden als een zogenaamde hiërarchische macht-som.

Een hiërarchische macht-som wordt bepaald door herhaalde toepassing van de volgende regel:

$$y = [\sum_i (b_i x_i)^{p_i}]^{1/a},$$

waarin x_i of een uitgangsgegeven is, dus een geluidintensiteit voor een bepaald frequentie-tijd punt, of een resultaat van een voorgaande combinatie met de regel. De parameters a , a_i en b_i hebben positieve waarden.

De volgende punten kunnen ten aanzien van de combinatieregels opgemerkt worden.

- Als $a_i = a$ en deze naar oneindig (∞) gaan, dan nadert y het maximum van alle $b_i x_i$.
- De parameter a is in feite redundant als niet de bij het eerste punt beschreven limiet gebruikt wordt. Behalve als bij een stap het maximum van de $b_i x_i$ wordt genomen, wordt in het vervolg aangenomen dat $a = 1$.
- Van de getallen die uiteindelijk verkregen worden is vooral de volgorde van belang. De volgorde van de getallen geeft aan wat de volgorde in hinderlijkheid is van de situaties waarvoor ze bepaald zijn. Na de laatste stap kunnen dan ook desgewenst bepaalde strikt monotone transformaties worden uitgevoerd, zoals positieve machtstransformaties of logaritmische transformaties. Omdat deze transformaties niet essentieel zijn (zie Miedema, in voorbereiding), zullen we voor de eenvoud maten die via een dergelijke transformatie uit elkaar te verkrijgen zijn soms hetzelfde noemen.

Een aantal geluidmaten, zoals percentielmaten (b.v. L_{A10} en L_{A90}), de traffic noise index (TNI) en de noise and number index (NNI), zijn niet in overeenstemming met het model: ze zijn niet te schrijven als hiërarchische macht-sommen. Ook een definitie van B of andere geluidmaten, waarin waarden alleen worden meegenomen in de berekening van de maat als zij boven een bepaalde drempel uitkomen, zijn niet in overeenstemming met het model. In het vervolg bedoelen we met B of een andere maat de versie waarin deze gedefinieerd is zonder drempel.

Maten zoals het $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , en BKL, zijn wel in overeenstemming met het model. Bepaalde maten, waarvoor bij één of meer van de stappen een maximum bepaald wordt, zoals het L_{etm} en B, zijn 'limietgevallen'. Ze zijn strikt genomen niet in overeenstemming met het model maar kunnen willekeurig dicht benaderd worden door maten die dit wel zijn.

De verschillende geluidmaten, die in overeenstemming zijn met het model of benaderd kunnen worden door maten die dit zijn, kunnen worden beschreven door de macht-sommen te specificeren, waaruit zij opgebouwd zijn. Voor $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , BKL, L_{etm} zowel als B zijn de geluidintensiteiten per frequentie-tijd combinatie, uitgedrukt in 10^{-12} W/m², de basisgegevens die middels de macht-sommen gecombineerd worden. De stappen, waarmee de basisgegevens en de resultaten van eerdere macht-sommaties worden samengenomen, zijn voor deze maten in grote lijnen gelijk. Er is één 'frequentiestap' en dan volgen drie 'tijd stappen'. Alleen de (parameters van de) macht-sommen die gebruikt worden zijn voor de verschillende maten niet gelijk.

In de frequentie-stap worden, per tijdstip, de intensiteiten voor de verschillende frequenties gecombineerd tot momentane waarden. Dan volgen de drie tijdstappen. Als eerste worden, per gebeurtenis, de momentane waarden gecombineerd tot een waarde per gebeurtenis. Vervolgens worden, per dagdeel, de waarden voor de afzonderlijke gebeurtenissen gecombineerd tot een waarde per dagdeel. Tenslotte worden de waarden voor de afzonderlijke dagdelen gecombineerd tot één waarde voor het geluid gedurende 24 uur. In feite kunnen voor sommige maten verschillende stappen samengenomen worden, maar daar zullen we hier voor de eenvoud verder niet op ingaan.

Het belangrijkste verschil tussen de genoemde geluidmaten zijn de waarden voor de parameters in de macht-som, die bij elk van de stappen wordt vastgesteld. Als deze parameterwaarden gespecificeerd zijn, is daarmee een maat grotendeels gedefinieerd. Wat rest is bijvoorbeeld het precies definiëren van de periodes van de dag.

In de onderstaande overzichten zijn voor $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , BKL, L_{etm} en B voor elke stap de gewichten (b) en de machten (a) gegeven.

 $L_{Aeq}(24h)$

frequentie	tijd binnen gebeurtenis	tijd van gebeurtenis	periode van de dag
A-gewichten; 1	1; 1	1; 1	1; 1

 L_{dn}

frequentie	tijd binnen gebeurtenis	tijd van gebeurtenis	periode van de dag
A-gewichten; 1	1; 1	1; 1	1, 10; 1

BKL

frequentie	tijd binnen gebeurtenis	tijd van gebeurtenis	periode van de dag
A-gewichten; 1	1; 1	1; 1	1, 3.16, 10; 1

 L_{etm}

frequentie	tijd binnen gebeurtenis	tijd van gebeurtenis	periode van de dag
A-gewichten; 1	1; 1	1; 1	1/12, 3.16/4, 10/8; $\rightarrow\infty$

B

frequentie	tijd binnen gebeurtenis	tijd van gebeurtenis	periode van de dag
A-gewichten; 1	1; $\rightarrow\infty$	1; 2/3	4, 1, 2, 3, 4, 6, 10; 1

De eerste kolom correspondeert met de eerste stap, de tweede kolom met de tweede stap, enz. Voor de ';' worden de gewichten gegeven. Als deze alle gelijk zijn wordt volstaan met het geven van één ervan. Na de ';' staan de machten voor die stap, waarbij wederom slechts één genoteerd wordt als alle

gelijk zijn. Met $\rightarrow\infty$ wordt aangeduid dat de maat benaderd wordt door $a = a_i$ zeer groot te nemen. (Zoals eerder afgesproken is in alle andere gevallen $a = 1$). Figuur 2.3 bevat dezelfde informatie als het overzicht. In de figuur wordt door een boomstructuur weergegeven hoe verschillende geluidmaten te verkrijgen zijn door bij de onderscheiden stappen verschillende waarden voor de gewichten en machten te gebruiken.

Ter illustratie worden de combinatieregels voor het L_{ctm} toegelicht. In de eerste stap worden per tijdstip de intensiteiten I_i voor de verschillende terts- of octaafbanden i samengenomen, gebruik makend van de gestandaardiseerde A-gewichten (IEC 225) en een macht 1:

$$I_A = \sum_i A_i I_i.$$

Hierbij kan worden opgemerkt dat het A-gewogen geluidniveau, L_A , gelijk is aan $10\log I_A$. Voor de tweede stap duiden we de I_A waarde per tijdstip t aan met $I_A(t)$. In die stap zijn zowel de gewichten als de machten alle gelijk aan 1, zodat per gebeurtenis de som, I_{AX} , wordt bepaald:

$$I_{AX} = \sum_t I_A(t).$$

Het A-gewogen 'sound exposure level', L_{AX} , is gelijk aan $10\log I_{AX}$. Voor de derde stap duiden we de I_{AX} waarde per gebeurtenis j aan met $I_{AX}(j)$. In de stap zijn weer zowel de gewichten als de machten alle gelijk aan 1, zodat per dagdeel de som, I_{Aeq} wordt bepaald:

$$I_{Aeq} = \sum_j I_{AX}(j).$$

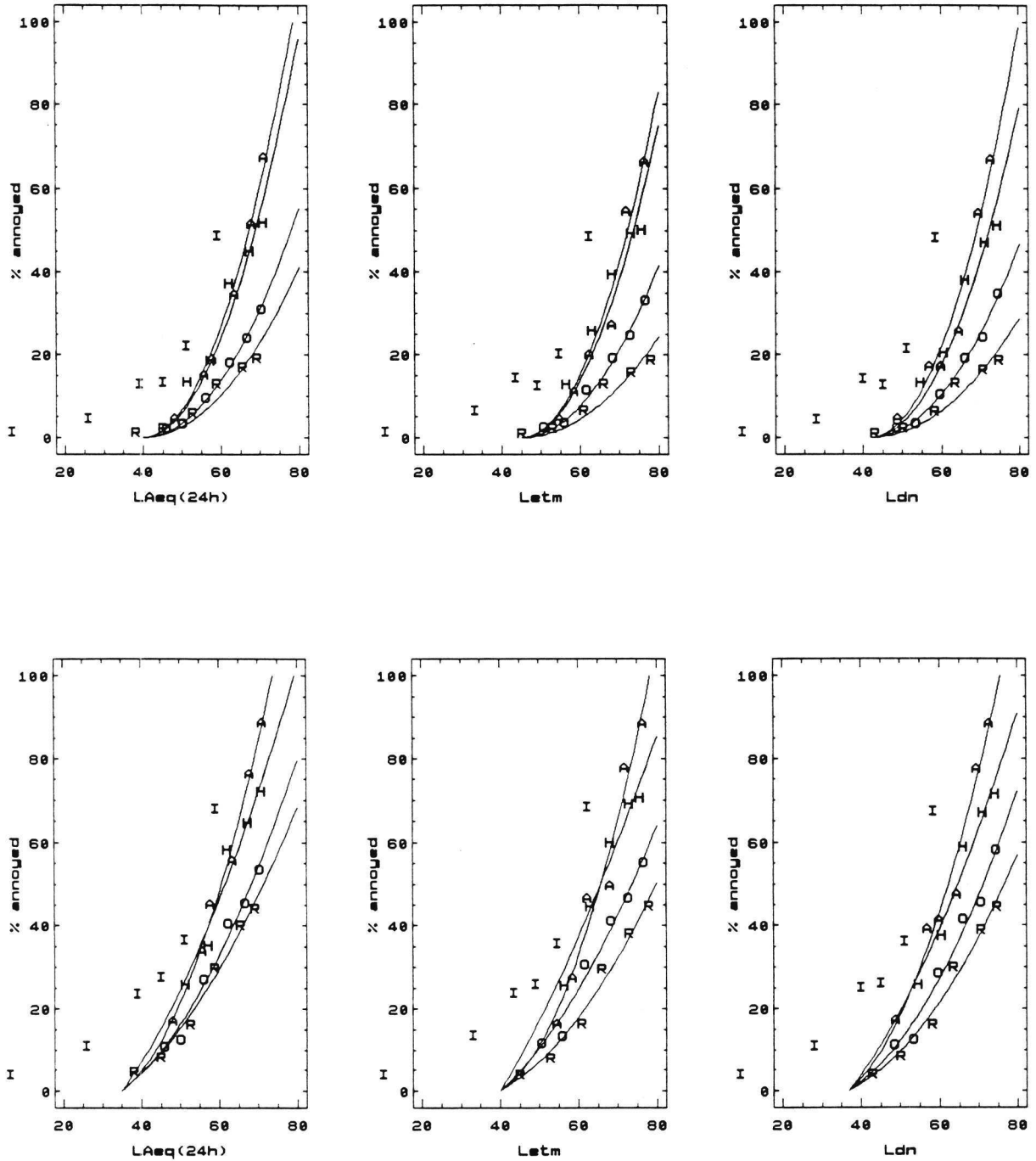
Het A-gewogen equivalente geluidniveau voor een dagdeel, L_{Aeq} , is gelijk aan $10\log I_{Aeq}$. Voor de vierde en laatste stap duiden we de I_{Aeq} waarde voor de drie onderscheiden dagdelen aan met $I_{Aeq}(7-19)$, $I_{Aeq}(19-23)$ respectievelijk $I_{Aeq}(23-7)$. In deze stap zijn weer de gewichten gelijk aan $1/12$, $3.16/4$ en $10/8$. Voor de machten $a = a_i$ worden zeer grote waarden genomen. Het I_{ctm} wordt dus als volgt bepaald:

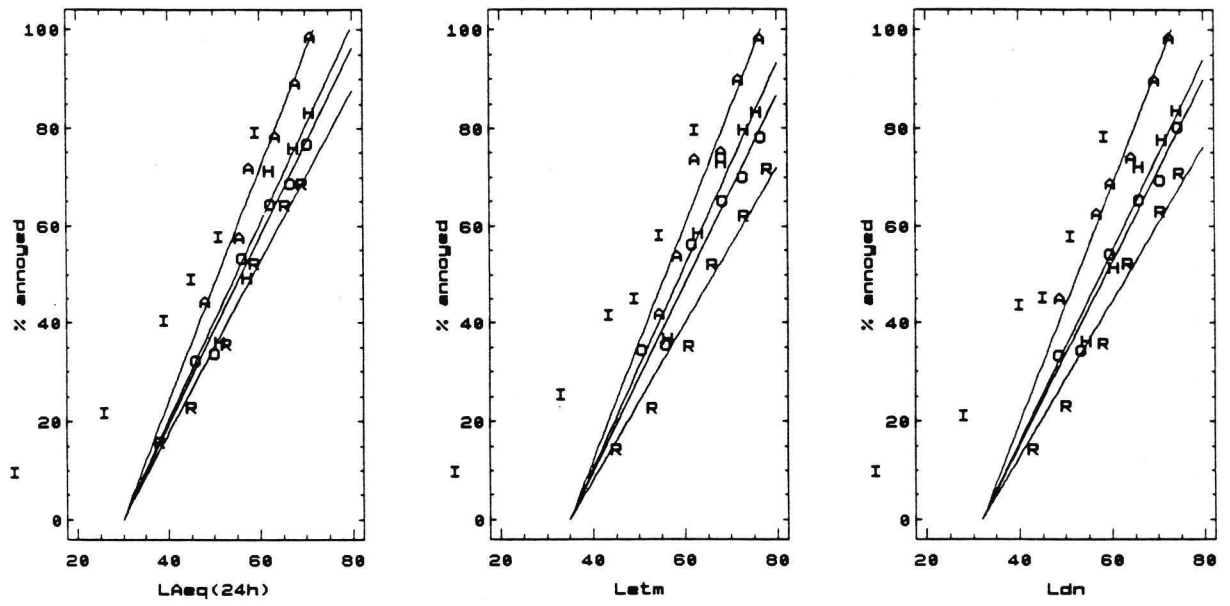
$$I_{ctm} = \lim_{a \rightarrow \infty} \{ [I_{Aeq}(7-19)/12]^a + [3.16I_{Aeq}(19-23)/4]^a + [10I_{Aeq}(23-7)/8]^a \}^{1/a}.$$

De zogenaamde etmaalwaarde, L_{ctm} , is gelijk aan $10\log I_{ctm} - 10\log 3600$.

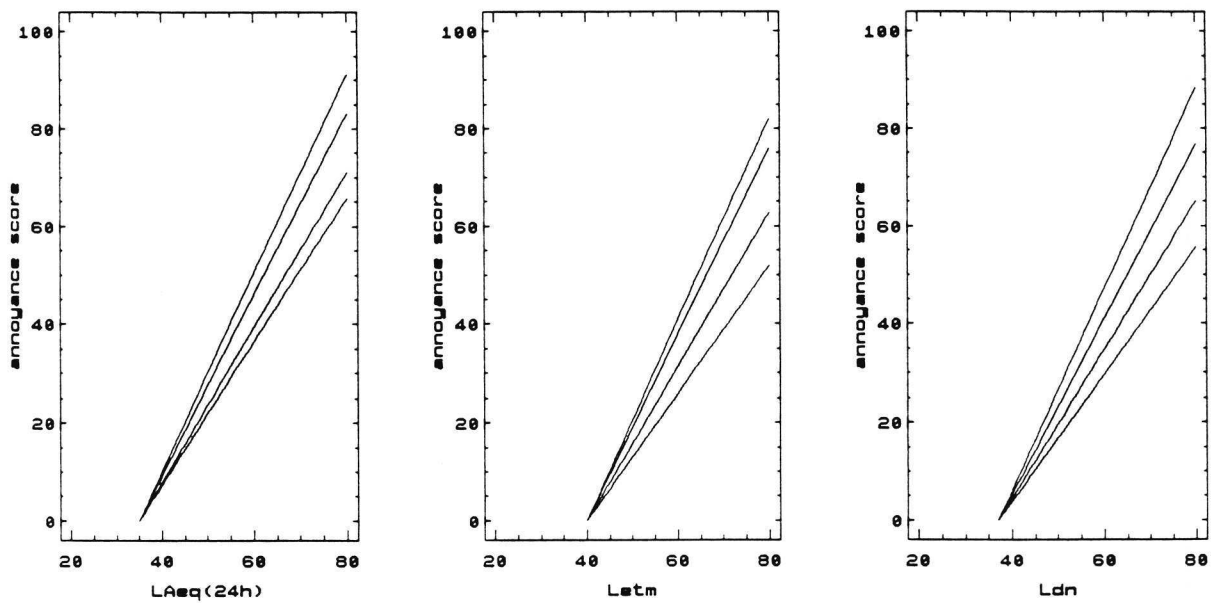
Het model bevat alleen enige algemene kennis. Maar er is meer informatie beschikbaar en deze kan benut worden om de door het model aangegeven alternatieven of 'limieten' daarvan, waartoe de vijf bovenstaande geluidmaten behoren, verder in te perken. In de volgende hoofdstukken zal een overzicht gegeven worden van deze informatie.

Figuur 2.1. Percentage ernstig gehinderden (bovenste rij), gehinderden (onderste rij) en minstens enigszins gehinderden (volgende pagina) als functie van de blootstelling (A = vliegverkeer, H = snelweg verkeer, O = overig wegverkeer, R = railverkeer, I = impuls bronnen).





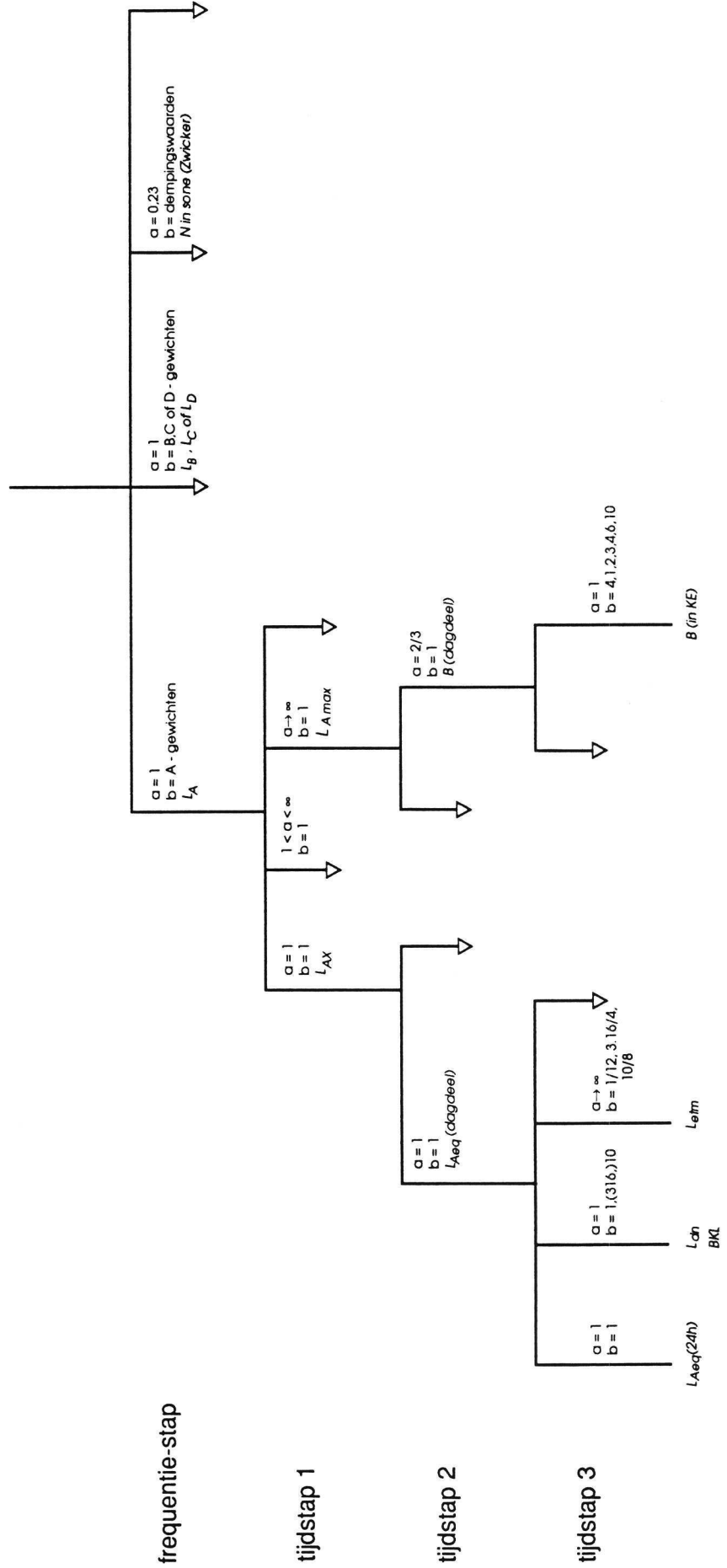
Figuur 2.2. Hinderscore als functie van de blootstelling (de lijnen zijn van boven naar beneden voor vliegverkeer, snelweg verkeer, overig wegverkeer en railverkeer).



Figuur 2.3. Boomstructuur voor de compositie van in Nederland gebruikte geluidmaten. Bij elk van weergegeven stappen wordt dezelfde type combinatieregels gebruikt (zie tekst) met parameters die per stap verschillend kunnen zijn. Deze parameters zijn in de boomstructuur aangegeven. De volgende stappen worden weergegeven. Uitgangspunt is een volledig overzicht van de geluidmaten per frequentieband en per tijdstip.

- Frequentie-stap: per tijdstip worden de waarden voor de afzonderlijke frequenties samengenomen.
- Tijdstap 1: per gebeurtenis worden de waarden voor de afzonderlijke tijdstippen samengenomen.
- Tijdstap 2: per dagdeel worden de waarden voor de afzonderlijke gebeurtenissen samengenomen.
- Tijdstap 3: per etmaal worden de waarden voor de afzonderlijke dagdelen samengenomen.

frequentie - tijd patroon



3. LUIDHEID: HET FREQUENTIEPATROON

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de eerste stap bij de bepaling van geluidmaten als L_{dn} , $L_{Aeq}(24h)$, L_{em} en B. In de eerste stap worden, per tijdstip, de intensiteiten voor de verschillende frequentiebanden samengenomen tot een waarde voor de momentane luidheid. In de genoemde geluidmaten gebeurt dit door de bepaling van het A-gewogen geluidniveau. Maar hiervoor bestaan alternatieven.

Andere maten voor de momentane luidheid zijn bijvoorbeeld het B-, C-, of D-gewogen geluidniveau of de luidheid berekend volgens de procedure van Stevens of van Zwicker. Deze maten worden in dit hoofdstuk besproken. Ze kunnen, net als het A-gewogen geluidniveau, ook worden gebruikt als basis voor de beoordeling van geluidssituaties gedurende 24 uur.

Aan het slot van dit hoofdstuk wordt ingegaan op de zogenaamde integratietijd en het vervalpatroon voor de momentane luidheid. Bij veel meters waarmee A-gewogen geluidmaten worden vastgesteld, kan gekozen worden uit drie gecombineerde opties met betrekking tot integratietijd en vervalpatroon, die worden aangeduid met 'slow', 'fast' en 'impulse'. Zwicker heeft in zijn luidheidsmodel opgenomen hoe integratietijd en vervalpatroon de momentane luidheid beïnvloeden.

De mogelijkheden voor praktische consequenties van wat in dit hoofdstuk wordt besproken lijken in elk geval op kortere termijn beperkt: het momentane A-gewogen geluidniveau is stevig geworteld in de bestaande praktijk en is de basis voor de meeste in Nederland en elders gebruikte geluidmaten. In dit hoofdstuk zullen bepaalde gevallen worden aangegeven waarin met deze benadering de hinder niet optimaal wordt ingeschat. Dit geeft zekere beperkingen aan voor de verbeteringen die bereikt kunnen worden bij een eventuele vervanging van de huidige geluidmaten op basis van het momentane A-gewogen door andere geluidmaten op basis van het A-gewogen niveau.

Een punt, dat ook in dit hoofdstuk aan de orde komt en dat wel onderwerp van discussie is in Nederland, is de integratietijd waarmee de momentane niveaus bepaald moeten worden. De keuze van de integratietijd is van belang voor maten die uitgaan van het maximum A-gewogen niveau per gebeurtenis, in het bijzonder wanneer het gaat om gebeurtenissen met een korte, relatief hoge piek, dus impulsgeluiden en passages met hoge snelheid op korte afstand (laagvliegen). Voor de bepaling van B voor vliegverkeer is gekozen voor meterstand 'slow'. In het algemeen lijkt, zoals we in de laatste paragraaf zullen zien, 'fast' een betere keuze. Maar voor het meeste (weg-, rail-, en vlieg-) verkeer is het effect van de keuze tussen 'fast' of 'slow' op het gevonden maximum A-gewogen niveau zeer beperkt. Dit neemt niet weg dat één keuze voor alle wettelijke geluidbepalingen, gebaseerd op wijze waarop mensen het geluid waarnemen, het meest helder en eenvoudig zou zijn.

3.1 A, B, C en D-weging

Het A-, B-, C- en D-gewogen geluidniveau zijn gedefinieerd als 10 maal de log van een gewogen som van de geluidintensiteiten per frequentieband. De weging bij het bepalen van de som is voor de vier maten verschillend.

Deze maten hebben een relatief lange historie. Reeds in 1929 werd het A-gewogen geluidniveau bepaald in een geluidinventarisatie project in New York. In 1936 werd een tentatieve standaard voor de bepaling van het A-gewogen geluidniveau gepubliceerd in de Journal of the Acoustical Society of America.

De premisse bij het formuleren van deze maat, y , lijkt te zijn geweest dat het (de logaritme van) een gewogen som van de intensiteiten per frequentiegebied, x_i , moest zijn. Dus voor hun optelling wordt elk van de intensiteiten met een gewicht, b_i , vermenigvuldigd. De algemene vorm van deze maten is dus $y = \sum_i b_i x_i$. Uit onderzoek van Fletcher en Munson (1933) was duidelijk dat bij een dergelijke benadering de weging afhankelijk is van het absolute niveau van de intensiteiten in de frequentiebanden. De A-weging is correct voor geluiden die ongeveer even hard klinken als een 1000 Hz toon van 30 dB. De andere wegingen zijn bedoeld voor sterkere geluiden.

3.2 Zwicker

Als men niet alleen vermenigvuldigingen met een gewicht ($b_i x_i$), maar ook macht-sommaties van de intensiteiten per band in beschouwing neemt, dan komt men uit op de combinatieregels $y = \sum_i (b_i x_i)^{a_i}$. Dus voor de intensiteit in een frequentieband wordt de waarde van een machtsfunctie bepaald, waarna de resultaten daarvan worden opgeteld om de totale luidheid te verkrijgen. Zoals in paragraaf 2.2 is aangegeven, is deze wijze van combineren in overeenstemming met het model voor de hinder, waaraan daar gerefereerd wordt.

Met deze algemenere combinatieregels kan een empirisch aspect van de luidheid beschreven worden dat niet in overeenstemming is met het gebruik van de in de vorige paragraaf gebruikte gewogen som. Door de machten a_i kleiner dan 1 te stellen wordt beschreven dat een bepaalde geluidintensiteit een sterkere luidheid veroorzaakt wanneer deze gelijkmatig over de verschillende frequentiebanden verdeeld is, dan wanneer deze geconcentreerd is in één frequentiegebied.

Dit fenomeen wordt op een dergelijke wijze verdisconteerd in Zwicker's model. In Zwicker's procedure worden echter niet de intensiteiten per frequentieband als basisgegevens gebruikt, maar de excitaties van verschillende gedeeltes van het basilair membraan, die corresponderen met de

frequentiebanden. Fletcher en Munson (1933, 1937) en Fletcher (1940, 1953) beschreven de luidheid reeds op een manier die wat de meeste belangrijke kenmerken betreft overeenkomt met het latere model van Zwicker. Globaal beschreven worden eerst de excitatieniveaus per kritische band bepaald, daarna worden deze via transformaties omgezet in specifieke luidheden die vervolgens gesommeerd worden om de totale luidheid te verkrijgen.

De eerste versie is beschreven door Zwicker en Feldtkeller (1955) en later is een beschrijving in het engels gegeven door Zwicker en Scharf (1963). Een complete beschrijving van het model, waarin ook de resultaten van het onderzoek over de tijdsintegratie van luidheid verwerkt zijn (zie paragraaf 3.5), is te vinden in Zwicker (1981). Er is een computerprogramma gepubliceerd om de luidheden uit tertsbandspectra te berekenen (Paulus en Zwicker, 1972; Zwicker, Fastl en Dallmayr, 1984) en er is een geluidmeter ontwikkeld waarmee specifieke en totale luidheden direct gemeten kunnen worden (Zwicker en Fastl, 1983).

3.3 Stevens

Stevens (1955) sluit met zijn model minder aan bij de daaraan voorafgaande ontwikkeling dan Zwicker. Zijn publikatie uit 1955 bevat een addendum, waarin hij ingaat op de verschillen tussen zijn model en het model dat beschreven wordt in het artikel van Zwicker en Feldtkeller (1955). Dat had hij juist na afronding van zijn eigen artikel onder ogen gekregen. In het addendum noemt hij twee belangrijke verschillen, die ook tussen de zes latere, bijgestelde versies van zijn model (Stevens, 1956, 1957, 1961, 1971) en de versies van Zwicker's model zijn blijven bestaan.

Een verschil is het gebruik van octaaf (later ook terts) banden in plaats van kritische banden. Hierover stelt hij dat er waarschijnlijk een betere basis is voor het gebruik van kritische banden, maar dat het nog te bezien is of deze precies vastgesteld kunnen worden. In Stevens (1957) wordt, met verwijzing naar de publikatie van Zwicker, Flottorp en Stevens (1957), geconstateerd dat het inderdaad beter zou zijn uit te gaan van kritische banden, maar wordt het gevestigde gebruik van octaaf- en tertsbanden als doorslaggevend argument genoemd om hier aan vast te houden.

Het belangrijkste verschil met de methode van Zwicker, dat Stevens eveneens noemt in het addendum, is de combinatieregel voor de bijdragen per frequentieband aan de totale luidheid. Zwicker gaat uit van sommatie van transformaties van de excitaties, Stevens van de som van het hoogste bijdrage en een fractie van de verschillen van de overige bijdragen met dat maximum.

3.4 Toetsing

De procedure van Zwicker incorporeert inzichten over kenmerken van de luidheidwaarneming, zoals aangaande de combinatie van bijdragen uit frequentiebanden en het belang daarbij van kritische bandbreedtes, beter dan de procedure van Stevens of het A-gewogen geluidniveau. Alle drie de methodes zijn gestandaardiseerd (ISO 532, IEC 225).

Een belangrijke vraag is of het genoemde verschil er toe leidt dat Zwicker's procedure beter voorspelt welke geluiden als luider worden waargenomen dan andere. In experimenten waarin de *luidheid* beoordeeld werd, geeft de procedure van Zwicker over het algemeen inderdaad wat betere resultaten dan die van Stevens, en beide geven betere resultaten dan het A-gewogen geluidniveau (Scharf en Hellman, 1980: een literatuuroverzicht; Van Wyck, 1981: een round robin test; Zwicker, 1980; Fastl, 1981; Zwicker, 1982a: 142-143; Zwicker, 1982b: Darbietung 5.6; Fastl, Markus en Nitsche, 1985). Grosso modo zijn de verschillen tussen de resultaten met Zwicker's procedure en het A-gewogen niveau echter niet groot. Daar zijn echter uitzonderingen op.

Bestudering van de procedures laat zien voor welke paren van geluiden matching op basis van het A-gewogen niveau het sterkst verschilt van matching op basis van Zwicker's luidheidswaarde. Stel dat geluiden gematched worden met een roze ruis. Dan is het verschil tussen beide methodes groot voor geluid met een sterke concentratie in een smalle frequentieband en voor sterk laag-frequent geluid. Voor deze beide typen geluiden blijkt dat de berekeningsmethode van Zwicker correct aangeeft wanneer ze even luid klinken als de roze ruis. Met het A-gewogen niveau daarentegen wordt het voor gelijke luidheid benodigde niveau van geluid met een sterke concentratie in een smalle band onderschat terwijl dat voor sterk laag-frequent geluid juist wordt overschat. Voor beide typen geluiden worden voorbeelden gegeven.

Fastl (1981) laat bijvoorbeeld zien dat Zwicker's methode vrijwel correct aangeeft wanneer een 1000 Hz toon even luid is als een breedbandige ruis, terwijl gebruik van het A-gewogen niveau leidt tot een onderschatting met 15 dB van het voor die toon benodigde niveau. Zwicker (1986) geeft een voorbeeld uit de praktijk. Het betreft het geluid van bromfietsen. Hij laat zien dat een passage van 87 dB(A), met een duidelijke top in het frequentiespectrum, volgens zijn methode minder luid is dan een passage van 84 dB(A), maar met een vlakker spectrum. De even luide 1000 Hz toon voor de eerste passage is 96 dB(A), die voor de tweede hoger, namelijk 99 dB(A). Dus de eerste passage heeft een 3 dB(A) hoger A-gewogen geluid niveau dan de tweede, maar de gelijk luide 1000 Hz toon is 3dB(A) lager.

Andere voorbeelden uit de praktijk met betrekking tot het geluid van vliegtuigen, van vrachtwagens, van bromfietsen en van het effect van dubbele beglazing worden gegeven door Zwicker (1985) en Zwicker e.a. (1985).

3.5 Integratietijd

Twee temporele aspecten die bij het tot stand komen van een luidheidsindruk een rol spelen zijn de integratie van excitatie over de tijd en de geleidelijke uitdoving van de excitatie, ook als het externe geluid abrupt stopt. Hoe de temporele verwerking verloopt is bijvoorbeeld van belang voor de keuze tussen de op veel geluidmeters beschikbare standen 'slow', 'fast' en 'impulse'. De A-weging kan met elk van deze meterstanden worden gecombineerd. De aan deze standen gekoppelde integratietijden (1000, 125 respectievelijk 35 ms) bepalen voor kort durende geluiden het maximum dat wordt bereikt terwijl er voor constante geluiden geen verschil is. Is bijvoorbeeld de totale impulsduur korter dan 35 ms dan geeft een integratietijd van 35 ms een 5,5 dB(A) hoger maximum dan een integratietijd van 125 ms.

Stevens (1961, 1971) stelt dat het toepassingsgebied van zijn procedure beperkt is tot geluid waarvan de fluctuatie beperkt is ('steady'). Hij gaat niet in op het gebruik van zijn procedure bij sterk fluctuerende geluiden zoals impuls geluiden.

Zwicker (1977) heeft een beschrijving van de temporele verwerking opgenomen in zijn model. Hij wijst er op dat vastgesteld moet worden wat eerder gebeurt: combinatie over de frequentiebanden of integratie over de tijd. Op grond van experimentele gegevens toont Zwicker (1969, 1974) aan dat combinatie over frequentiebanden voorafgaat aan de integratie over de tijd. De geleidelijke uitdoving wordt nog voor de integratie over de tijd, per frequentieband, in rekening gebracht. Hier gaan we verder in op de integratietijd.

Zwicker baseert de integratietijd die in zijn model gebruikt wordt op twee typen experimenten. In het eerste type wordt onderzocht hoe de duur van blokvormige impulsen hun luidheid beïnvloedt. Het blijkt dat tot een bepaalde grens (de integratietijd) de luidheid toeneemt, terwijl daarboven verlenging van de impulsduur geen invloed meer heeft op de luidheid. In het tweede type experiment wordt de invloed op de luidheid onderzocht van een toename van de impulsfrequentie, waarmee bijvoorbeeld een 2 kHz toonimpuls van 5 ms wordt aangeboden. Het blijkt dat pas boven een bepaalde impulsfrequentie (de reciproque van de integratietijd) de luidheid toeneemt met de impulsfrequentie. Zwicker concludeert op grond van beide typen experimenten dat de integratietijd ongeveer 100 ms is.

Smooenburg (1979: 18-21) geeft een overzicht van de literatuur over het eerste type experiment. Hij komt tot de volgende samenvattende uitspraken omtrent de integratietijd t:

'de waarden van t variëren van 10 tot 230 ms en de verhoging van het geluidniveau nodig om een tiendeling van de duur te compenseren wanneer men de luidheid constant houdt, varieert tussen de 5 en 15 dB. Deze laatste waarden liggen rond de theoretische waarde van 10 dB voor het integratormodel. Een duidelijk effect van de frequentie of bandbreedte op t blijkt niet. Sommige

onderzoekers vinden echter wel een effect van het geluidniveau op t . Met een toenemend niveau neemt t dan af. Daarnaast is er enige indicatie voor een sterkere toeneming van t wanneer het niveau tot vlak boven de drempel is gedaald (vooral bij Stevens en Hall).

Uit de verdere bespreking door Smoorenburg en de gegevens die hij aanhaalt uit een toen recent rapport over een zeer uitgebreid, wereldwijd ringonderzoek komt een aanzienlijke onzekerheid over de exacte integratietijd naar voren. In het ringonderzoek werden soms zelfs integratietijden buiten het bereik 10 - 200 ms gevonden. Wanneer een beste waarde gekozen moest worden, was dat 80 ms.

Moore (1982) komt in zijn boek over psychoakoestiek uit op een integratietijd van circa 150 ms. Hij wijst eveneens op de invloed van factoren, zoals een laag niveau vlak boven de drempel, die de integratietijd beïnvloeden.

4. LUIDHEID: HET TIJDPATROON

In het voorgaande hoofdstuk is ingegaan op alternatieven voor het A-gewogen geluidniveau als maat voor de momentane luidheid. Hier komt de combinatie van deze momentane waarden over de tijd aan de orde.

Zoals al beschreven is in paragraaf 2.2 kunnen drie tijdstappen worden onderscheiden. Hier worden deze in afzonderlijke paragrafen besproken. In paragraaf 4.1 wordt de combinatie van de momentane waarden per gebeurtenis besproken, in paragraaf 4.2 de combinatie van de resultaten daarvan per dagdeel en ten slotte in paragraaf 4.3 de combinatie tot één waarde voor 24 uur.

4.1 Gebeurtenis

Veel geluidblootstellingen zijn opgebouwd uit afzonderlijke geluidgebeurtenissen. Bij verkeer zijn dit passages van een auto, een trein, een vliegtuig, enz.. Bij een aantal stationaire bronnen zijn impulsen, veroorzaakt door hamerslagen, schieten, enz., duidelijk herkenbare gebeurtenissen. Maar, bijvoorbeeld op enige afstand van autosnelwegen worden, op enkele uitzonderingen na, geen afzonderlijke gebeurtenissen waargenomen. Hetzelfde geldt voor het geluid van een aantal stationaire bronnen, zoals raffinaderijen, ventilatoren en generatoren. In deze gevallen kan men het geluid gedurende elk van een serie aaneengesloten tijdsintervallen als gebeurtenis beschouwen.

De vraag waar we hier op in zullen gaan is hoe de momentane waarden voor één gebeurtenis gecombineerd moeten worden.

In het $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} en L_{etm} worden de momentane waarden per gebeurtenis opgeteld. Een alternatief voor sommatie, dat eveneens veel wordt gebruikt, is de bepaling van het maximum van de momentane waarden tijdens een gebeurtenis. Dit wordt bijvoorbeeld gedaan wanneer voor vliegtuiglawaai B wordt vastgesteld.

Wat beter is, somming of het bepaling van het maximum, is onderzocht in laboratoriumstudies waarin proefpersonen gevraagd werd gebeurtenissen te vergelijken. Het beeld dat naar voren komt is dat een vergelijking qua luidheid vooral bepaald wordt door het maximum niveau tijdens de gebeurtenissen. Maar als naar 'noisiness' (= lawaaiigheid) gevraagd wordt, spelen ook de niet-maximale niveaus een rol. Dus de instructie aan de proefpersonen over het aspect waarop vergeleken moet worden, bepaalt welke maat de uitkomst van de vergelijkingen het best voorspeld. Het is dan ook bijvoorbeeld denkbaar dat de niet-maximale niveaus een nog grotere rol spelen dan bij noisiness, als gevraagd wordt de stilte te vergelijken in twee intervallen waarin gebeurtenissen plaatsvinden.

Het is dus van belang te weten wat de hinder gedurende een langere tijd bepaalt: de luidheid van de gebeurtenissen, de noisiness, of misschien nog iets anders. Het is bekend dat zeer luide gebeurtenissen, zoals de passages van luidruchtige brommers of motoren, een grotere invloed op de hinder hebben dan afgeleid zou worden uit hun bijdrage aan het $L_{Aeq}(24h)$. Maar experimenten van Kryter en Pearsons (1965) en eenvoudige voorbeelden suggereren dat toch niet alleen het maximum van belang is. Een extreem voorbeeld is een gebeurtenis waarvan het hoogste niveau enige tijd aanhoudt. Als het plateau tweemaal zo lang is zal zo'n gebeurtenis sterker bijdragen aan de hinder ondanks dat het maximum niet verandert. Zoals in het inleidend hoofdstuk is aangegeven zijn juist dit soort overwegingen er mede aanleiding voor geweest om voor de kleine burgerluchtvaart de maat BKL in te voeren. Deze wordt niet alleen door de maximale niveaus bepaald, zoals dat bij B wel het geval is.

Het meest waarschijnlijk lijkt dat de maximale niveaus van gebeurtenissen een grotere invloed op de hinder hebben dan afgeleid zou worden uit hun bijdrage aan het $L_{Aeq}(24h)$, maar dat dit niet zover gaat dat alleen de maxima van belang zijn. Er is in de literatuur een familie van maten voorgesteld, aangeduid met Q (zie Schultz, 1982), die dit kunnen beschrijven. Bij de juiste invulling van een parameter wordt een macht groter dan 1 genomen van de momentane waarden, voordat ze per gebeurtenis worden opgeteld. Op deze wijze hebben de niet-maximale niveaus een invloed op het resultaat die ligt tussen hun invloed bij sommering (zoals bijvoorbeeld in het $L_{Aeq}(24h)$) en de (afwezigheid van) invloed bij de bepaling van het maximum (zoals bijvoorbeeld in B). Sommering wordt benaderd als de macht naar 1 gaat, het maximum als de macht zeer groot wordt.

4.2 Dagdeel

In de voorgaande paragraaf is de bepaling van één waarde per gebeurtenis besproken. Hier gaan we in op de tweede tijdstap, de sommatie van de resultaten per gebeurtenis tot één waarde voor alle gebeurtenissen per periode van de dag.

Voor het $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} en L_{ctm} worden de waarden, die per gebeurtenis zijn vastgesteld, opgeteld over alle gebeurtenissen binnen een periode van de dag en voor het L_{ctm} gedeeld door het aantal uren in die periode. De in de praktijk gebruikte maat met het interessantste alternatief voor de sommatie in deze stap is B. Daarin wordt het resultaat per gebeurtenis uit de eerste tijdstap niet gesommeerd, maar de $2/3$ macht ervan wordt gesommeerd. Een gevolg hiervan is dat minder luide gebeurtenissen het resultaat sterker beïnvloeden dan bij directe sommatie het geval zou zijn.

Bij B wordt uitgegaan van het maximum per gebeurtenis. Maar ook wanneer, zoals bij het $L_{Aeq}(24h)$, de som van de momentane waarden tijdens een gebeurtenis zou worden gebruikt, is een vergelijkbare

tweede tijdstap mogelijk. Als in de tweede tijdstap de $2/3$ macht van de resultaten per gebeurtenis gesommeerd zouden worden, dan is het uitkomst gevoeliger voor lagere niveaus dan het $L_{Aeq}(24h)$. Met de in de vorige sectie genoemde maat Q wordt, met een juiste invulling van een parameter, een macht, bijvoorbeeld $2/3$, van de resultaten per gebeurtenis bepaald voordat deze worden opgeteld. Echter, de formulering van Q laat geen verschillende machten toe voor enerzijds de combinatie van de momentane waarden per gebeurtenis en anderzijds de combinatie van de resultaten daarvan per dagperiode. Dus als bij de tweede tijdstap de macht $2/3$ gebruikt wordt, moet die ook bij de eerste gebruikt worden. Maar, in de vorige paragraaf is aangegeven dat bij de eerste tijdstap een macht groter dan 1 de beste keuze lijkt, terwijl, zoals we hieronder zullen toelichten, bij de tweede juist een macht kleiner dan 1 vereist lijkt. Dus, per gebeurtenis spelen de niet-maximale momentane niveaus een betrekkelijk kleine rol, maar als de gebeurtenissen worden samengenomen spelen de gebeurtenissen met de niet-maximale niveaus juist een relatief grote rol.

Dat de niet-maximale niveaus voor de hinder een grotere rol spelen dan in het $L_{Aeq}(24h)$ is gesignaleerd door Finke e.a. (1980). Reducties van niveaus die 10 dB(A) onder het $L_{Aeq}(24h)$ liggen beïnvloeden de $L_{Aeq}(24h)$ waarde nauwelijks. Maar, als het $L_{Aeq}(24h)$ bijvoorbeeld 65 dB(A) is, dan zal een situatie met aanzienlijke pauzes waarin het werkelijk stil is minder hinderlijk zijn dan een situatie waarin het niveau in die periodes nog 55 dB(A) bedraagt. Deze gunstige invloed van pauzes kan tot uitdrukking worden gebracht door voor de tweede tijdstap een macht kleiner dan 1 te kiezen.

4.3 24 uur

Mensen worden in het algemeen verondersteld gevoeliger te zijn voor geluid tijdens de nacht dan voor geluid overdag. De wijze waarop dit in geluidmaten tot uitdrukking wordt gebracht kan worden beschreven door uit te gaan van het $L_{Aeq}(24h)$. Voor het $L_{Aeq}(24h)$ worden de momentane waarden per gebeurtenis opgeteld, waarna deze totalen per gebeurtenis over alle gebeurtenissen binnen een dagperiode worden opgeteld. Ten slotte worden de waarden voor de dagperiodes opgeteld tot één waarde en gedeeld door het aantal seconden in 24 uur. In de vorige twee paragrafen zijn we ingegaan op de eerste twee tijdstappen. Hier bespreken we de derde stap.

In het L_{dn} worden een dagperiode (7.00 - 22.00 u) en een nachtperiode (22.00 - 7.00 u) onderscheiden. Van de waarden voor deze twee periodes wordt de gewogen som bepaald. Voor de dagwaarde is het gewicht 1, voor de nachtwaarde is dat 10.

In Nederland wordt voor de meeste bronnen het L_{em} gebruikt. Hierin worden een dagperiode (7.00 - 19.00 u), een avondperiode (19.00 - 23.00 u) en een nachtperiode (23.00 - 7.00 u) onderscheiden. Van

de waarden voor deze drie periodes wordt, na weging, het maximum genomen. De hierbij gebruikte gewichten zijn 1, 3.16 respectievelijk 10 (als met de tien maal de log van de hier gebruikte waarden voor de periodes van de dag wordt gewerkt, betekent dit het optellen van $0 = 10\log 1$, $5 = 10\log 3.16$ respectievelijk $10 = 10\log 10$). Zoals eerder aangegeven kan dit maximum benaderd worden door de gewogen waarden voor de drie periodes tot een hoge macht te verheffen, op te tellen en de inverse macht voor het resultaat te bepalen. (Voor wegverkeer wordt L_{etm} wat afwijkend gedefinieerd, maar dat is hier verder niet van belang.)

Bij de bepaling van B wordt onderscheid gemaakt tussen negen periodes binnen de 24 uur. Van de resultaten voor de verschillende periodes wordt, net als bij het L_{dn} , een gewogen som bepaald. Voor de periode die het midden van de dag omvat is het gewicht 1, voor de periode die het grootste deel van de nacht omvat is het gewicht 10. De gewichten voor de andere periodes liggen hier tussenin.

Uit beschikbare analyses van relaties tussen de verschillende maten en hinder komt niet duidelijk één wegingssysteem voor periodes van de dag als het beste naar voren. Evenmin tonen dergelijke analyses aan dat het toepassen van een dergelijke weging tot een betere relatie met de hinder leidt dan het achterwege laten, zoals in het $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$ (Fields, 1986; Miedema 1992).

Dit resultaat kan veroorzaakt zijn door, zoals bij verkeersbronnen in de praktijk het geval is, een hoge correlatie tussen de belastingen in de verschillende dagdelen. In de veel praktijk situaties is het kwantitatieve verschil tussen bijvoorbeeld $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$ en L_{dn} niet groot. Maar in uitzonderlijke gevallen is er wel een aanzienlijk verschil. Als een bron bijvoorbeeld alleen in de nacht geluid veroorzaakt, dan is het L_{dn} 10 dB(A) hoger dan het $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$.

Afgaande op het $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$ als maat voor de hinder is een situatie met een L_{Aeq} van 60 dB(A) voor de nachtperiode 22 - 6u en verder rust even hinderlijk als een situatie met een L_{Aeq} van 60 dB(A) voor dagperiode 9 - 17u en verder rust. Volgens het L_{dn} echter is de eerste situatie even hinderlijk als een situatie met een L_{Aeq} van 70 dB(A) voor dagperiode 9 - 17u en verder rust. Nadere analyses, met ongeveer gelijke aantallen van zeer verschillende tijdpatronen van de geluidblootstelling, zijn nodig om vast te kunnen stellen of de bijdragen van de dagdelen verschillend gewogen moeten worden en, eventueel, welke weging gebruikt moet worden.

Het voorgaande gaat in op de gewichten voor de dagperiodes. We bespreken nu de machten voor de combinatie van de bijdragen uit verschillende periodes. Met een voorbeeld is duidelijk te maken dat het bepalen van het maximum voor de bijdragen uit de verschillende dagdelen, zoals dat in het L_{etm} gebeurt, niet altijd een volledig correcte indicatie van de hinder geeft. Een situatie X met een L_{Aeq} waarde voor de dag, avond en nacht van 70, 65 respectievelijk 60 dB(A) zal als hinderlijker worden ervaren dan een situatie Y met een gelijk dagniveau maar met een stille avond en nacht. Voor beide situaties is het L_{etm} gelijk, namelijk 70 dB(A). In het $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$, L_{dn} en B worden de bijdragen van

verschillende dagdelen gewogen gesommeerd en krijgt de hinderlijker situatie een hogere waarde. De $L_{Aeq}(24h)$ waarden voor de twee situaties zijn 67 respectievelijk 67,7 dB(A) en de L_{dn} waarden zijn 67 respectievelijk ongeveer 69,5 dB(A), enigszins afhankelijk van het L_{Aeq} tussen 22 en 23u en tussen 6 en 7u. Dus afgaande op het $L_{Aeq}(24h)$ is X hinderlijker dan Y en even hinderlijk als een situatie met een L_{Aeq} waarde voor de dag van 67,7 dB(A) en een stille avond en nacht. Ook wanneer wordt afgegaan op het L_{dn} is X hinderlijker dan Y en dan is X even hinderlijk als een situatie met een L_{Aeq} waarde voor de dag van ongeveer 69,5 dB(A) en een stille avond en nacht.

4.4 Week, seizoen en jaar

Naast een onderscheid tussen periodes van de dag, is ook wel onderscheid gemaakt tussen de werkdagen en het weekeinde, en tussen de zomermaanden en de wintermaanden.

Een onderscheid naar periode van de dag, tussen werkdagen en het weekeinde, en tussen de zomermaanden en de wintermaanden kan gemotiveerd worden door een verschil in de mate waarin de perioden bijdragen aan de *persoonlijke belasting* thuis. Op het moment wordt veelal de expositie buiten aan de meest belaste gevel in een maat uitgedrukt. Maar veel mensen zijn in de avond en nacht meer thuis dan overdag en in het weekeinde meer dan tijdens werkdagen. Dus geluid tijdens de avonden en nachten en in de weekeinden dragen relatief sterk bij aan geluidbelasting thuis. De zomermaanden zullen tamelijk sterk aan de persoonlijke belasting thuis bijdragen doordat men dan ramen vaker en verder open heeft en doordat men dan meer buiten, bijvoorbeeld in de tuin, verblijft.

Door het tijdsverloop van de geluidbelasting aan de meest belaste gevel te combineren met een 'standaard gedragspatroon', dat aangeeft wanneer men buiten is, binnen is met de ramen open of binnen is met de ramen dicht, zou een betere indicatie van de persoonlijke belasting thuis verkregen kunnen worden.

Daarnaast kunnen periodes onderscheiden worden omdat de 'activiteiten' die men onderneemt op het ene moment *gevoeliger* zijn voor geluid dan die op een ander moment. Dus, de veronderstelling dat men tijdens de slaap gevoeliger is dan bij activiteiten overdag is een achtergrond van het onderscheid tussen een dag- en een nachtperiode. Een verschil in gevoeligheid is veel moeilijker kwantitatief te verdisconteren. In verband met een verschil in gevoeligheid tijdens verschillende periodes van de dag worden in maten als het $L_{c,m}$ en B straffactoren gehanteerd. Het zal moeilijk zijn dergelijke straffactoren te onderbouwen voor periodes van de week of voor seizoenen van het jaar.

Los van de vragen over de gevoeligheid en over de persoonlijke belasting is er de vraag betreffende de *trade-off tussen de belastingen op verschillende dagen*. Het gaat hier bijvoorbeeld om de vraag of, bij gelijkblijvende persoonlijke belasting binnen een periode met een bepaalde gevoeligheid, concentratie van het geluid invloed heeft op de hinder. Is bijvoorbeeld de hinder groter, hetzelfde of kleiner bij concentratie op één werkdag in plaats van 'uitsmering' over alle werkdagen?

Vos en Geurtsen (1992) hebben recent gerapporteerd over gegevens uit de literatuur en eigen onderzoek aangaande deze vraag. Zij stellen dat een geluidmaat in ieder geval niet berekend moet worden over alleen de periode dat de geluidbron (schietterrein of luchtmachtbasis in hun geval) actief is omdat een dergelijke berekeningswijze suggereert dat concentratie van activiteiten de hinder door het geluid ervan verhoogt. Zij suggereren juist dat concentratie van geluid binnen een beperkt aantal dagen de hinder zou kunnen reduceren. Deze concentratie moet echter niet te ver gaan. Het blijkt moeilijk een exacte uitspraak te doen over de relatie tussen concentratie en effect op de hinder.

In deze paragraaf zijn drie aspecten besproken die van belang zijn bij het combineren van het geluid uit de verschillende periodes. Dit zijn: verschil in de mate waarin het geluid bijdraagt aan de persoonlijk blootstelling thuis, verschil in gevoeligheid van de activiteiten tijdens verschillende periodes en de trade-off tussen de belastingen in verschillende periodes. De invloed van het eerstgenoemde aspect lijkt relatief het eenvoudigst te kwantificeren. Als dit aspect in rekening gebracht wordt zullen waarschijnlijk de geluidniveaus in het weekeinde en in de zomer, zoals die aan de meest belaste gevel gemeten worden, *relatief* zwaarder meetellen (ten opzicht van de geluidniveaus door de week en buiten de zomer, die dus relatief minder zwaar meetellen) dan nu bijvoorbeeld in een maat als B het geval is.

5. ANDERE ASPECTEN DAN LUIDHEID: HET FREQUENTIEPATROON

Het $L_{Aeq}(24)$ is gebaseerd op de A-gewogen geluidintensiteiten, die een indicatie geven van de momentane luidheid. Zoals we in hoofdstuk 2 gezien hebben, zijn er ook andere maten voor de momentane luidheid. Daarnaast kunnen ook andere momentane aspecten van het geluid dan de luidheid van belang zijn in verband met de hinder. Resultaten van Berglund e.a. (1988) suggereren dat andere aspecten, in het betreffende experiment de scherpte van het geluid, vooral van belang zijn bij een geringe luidheid en minder van belang zijn voor sterke geluiden.

In de paragraaf 5.1 wordt ingegaan op het begrip 'noisiness'. Noisiness wordt zowel met betrekking tot momentaan geluid als met betrekking tot geluidgebeurtenissen gebruikt. Het wordt gebruikt om het totaal van de aspecten van het momentane geluid of van gebeurtenissen aan te duiden, die de hinderlijkheid van het geluid, beoordeeld over langere tijd, beïnvloeden. In paragraaf 5.2 wordt ingegaan op enkele van dergelijke momentane aspecten. De temporele aspecten komen in het volgende hoofdstuk aan de orde.

5.1 'Noisiness'

Luidheid is niet het enige aspect dat de hinder beïnvloedt. Uit de boven gegeven omschrijving van noisiness volgt dat luidheid en 'noisiness' in het algemeen niet hetzelfde zijn. Uitgaande van deze eenvoudige constatering is de verwarring die de introductie van het begrip noisiness heeft veroorzaakt in de toepassingsgerichte psychoakoestiek wat verwonderlijk. Eén punt van verwarring is dat behalve experimenten met luidheidbeoordelingen ook experimenten met 'noisiness' beoordelingen gebruikt zijn om luidheidsmodellen te evalueren. Een tweede punt, waar hieronder nader op in wordt gegaan, is dat het onduidelijk is geworden of Stevens' model betrekking heeft op luidheid of op noisiness.

Het oorspronkelijke, in 1956 gepubliceerde model van Stevens had zonder meer betrekking op luidheid. Ook in Stevens (1961), waarin de zesde versie van het model beschreven wordt, houdt Stevens vast aan luidheid. Hij refereert daar aan een publikatie van Kryter (1959), waarin een bijstelling van de tweede versie van Stevens' model voorgesteld wordt. Die bijstelling bestaat er alleen uit dat de specifieke luidheidscurven vervangen worden door de zogenaamde noy-curven ('noy' van 'annoyance'). Een theoretische basis voor deze aanpassing is nauwelijks aanwezig. Waarom het idee achter het luidheidmodel nog betekenis heeft als noy-curven worden gebruikt is onduidelijk.

Stevens verwerpt in 1961 deze suggestie voor aanpassing en wijst op resultaten die laten zien dat luidheid wat anders is dan 'noisiness'. Het Perceived Noise Level (PNL, logaritmisch: PNdB), zoals

Kryter de uitkomst van zijn procedure noemt, moet volgens Stevens niet verward worden met luidheid. Echter, Kryter (1960) en, ook na Stevens' publikatie uit 1961, Kryter en Pearsons (1965) claimen dat hun procedure geschikt is om de luidheid te berekenen.

De verwarring wordt nog groter wanneer Stevens (1971) de zevende en laatste versie van zijn model presenteert als een model voor zowel luidheid als noisiness en de aanduiding PNdB invoert voor het berekende resultaat ofschoon hij niet de noy-curven van Kryter gebruikt voor de berekening ervan. Experimentele gegevens laten zien wat verwacht kon worden, namelijk dat 'noisiness' en luidheid soms wel en soms niet hetzelfde zijn, en in het algemeen dus niet. Illustratief zijn bijvoorbeeld enerzijds de resultaten van Berglund, Berglund en Lindvall (1976) en van Fastl en Widmann (1990), die aangeven dat er voor vliegtuigpassages een vaste verhouding is tussen luidheid en 'noisiness', en anderzijds die van Lubke en Mittag (1965), die vonden dat de relatie tussen luidheid en 'noisiness' afhangt van de aanwezigheid van hoge tonale componenten in het geluid. Op grond van andere publikaties constateert Stevens (1971) hetzelfde: 'Some studies show a difference, some do not.' Weinig voor de hand liggend is dan zijn conclusie, één zin later, dat 'In sum, the evidence suggests that a single composite weighing function should prove adequate to the needs of noise evaluation', waarmee hij bedoelt dat dezelfde procedure gebruikt kan worden voor de bepaling van de luidheid en de noisiness.

Kryter echter (1985: 167) komt juist terug op zijn eerdere claim en stelt dat: 'The attribute of noisiness includes, in addition to loudness, some perceived effects of impulsiveness and duration of sound upon their unwantedness that are not generally perceived as a part of the attribute of loudness'. Er worden elders in het boek van Kryter correcties voor de twee genoemde factoren, impulsiviteit en duur, behandeld, die in het PNL verwerkt kunnen worden. Opvallend is dat een eventueel effect van tonaliteit hier niet genoemd wordt, terwijl Kryter eerder het Effective Perceived Noisiness Level (EPNL) had voorgesteld, waarin op het PNL een correctie voor tonaliteit is toegepast (zie paragraaf 5.2).

Ondanks de verwarring die er is geweest zal het duidelijk zijn dat naast luidheid nog andere momentane en temporele aspecten de hinder kunnen beïnvloeden. Op de momentane aspecten wordt in de volgende paragraaf ingegaan, terwijl de temporele aspecten in het volgende hoofdstuk aan de orde komen.

5.2 Tonaliteit, hoog en laag geluid, scherpte

Globaal genomen is het tonale karakter van geluid sterker naarmate een groter deel van de energie in een beperkt frequentiegebied geconcentreerd is. Er zijn geen experimenten bekend waarin het oordeel

van proefpersonen met betrekking tot het tonale karakter zelf gerelateerd is aan een maat voor de concentratie van geluidenergie. Wel zijn dergelijke maten voor het tonale karakter gerelateerd aan een oordeel over de 'noisiness' of hinderlijkheid.

De gegevens uit deze experimenten zijn niet eenduidig. Scharf en Hellman (1980) geven een overzicht van onderzoeken waarin proefpersonen geluiden met en zonder tonale componenten met elkaar vergeleken. Zij concluderen: *When the attribute judged is either loudness or noisiness, tonal components do not seem to alter the subjective magnitude of noise for sounds below 80 dB SPL. Above 80 dB SPL, tonal components slightly increase the noisiness of sounds'*

Over de procedures om de invloed van tonale componenten in rekening te brengen stellen Scharf en Hellman: *'None of the examined procedures designed to correct for the presence of tonal components improved the effectiveness of the descriptors to which they were applied; the variability and discrepancy between calculated and judged level either remained the same or increased.'* Het gaat hierbij om de tooncorrectie procedure FAR 36 (FAA, 1969), die van Kryter and Pearsons (1965), beide voor toepassing op het PNL, en een ongepubliceerde procedure van Stevens die met zijn berekeningsmethode voor luidheid uit 1972 gecombineerd kan worden. De procedure van de FAA is gebaseerd op Little (1961) en is uitgewerkt door Sperry (1968 in Kryter 1985: 135)

De conclusie, gesuggereerd door de uitkomsten van de laboratoriumexperimenten, dat er geen invloed is van tonaliteit op de hinder of noisiness, gaat in tegen de overheersende mening dat tonale componenten wel extra hinder kunnen veroorzaken. In een aantal veldonderzoeken zijn resultaten gevonden die wijzen op een relatief sterke hinder door tonaal geluid, bijvoorbeeld van trams of remmende bussen (zie Miedema en Van de Berg, 1985 respectievelijk Ericz e.a., 1986). Maar uit het overzicht van Scharf en Hellman blijkt een dergelijk effect in het laboratorium moeilijk aan te tonen. Een (gedeeltelijke) verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de gebruikte maten voor tonaliteit niet adequaat zijn. Recent heeft Robinson (1992) een nieuwe maat voorgesteld voor de beschrijving van de invloed van tonaliteit op de hinder. Volgens deze maat is de invloed van tonaliteit op de hinder afhankelijk van een complex van factoren, waaronder de frequentie van de tonale componenten.

In een aantal laboratoriumstudies is wel duidelijk aangetoond dat er bij een enkele tonale component in een ruis een effect is op de noisiness of hinder, dat afhangt van de frequentie van die component (Kryter en Pearsons, 1965; Pearsons, 1968: 135; Robinson, 1991). Globaal genomen neemt het effect van een tonale component van constant niveau toe naarmate de frequentie ervan hoger is. Dit kan een aanwijzing zijn dat niet zozeer tonaliteit als wel de scherpte van het geluid van belang is. Zwicker (1982) geeft aan hoe de scherpte van een geluid berekend kan worden. Scherpte kan ook een rol spelen bij niet-tonale geluiden. De scherpte van een 'sissende' witte ruis is, ook volgens de formule van

Zwicker, groter dan die van een roze ruis. Mogelijk is met deze maat voor de scherpte van het geluid een betere voorspelling mogelijk van de extra hinder dan met de maten voor de tonaliteit.

Globaal gesproken neemt de scherpte toe als de hoog-frequente componenten in het geluid dominanter worden. Maar ook lage componenten kunnen van belang zijn voor de hinder. Voor bijvoorbeeld supersone knallen (Galloway, 1990) en zware artillerie (Buchta, 1990) is geconstateerd dat met het A-gewogen geluidniveau de hinder niet goed voorspeld kan worden. Genoemde auteurs pleiten ervoor het C-gewogen geluidniveau voor dergelijke geluiden te gebruiken. Bij de C-weging is de invloed van de laagfrequente componenten op het totale niveau groter dan bij A-weging. Het is zeer waarschijnlijk niet nodig om voor laagfrequente geluiden een afwijkende grootte te hanteren wanneer Zwicker's procedure voor de luidheidberekening gebruikt wordt. Eerder hebben we bijvoorbeeld geïllustreerd dat de luidheid van het laagfrequente geluid van vrachtwagens met de A-weging onderschat wordt terwijl Zwicker's procedure de luidheid correct aangeeft.

Maar behalve een door de A-weging soms onderschatte invloed op de luidheid, kan laagfrequent geluid nog een ander effect hebben. Laagfrequent geluid en niet hoorbare trillingen kunnen trillingen in constructies veroorzaken. Het trillen van de woning kan direct gevoeld worden of leiden tot geluiden (trillende ruiten, serviesgoed) die worden waargenomen. Deze trillingen treden bijvoorbeeld op bij supersone knallen en zware artillerie, maar ook bij zwaar transport over de grond (vrachtwagens, goederentreinen) en ten gevolge van vliegtuigen.

6. ANDERE ASPECTEN DAN LUIDHEID: HET TIJDPATROON

De luidheid gedurende 24 uur wordt beschreven met maten als het $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , L_{etm} en B. Maar er zijn temporele aspecten die de hinder beïnvloeden maar niet tot uitdrukking komen in deze maten. Een belangrijk aspect zijn plotselinge toenames in de luidheid. In verband daarmee is, naast het luidheidsniveau, ook de afgeleide daarvan van belang, in het bijzonder de stijgsnelheid. Hierop wordt ingegaan in paragraaf 6.1. Een ander temporeel aspect, de ruwheid van geluid, wordt besproken in paragraaf 6.2.

6.1 Luidheidtoenames

Puur impulsgeluid, geluid van trams met impulsen, laagvliegende straaljagers en supersone knallen van vliegtuigen veroorzaken bij eenzelfde $L_{Aeq}(24h)$ meer hinder dan bijvoorbeeld wegverkeersgeluid. Dit wordt in al deze gevallen voor een belangrijk deel toegeschreven aan het voorkomen van hoge stijgsnelheden in het geluidniveau. Daarnaast kunnen hoge piekniveaus een rol spelen (zie paragraaf 4.1) terwijl bovendien bijvoorbeeld supersone knallen zeer laagfrequent zijn (zie paragraaf 5.2).

Voor impulsgeluid is het verschil in hinder met wegverkeer in diverse studies aangetoond. Miedema (1992) geeft voor wegverkeer en impulsgeluid op vergelijkbare manier bepaalde relaties tussen hinder en $L_{Aeq}(24h)$. Hieruit is af te lezen dat de hinder van impulsgeluid ongeveer gelijk is aan de hinder ten gevolge van wegverkeersgeluid met een 15 dB(A) hoger $L_{Aeq}(24h)$ niveau.

Voor geluid van trams wordt bij wissels meer hinder gevonden dan op rechte stukken (Miedema en Van de Berg 1985). Miedema (1992) geeft voor wegverkeer en tramgeluid met impulsen op vergelijkbare manier bepaalde relaties tussen hinder en $L_{Aeq}(24h)$. De relatie is voor dit type tramgeluid zwak. Er is wel een duidelijke indicatie dat de hinder van dit tramgeluid met impulsen hoger is dan van wegverkeersgeluid met eenzelfde $L_{Aeq}(24h)$ niveau. Op grond hiervan en de bovengenoemde resultaten voor 'zuiverder' impulsgeluid wordt in het algemeen voor rail- en ook wegverkeersgeluid een verhoging van de hinder verwacht bij het voorkomen van impulsen, zoals 'stoten' en 'bonken'. Voor laagvliegende straaljagers is het verschil in hinder aannemelijk gemaakt door De Jong (1986). Hij onderzocht de hinder bij bewoners onder laagvliegroutes. Hoewel er geen geluiddata verzameld waren, was op grond van het betrekkelijk geringe aantal overvluchten duidelijk dat bijvoorbeeld het $L_{Aeq}(24h)$ onder de laagvliegroutes veel lager was dan het $L_{Aeq}(24h)$ dat voor wegverkeer een gelijke hinder op zou leveren.

Omdat de geluidbarrière boven Nederland niet meer doorbroken mag worden gaan we hier niet in op de daarbij optredende knallen.

Schultz (1982) bespreekt vier maten waarin de fluctuatie in het geluidniveau in rekening wordt gebracht en zeven maten waarin de snelheid van verandering verwerkt is.

Het Noise Pollution Level (NPL) is een voorbeeld van het eerste type. Dit is een gewogen som van het $L_{Aeq}(24h)$ en de standaarddeviatie van de momentane waarden. Maar de mate van fluctuatie is niet eenduidig aan de hinder gerelateerd. Dit is met eenvoudige voorbeelden, zonder verder onderzoek, duidelijk te maken. Miedema (1985) doet dit ondermeer specifiek voor het NPL.

Door Muller is een maat van het tweede type voorgesteld. Hij stelde een additieve combinatie voor van het $L_{Aeq}(24h)$ en de 'root mean square' van de afgeleide van het (A-gewogen) geluidniveau. Dit lijkt een meer belovende benadering. Enkele kwalificaties zijn echter dat de stijgsnelheid belangrijker lijkt dan de daalsnelheid, dat de stijgsnelheid beneden een bepaalde waarde geen invloed zal hebben en boven een bepaalde waarde een constante invloed zal hebben, en dat de maat in praktijk niet makkelijk te bepalen is.

Uit laboratoriumonderzoek van Yaniv e.a. (1982) komt naar voren dat het $L_{Aeq}(24h)$ een betere voorspeller van de hinder is dan bijvoorbeeld beide bovengenoemde maten.

Plotkin e.a. (1987) hebben een correctie voorgesteld voor de bijdrage van geluidgebeurtenissen aan het totale $L_{Aeq}(24)$, die afhangt van de stijgsnelheid. Voor stijgtijden beneden de 15 dB/s is er geen correctie, tussen de 15 en 30 dB/s een van de stijgsnelheid afhankelijke variabele correctie, en boven de 30 dB/s een constante correctie van 5 dB(A). Hiermee wordt tegemoet gekomen aan bovenstaande bezwaren. De snelheid van verandering wordt in rekening gebracht, niet de variatie. Bovendien gaat het specifiek om de stijgsnelheid, wordt de correctie alleen boven de 15 dB/s toegepast en is de correctie boven de 30 dB/s constant. Een bezwaar blijft dat de exacte stijgsnelheid in het interval 15 - 30 dB/s in praktijk moeilijk vast te stellen zal zijn.

De laatste benadering is dus aantrekkelijk, maar heeft nog het genoemde praktische bezwaar en de vraag is of de grenzen correct gelegd zijn. Wat dat laatste betreft, is onderzoek van Harris (in Galloway, 1988) relevant. Dit laat zien dat de stijgsnelheid pas boven de 30 dB/s van belang wordt. Door inspectie van het tijdpatroon van diverse geluidgebeurtenissen komt Miedema (1992) tot een voorlopige, niet uitputtende driedeling: < 10 dB/s, circa 50 dB/s en >> 1000 dB/s. In de eerste categorie vallen alle passages van verschillende typen weg, rail en luchtverkeer, met uitzondering van hoge snelheidstreinen, waarvoor de indeling niet duidelijk was, en laagvliegende straaljagers, die in de tweede categorie vallen. Alle impulsgeluiden vallen in de laatste categorie. Als afgegaan wordt op de resultaten van Harris, dan wordt de bovengrens van de eerste categorie opgeschoven naar 30 dB/s.

Miedema (1992) geeft voor de eerste (divers verkeer) en laatste (impulsgeluid) categorie afzonderlijke relaties tussen $L_{Aeq}(24h)$ en hinder, waarbij binnen de eerste categorie nader onderscheid wordt gemaakt in verband met andere verschillen tussen de verkeersbronnen. Hij suggereert combinaties van impulsgeluid met niet-impulsgeluid te behandelen als cumulatiesituatie (zie verder die referentie).

6.2 Ruwheid

Bij een snelle wisseling van het geluidniveau wordt het geluid als 'ruw' waargenomen. Voor een zuivere toon van 1 kHz wordt een maximale ruwheid bereikt bij een modulatie van de amplitude met een frequentie van ongeveer 70 Hz. De ruwheid van amplitude gemoduleerde zuivere tonen is afhankelijk van de frequentie van de toon, de frequentie van de amplitude modulatie en de grootte van de amplitude modulatie. In Zwicker (1982) wordt aangegeven hoe voor zuivere tonen maar ook voor andere geluiden de ruwheid berekend kan worden.

Geluiden van bronnen in de omgeving verschillen qua ruwheid. Het is verondersteld dat, bij gelijke luidheid, geluiden met een grotere ruwheid hinderlijker zijn. Naar deze veronderstelling is weinig onderzoek gedaan. De aanwijzingen over de invloed op de hinder zijn niet eenduidig. In een laboratoriumonderzoek, bijvoorbeeld, lieten Fastl e.a. (1990) de hinderlijkheid van het geluid van verschillende vliegtuigpassages beoordelen. Het bleek dat de luidheid van de passages een eenduidige indicatie gaf van de hinderlijkheid en dat het verschil in ruwheid geen invloed had op de hinder.

7. HET RUIMTELIJK PATROON

Het $L_{Aeq}(24h)$ en andere maten worden doorgaans bepaald voor het invallend geluid van een bron aan de door die bron meest belaste gevel. Maar voor een goed beeld van de akoestische situatie waarin iemand verkeert, is het van belang te weten wat het niveau op andere plekken is. Naast het $L_{Aeq}(24h)$ buiten aan de meest belaste gevel kan ook het verschil met de minst belaste gevel (paragraaf 7.1) en met het binnenniveau (paragraaf 7.2) van belang zijn.

7.1 Verschil tussen meest en minst belaste gevel

Als een woning een relatief rustige kant heeft dan kunnen (sommige) bewoners aan die kant slapen, dan kan men voor de ventilatie vooral de ramen aan die kant openzetten en dan kan men, als aan die kant een tuin gelegen is, in relatieve rust buiten zitten. Resultaten van Miedema (1992) bevestigen dat mensen in woningen met een relatief rustige kant minder geluidhinder rapporteren. Door Kryter (1985) is gesuggereerd dat het ontbreken van een relatief rustige kant bij woningen onder vluchtpaden het gevonden verschil in hinder tussen vliegverkeer en (lokaal) wegverkeer (gedeeltelijk) kan verklaren. Bij voldoende hoge, aaneengesloten bebouwing parallel aan de weg kunnen de verschillen in geluidniveau tussen de voor- en achterkant van de woningen oplopen tot boven de 15 dB(A), terwijl onder vluchtpaden het verschil in niveau tussen verschillende kanten van de woning nauwelijks van belang zal zijn.

7.2 Verschil tussen binnen en buiten

De veronderstelling die ten grondslag ligt aan isolatieprogramma's in sterk geluidbelaste gebieden is dat hierdoor de hinder afneemt. Een reductie van het binnenniveau zal echter een minder gunstig effect hebben dan een gelijke reductie van het buitenniveau. Een deel van de hinder wordt veroorzaakt door de blootstelling tijdens verblijf in de directe omgeving van de woning. Ook blijft er de behoefte om de ramen te kunnen openen en zal men het als hinderlijk ervaren als die gesloten moeten blijven of, wanneer ze toch geopend worden, vervalt het effect van de isolatie grotendeels.

Het effect van isolatievoorzieningen aan de woning op de hinder komt niet tot uitdrukking in geluidmaten wanneer ze, zoals gebruikelijk, voor de emissie buiten, aan de meest belaste gevel worden

bepaald. Mogelijk geeft de verandering in een geluidmaat, bepaald voor de persoonlijke blootstelling, de beste indicatie van het effect van isolatie op de hinder.

Isolatie verlaagt de bijdrage aan de persoonlijke blootstelling van de binnenshuis doorgebrachte tijd, maar beïnvloedt niet de bijdrage van de buiten, bijvoorbeeld in de tuin, doorgebrachte tijd. Dus, door isolatie zal de waarde van een maat voor de persoonlijke blootstelling afnemen en de afname zal liggen tussen, enerzijds, de afname voor dezelfde maat maar bepaald voor de emissie buiten (neemt niet af) en, anderzijds, de afname van die maat bepaald voor de emissie binnenshuis. De afname van de maat bepaald voor de persoonlijke blootstelling zou een goede indicatie kunnen zijn voor de mate waarin de hinder afneemt onder invloed van isolatie van een woning. Zie ook paragraaf 4.4.

8. DE BEOORDELING VAN HINDER DOOR OMGEVINGSGELUID

Op basis van de bespreking in de hoofdstukken 2 - 4 wordt een geluidmaat voor een 24 uren periode gespecificeerd, waarvan verwacht wordt dat die een sterke relatie met de hinder heeft. De specificatie is niet compleet. Voor sommige parameters kan alleen een bereik aangegeven worden, geen exacte waarde. Ook wordt op grond van de bespreking in paragraaf 4.4 aangegeven hoe de maat uitgebreid zou kunnen worden tot een maat voor het jaar. Verder wordt op basis van de bespreking in de hoofdstukken 5 - 7 ingegaan op de invloed op de hinder van andere akoestische factoren dan de geluidsterkte.

Geluidsterkte

De basisgegevens voor de maat zijn, per tijdstip binnen de 24 uur, de excitatieniveaus in de verschillende kritische banden (zie paragraaf 3.2 voor een toelichting). De wegingsfactoren en machten voor de combinatieregels, waarmee de basisgegevens in een viertal stappen worden samengenomen, zijn hieronder per stap gespecificeerd (zie paragraaf 2.2 voor een toelichting op deze wijze van specificeren).

frequentie	tijd binnen gebeurtenis	tijd van gebeurtenis	periode van de dag
1; 0.23 *)	1; 1 < en <∞	1; 0 < en <1	dag < nacht ; 1

*) De eigenlijke combinatieregels in het model van Zwicker is complexer en benadert bij hogere niveaus de hier gegeven regels asymptotisch.

Uitbreiding tot een maat voor het jaar

Voor een samenvatting van de waarden voor de verschillende dagen tot een waarde voor het jaar is een vijfde stap nodig. Over de bij die stap te gebruiken parameters bestaat weinig informatie. Het simpelste alternatief is dan een middeling van de waarden voor de dagen uit het jaar, zoals dat in principe gebeurt bij de vaststelling van het L_{Aeq} of B voor een jaar. Het lijkt wel mogelijk rekening te houden met verschillen in gedragspatroon, die naar verwachting veroorzaken dat de weekeinden en dagen met mooi weer sterker bijdragen aan de persoonlijke blootstelling van de bewoners thuis dan andere periodes. Daartoe moeten in principe de gegevens voor de persoonlijke belasting als uitgangspunt genomen worden voor de geluidmaat, in plaats van de gegevens over de belasting van de woning. Door de gegevens over de belasting van de woning te combineren met een standaard gedragspatroon kunnen deze mogelijk geschat worden.

Andere aspecten dan de geluidsterkte

Voor veel situaties gaat een sterkere hinder samen met een hogere waarde van een boven beschreven geluidmaat. De volgende aspecten echter compliceren de relatie tussen een dergelijke maat en de hinder.

- Tonale componenten en scherp geluid kunnen extra hinder veroorzaken (zie hoofdstuk 5). Deze aspecten lijken gerelateerd. Vooral tonale componenten met hogere frequenties, die dus een scherp geluid veroorzaken, leveren extra hinder op. Voor tonaliteit is geen geaccepteerde maat beschikbaar, voor scherpheid wel. Scherp geluid kan bijvoorbeeld optreden bij korte bogen voor railverkeer, als metaalachtig geluid bij sommige type helikopters en als sissend geluid bij bepaalde bedrijfsinstallaties.
- Aan bronnen van laagfrequent geluid kan extra hinder worden toegeschreven in verband met trillingen van het huis of de huisraad (zie hoofdstuk 6). Trillingen veroorzaken bijvoorbeeld hinder bij zwaar grondverkeer (vrachtwagens, goederentreinen) op korte afstand en bij vliegverkeer nabij luchthavens. Trillingen zijn goed uit te drukken in een maat.
- Hoge stijgsnelheden kunnen extra hinder opleveren (zie hoofdstuk 7). De hoogste stijgsnelheden treden op bij impulsgeluid, zoals veroorzaakt door hameren, heien of schieten. Ook bij laagvliegende straaljagers veroorzaakt de hoge stijgsnelheid van het geluid extra hinder. Hoge snelheidstreinen verschillen qua stijgsnelheid niet zodanig van ander grondverkeer dat daarbij extra hinder verwacht wordt.
- Meerzijdige blootstelling van een woning leidt tot extra hinder (zie hoofdstuk 8). Meerzijdige blootstelling komt bijvoorbeeld voor wanneer er aan verschillende kanten van het huis wegen zijn en het komt voor bij huizen direct onder aan- of uitvliegroutes. Het is mogelijk dat een geluidbron boven het hoofd ook als extra hinderlijk ervaren wordt vanwege het daarmee geassocieerde gevaar.
- Er zullen, met name bij bedrijfsgeluid, incidentele of bijzondere geluiden zijn die een relatief grotere invloed op de hinder hebben (zie Miedema, 1992).

In verband met systematische verschillen tussen bronnen ten aanzien van de bovenstaande aspecten is de hinder niet voor alle bronnen op dezelfde wijze gerelateerd aan de beschreven geluidmaat. Een aantal verschillen ten aanzien van deze aspecten kan verdisconteerd worden door voor verkeer over de grond (snelwegverkeer, overig wegverkeer, railverkeer), vliegverkeer en impulsgeluid aparte relaties tussen de luidheidsmaat en de hinder vast te stellen. Mogelijk kan, bij gebruik van een boven gekarakteriseerde maat, voor de verschillende soorten verkeer over de grond met één relatie volstaan worden. Als de waarde voor de geluidmaat gemeten of berekend is, kan met behulp van deze relaties voor het overgrote deel van de situaties de hinder worden vastgesteld.

Het effect van meerzijdige blootstelling zou verdisconteerd kunnen worden door niet uit te gaan van de blootstelling aan de meest belaste gevel maar, zoals boven aangeduid, van de (geschatte) persoonlijke belasting.

De scherpste van geluid, trillingen en stijgsnelheden zoals die bij laagvliegende militaire straaljagers voorkomen kunnen op zich, in principe, goed gekwantificeerd worden. In het algemeen zal de hinder toenemen als de scherpste, stijgsnelheid of de trillingen toenemen. Maar hoe dit verband met de hinder er precies uitziet is momenteel nog niet duidelijk.

9. CONCLUSIES MET BETREKKING TOT GELUIDMATEN EN HINDER

De in Nederland en de meeste elders in de wereld gebruikte maten voor omgevingsgeluid gaan uit van het A-gewogen geluidniveau. Dit geldt bijvoorbeeld voor de maten $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , BKL, L_{ctm} en B. Door uit te gaan van het A-gewogen geluidniveau, in plaats van Zwicker's maat voor de momentane luidheid, neemt naar verwachting de sterkte van de relatie met de hinder af. Doordat bijvoorbeeld bij hogere niveaus de bijdrage van laagfrequent geluid aan de luidheid onderschat wordt, kan de hinder van zwaar verkeer onderschat worden.

Maar de vijf genoemde maten verschillen niet in dit opzicht, zodat op grond hiervan geen voorkeur voor een van de maten bestaat.

Geen van de maten $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , BKL, L_{ctm} en B zijn volledig in overeenstemming met de specificatie die in het vorige hoofdstuk gegeven is voor de drie stappen, waarmee een samenvatting over de tijd bereikt wordt. Vergelijking van de specificatie in het vorige hoofdstuk met die in paragraaf 2.2 voor genoemde maten laat zien dat $L_{Aeq}(24h)$, L_{dn} , L_{ctm} en B alle vier op een andere manier daarvan afwijken. De wijze waarop L_{dn} en BKL daarvan afwijken is in essentie gelijk. De discrepanties worden hieronder kort beschreven (zie hoofdstuk 4).

- Bij het $L_{Aeq}(24h)$ is in stap 4 het gewicht voor de nacht gelijk aan dat voor de dag. Verder is de macht in de combinatorische regel voor stap 2 te laag, namelijk 1. Dit betekent dat de niet-maximale niveaus tijdens een gebeurtenis een wat te sterke invloed hebben. De macht in stap 3 is ook 1, wat voor die stap te hoog is. Dit betekent dat de gunstige invloed van relatief stille periodes (pauzes) wordt onderschat.
- Voor het L_{dn} en BKL gelden het eerstgenoemde punt van afwijking niet, maar wel de twee andere.
- Voor het L_{ctm} gelden dezelfde twee afwijkingen weer, plus de volgende. De macht in de combinatorische regel bij stap 4 is te hoog, namelijk ∞ . Dit betekent dat de invloed op de hinder van de dagperiodes, waarvoor de waarde niet maximaal is, onderschat wordt.
- Voor B geldt één punt van afwijking. De macht in stap 1 is te hoog, namelijk ∞ . Dit betekent dat de invloed op de hinder van de niet-maximale niveaus tijdens een gebeurtenis wordt onderschat. Voor het overige is B in overeenstemming met de in het vorige hoofdstuk gegeven specificaties voor een geluidmaat voor de voorspelling van de geluidhinder.

Omdat $L_{Aeq}(24h)$, BKL, L_{ctm} en B alle op een andere manier afwijken van de specificatie in het vorige hoofdstuk, is het moeilijk een voorkeur vast te stellen voor één van de maten.

Het doel van deze studie is aan te geven welke geluidmaten gebruikt kunnen worden bij het vaststellen van grenswaarden voor omgevingsgeluid, in het bijzonder voor vliegverkeer. De bruikbaarheid van

geluidmaten hangt in de eerste plaats af van hun relatie met de verschillende negatieve effecten, hier specifiek van de relatie met de hinder.

We hebben reeds in paragraaf 2.1 geconstateerd dat op grond van vastgestelde correlaties tussen de hier beschouwde geluidmaten en de hinder geen keuze tussen deze maten mogelijk is. In verband daarmee zijn de verschillende stappen in de maten onderscheiden en is nagegaan in hoeverre voor elk van de stappen de beste invulling vastgesteld kan worden. De op deze wijze bereikte specificatie is beschreven in het vorige hoofdstuk. De nu beschouwde vier maten verschillen alle van die specificatie. De voornaamste afwijking van B van de in het vorige hoofdstuk gegeven specificatie is dat voor passages het maximum bepaald wordt en dat niet-maximale niveaus tijdens een passage geen invloed hebben op de waarde van B. Dit element is één van de aanleidingen geweest om voor de kleine burgerluchtvaart de BKL te introduceren. Omdat er in de woonomgeving rond vliegvelden voor de grote burgerluchtvaart een sterkere samenhang is tussen bijvoorbeeld L_{Amax} en L_{AX} is deze beperking van B daar van minder belang. De exacte samenhang tussen L_{Amax} en L_{AX} zou bijvoorbeeld rond Schiphol nader onderzocht kunnen worden.

Het bovenstaande leidt tot de conclusie dat er op dit moment geen aanwijzingen zijn dat een van de andere beschouwde geluidmaten een sterker verband heeft met de geluidhinder van grote burgerluchtvaart dan B. De geschikte correlatiegegevens uit dosis-respons onderzoek aan de hand waarvan een andere maat de voorkeur zou kunnen krijgen ontbreken. Daarom is de meeste aandacht gegeven aan de analyse van de stappen waaruit de verschillende maten zijn opgebouwd. En deze analyse laat zien dat de enige duidelijke tekortkoming van B is dat deze uitgaat van maxima per overvlucht. Bij toepassing voor alleen de grote burgerluchtvaart is het belang dit punt beperkt. Bovendien staan er andere tekortkomingen van alternatieve maten tegenover.

Het gaat in deze conclusie om B bepaald voor 24 uur, zonder een ondergrens voor de piekwaarden die in de berekening worden meegenomen. Om B voor een jaar te bepalen worden de waarden per dag gemiddeld. Er zijn weinig gegevens om te combineren bij deze stap te kunnen beoordelen, zodat er geen reden is om van de simpele procedure in de bepaling van B af te stappen. Wel zou het zinvol kunnen zijn, aan de hand van een standaard gedragspatroon, B te bepalen voor de persoonlijke expositie in plaats van de expositie van de woning.

De bevindingen bieden onvoldoende grond om één bepaalde maat aan te geven die verschillende Nederlandse geluidmaten zou kunnen vervangen. Wel is in het vorig hoofdstuk een specificatie gegeven van een geluidmaat die daarvoor in principe het meest in aanmerking zou komen. Maar die specificatie is niet compleet. Als die specificatie volledig zou zijn, zouden verschillende geluidmaten daar ook kwantitatief mee vergeleken kunnen worden. Uit de geluidmaten die daarvoor ook praktisch

gezien in aanmerking komen zou aan de hand van dergelijke vergelijkingen een keuze voor één maat gemaakt kunnen worden, als deze even goed of beter in staat is de hinder voor verschillende bronnen te voorspellen dan de nu gebruikte verschillende maten dat doen. Op deze wijze zou de huidige diversiteit in gebruikte geluidmaten gereduceerd kunnen worden.

Het is aan te bevelen om eerst de specificatie te completeren en de bedoelde vergelijkingen uit te voeren, alvorens wijzigingen voor de bestaande praktijk na te streven. Voor het completeren van de specificatie kunnen de volgende twee wegen gevolgd worden.

De eerste is het verder onderzoeken van de correlatie tussen verschillende geluidmaten en de hinder. Het is hierbij van belang om de correlaties met de hinder te bepalen voor een steekproef waarin zeer verschillende situaties in gelijke mate vertegenwoordigd zijn. Om bijvoorbeeld het belang en de hoogte van een nachtstraffactor te onderzoeken zouden voor de volgende vier typen situaties gelijke aantallen respondenten geselecteerd kunnen worden uit het grote, bij het NIPG-TNO beschikbare bestand met blootstelling en hindergegevens: hoog niveau in de nacht, hoog overdag; hoog niveau in de nacht, laag overdag; laag niveau in de nacht, hoog overdag; laag niveau in de nacht, laag overdag. Voor dergelijke situaties is de samenhang tussen bijvoorbeeld $L_{Aeq}(24h)$ (zonder nachtstraf) en L_{em} (met 10 dB(A) nachtstraf) geringer dan voor het gehele bestand bekeken en geven deze maten duidelijker onderscheiden voorspellingen voor de hinder. In het algemeen zouden dus deelsteekproeven geselecteerd worden waarin de correlaties tussen de verschillende geluidmaten zo laag mogelijk zijn. Een tweede weg is het in voldoende detail beschrijven van karakteristieke voorbeelden van verschillende typen geluidssituatie. Het gaat hierbij om uiteenlopende situaties, waarvoor bekend is hoe hun hinderlijkheid verschilt. Bijvoorbeeld, bij gelijk $L_{Aeq}(24h)$ is telkens de bij a genoemde situatie hinderlijker dan die bij b genoemd wordt:

- 1a snelwegverkeer
- 1b typische situatie met lokaal wegverkeer
- 2a lokaal wegverkeer met een hoog percentage vrachtverkeer
- 2b lokaal wegverkeer met een laag percentage vrachtverkeer
- 3a een situatie met lokaal verkeer bij verkeerslichten
- 3b lokaal doorstromend wegverkeer
- 4a lokaal optrekkend wegverkeer
- 4b treinverkeer

Aan de hand van dergelijke situaties kan worden nagegaan welke specificaties van de in het vorige hoofdstuk beschreven maat zulke verschillen in hinder voorspellen.

Voor de samenvatting van de waarden per dag tot een jaarwaarde is het daarnaast van belang om na te gaan of met behulp van een standaard gedragspatroon een schatting van geluidmaten voor de

persoonlijke blootstelling verkregen kan worden en of deze een betere samenhang met de hinder hebben dan maten bepaald voor de expositie aan de meest belaste gevel. Op deze wijze zou tevens inzicht verkregen kunnen worden in de reductie van de persoonlijke belasting door isolatievoorzieningen en daarmee samenhangende reductie van de hinder.

DEEL II: SLAAPVERSTORING

10. ONTWAAKREACTIES DOOR GELUID: DE METHODE VAN GRIEFAHN

Slaapverstoring is te beschouwen als een somatisch, als een functioneel en als een hindereffect. Een veel onderzocht somatisch effect is de invloed op het EEG-patroon. Een functioneel (na)effect is een verminderde taakprestatie. En hindereffecten hebben bijvoorbeeld betrekking op het moeilijk inslapen, het ontwaken en of het 'fitheids'-gevoel bij het wakker worden.

In dit en het volgende hoofdstuk gaan we in op ontwaakreacties, zoals die aan de hand van het EEG worden geregistreerd. Een beperking hiervan is dat ook zonder het optreden van ontwaakreacties de slaapkwaliteit, beoordeeld aan de hand van andere effecten, aangetast kan worden. We richten ons hier op ontwaakreacties omdat daar relatief veel gegevens over beschikbaar zijn en omdat de methode van Griefahn, waar op het moment veel aandacht naar uitgaat, betrekking heeft op ontwaakreacties. In hoofdstuk 13 wordt een andere indicator voor slaapverstoring besproken. Daar wordt de zelfgerapporteerde slaapkwaliteit gerelateerd aan de geluidblootstelling in de nacht.

In paragraaf 10.1 wordt de 10% ontwaakcurve beschreven die Griefahn heeft voorgesteld om de mogelijkheid te beoordelen dat mensen 's nachts wakker worden van geluidgebeurtenissen. Aan de 10% ontwaakcurve ligt een analyse van in de literatuur gerapporteerde gegevens plus een afleidingsprocedure ten grondslag. We zullen deze beide elementen, de data-analyse en de afleiding, afzonderlijk bespreken in paragraaf 10.2 respectievelijk 10.3.

10.1 Griefahn's 10% ontwaakcurve

Griefahn (1990) heeft een curve gepresenteerd die aan zou geven bij welke combinaties van piekniveaus en aantallen gebeurtenissen het aantal ontwaakreacties gelijk is aan 10% van de blootgestelden. We zullen dit kortweg de 10% ontwaakcurve noemen.

De pieken waar het hierbij om gaat zijn pieken in het A-gewogen geluidniveau, gemeten ter plekke van de slapende. Dus in de praktijk gaat het om de niveaus in de slaapkamer. Het is belangrijk het verschil met de hinderstudies op dit punt in het oog te houden. Daar wordt meestal gewerkt met de geluidniveaus buiten, aan de meest belaste gevel.

De curve bestrijkt een gebied van 2 tot 32 gebeurtenissen. Daarnaast wordt in de tekst het niveau gegeven waarbij 1 gebeurtenis gedurende een nacht tot 10% ontwaakreacties leidt.

Om een veiligheidsmarge in te bouwen is de curve niet afgeleid voor de 'gemiddelde' slaaptoestand van een 'gemiddeld' mens, maar voor de REM fase tijdens de slaap van 71-jarigen. Griefahn

veronderstelde dat de wekdrempel in de REM fase lager is dan in andere fases van de slaap en dat 71-jarigen eerder wakker worden van geluid dan jongere mensen.

10.2 De onderzoeksgegevens

De basisgegevens voor het vaststellen van de 10% ontwaakcurve komen uit laboratoriumonderzoeken waarin mensen gedurende hun slaap werden blootgesteld aan geluid. De resultaten zijn overgenomen uit een literatuurstudie van Griefahn, Jansen en Klosterkötter (1976).

Op grond van de gegevens uit diverse onderzoeken is een lineaire relatie vastgesteld tussen het piekniveau en het percentage van de blootgestelden dat daarbij ontwaakt. Dit percentage wordt ten behoeve van het opstellen van de procedure gebruikt als schatting van de kans dat een piekniveau tot ontwaken leidt. Er is hierbij geen onderscheid gemaakt tussen de context waarin een bepaalde gebeurtenis optreedt. Door het percentage zo vast te stellen wordt impliciet de vereenvoudiging ingebracht dat de kansen op ontwaken door afzonderlijke gebeurtenissen onafhankelijk van elkaar zijn. Ten aanzien van de in de analyse betrokken data heeft Hofman (1991) opgemerkt dat de geluidgebeurtenissen in de samengenomen onderzoeken zeer verschillend van aard waren en dat de spreiding rond de door Griefahn gehanteerde rechte lijn zeer groot is. Hofman heeft de gegevens die geen betrekking hadden op passages van vliegtuigen of auto's buiten beschouwing gelaten en aan de overige gegevens, die van voor 1976 waren, recentere toegevoegd. Voor deze bijgestelde verzameling gegevens is de relatie tussen het percentage ontwaakreacties en het piekniveau aanzienlijk beter met een rechte lijn te beschrijven. Volgens deze rechte lijn is het percentage dat ontwaakt bij een bepaald piekniveau groter dan volgens de door Griefahn vastgestelde lijn. Een (gedeeltelijke) verklaring hiervoor is dat Hofman ook de gegevens uit de eerste zes blootgestelde nachten heeft meegenomen terwijl Griefahn deze, in verband met de hogere gevoeligheid tijdens de eerste nachten in een nieuwe situatie, niet in de analyse betrokken had.

Hofman (1991: 100) concludeert dat, vanwege de nog steeds aanzienlijke spreiding in de resultaten, een procedure zoals die door Griefahn is opgesteld moeilijk op deze onderzoeksresultaten gebaseerd kan worden.

10.3 De afleidingsprocedure

Griefahn (1990) stelt dat de door haar vastgestelde lineaire relatie tussen het piekniveau en het percentage dat ontwaakt alleen realistisch is voor percentages ontwaken tussen de 10 en 90%. Deze laatste grens lijkt te hoog gesteld, maar omdat het daarbij, volgens die lineaire relatie, om zeer hoge piekniveaus gaat is dit voor de praktijk minder belangrijk. Hoewel Griefahn stelt dat beneden de 10% de rechte lijn geen betrouwbaar beeld geeft, is die lijn toch tot 0% doorgetrokken. Dit punt wordt bereikt bij een piekwaarde van ongeveer 60 dB(A). Hier gaat de suggestie vanuit dat, gegeven de onzekerheid, dit een redelijke extrapolatie zou kunnen zijn. Op zich kan een dergelijke extrapolatie de beste of eenvoudigste beschrijving zijn. Griefahn heeft deze extrapolatie tussen de 0 en 10% gebruikt bij het opstellen van de 10% ontwaakcurve.

Maar Jansen (1992: 42) heeft er terecht op gewezen dat de resulterende 10% ontwaakcurve impliceert dat de lineaire extrapolatie naar 0% niet correct is. De 10% ontwaakcurve geeft aan dat gebeurtenissen beneden de 60 dB(A) bij 71-jarigen tijdens de REM slaap tot ontwaakreacties kunnen leiden. Dit terwijl volgens de lineaire extrapolatie bij ongeveer 60 dB(A) (en lagere waarden) 0% van de mensen wakker wordt, en dus ook 0% van de 71-jarigen tijdens hun REM slaap (zie ook punt ii hieronder). Het resultaat van Griefahn's afleiding spreekt dus een belangrijk uitgangspunt van die afleiding zelf tegen. Dit geeft aan dat die afleiding onjuistheden of onnauwkeurigheden moet bevatten. De volgende zijn bijvoorbeeld aan te wijzen:

i. De invloed van leeftijd, slaapstadium en aantal gebeurtenissen op het percentage mensen dat ontwaakt, is geanalyseerd zonder te controleren voor de piekniveaus. Omdat het piekniveau een van de belangrijkste determinanten van de kans op ontwaken is, moet hiervoor gecontroleerd worden of is enige aandacht vereist ten aanzien van de vraag of de verdeling van de piekniveaus, bijvoorbeeld bij de verschillende leeftijden, ongeveer gelijk is geweest. Geen van beide is echter gebeurd.

Als bijvoorbeeld in de experimenten met oudere proefpersonen hogere piekniveaus gebruikt zijn, dan zou een leeftijdeffect (gedeeltelijk) veroorzaakt kunnen zijn door dit verschil in piekniveau. Hetzelfde geldt voor aantallen gebeurtenissen. Als in de experimenten met lage aantallen gebeurtenissen hoge piekniveaus gebruikt zouden zijn, dan zou op deze wijze ten onrechte geconcludeerd kunnen worden dat een nacht met weinig gebeurtenissen meer ontwaakreacties oplevert dan een nacht met veel gebeurtenissen.

Twee voorbeelden van consequenties van deze benadering zijn:

- Bij het vaststellen van figuur 1 in Griefahn (1990) is het impliciete uitgangspunt dat de kansen op ontwaken bij de verschillende gebeurtenissen onafhankelijk zijn. Dit betekent dat de curve in figuur 4 in dezelfde publikatie een rechte lijn moet zijn. Het is echter, ook bij benadering, geen rechte lijn.

- Veronderstel dat 100 mensen van 20 jaar in een nacht aan 1 passage met een piekniveau van 85 dB(A) worden blootgesteld. Volgens figuur 1 uit Griefahn (1990) is het de verwachting dat 33 personen wakker worden, volgens figuur 2 zijn dit er 12 en volgens figuur 3 zijn het er 6.
- ii. De wijze waarop voor leeftijd en slaapstadium wordt gecorrigeerd lijkt uit te gaan van de aanname dat de relatie tussen piekniveau en kans op ontwaken voor verschillende leeftijden en voor verschillende slaapstadia met verschillende, parallelle, rechte lijnen beschreven kan worden. Immers, bij een bepaald *verschil* in ontwaakpercentage wordt voor 71-jarigen of voor mensen tijdens hun REM-slaap een *verschil* in piekniveau vastgesteld door gebruik te maken van de lineaire relatie in figuur 1. Deze figuur 1 heeft betrekking op een groep mensen met gemengde leeftijd die in de verschillende slaapstadia zijn blootgesteld. Echter, de veronderstelling van verschillende parallelle rechte lijnen voor deelgroepen is strijdig met de beschrijving van de relatie voor de totale groep in figuur 1 met een rechte lijn. Voor deze groep zou dan immers de kans op ontwaken 0 zijn, terwijl die voor deelpopulaties met een hogere kans op ontwaken (71-jarigen of mensen in de REM slaap) niet 0 is.
- iii. Het is eenvoudig aan te geven hoe de 10% ontwaakcurve vastgesteld moet worden, wanneer we de relatie kennen tussen piekniveau en kans op ontwaken, en als we, net als Griefahn dat gedaan moet hebben, aannemen dat de ontwaakkansen voor verschillende gebeurtenissen tijdens een nacht onafhankelijk van elkaar zijn. (Deze aanname is overigens in het algemeen niet plausibel.) Hoewel het niet met zoveel woorden gezegd wordt, lijkt Griefahn met de 10% ontwaakcurve aan te willen geven bij welke combinaties van aantallen en (constante) piekniveaus het verwachte aantal ontwaakreacties gelijk is aan 10% van de blootgestelden. Omdat meerdere keren dezelfde persoon kan ontwaken is dit niet het zelfde als de curve voor de verwachting dat 10% van de blootgestelden ontwaakt, dat wil zeggen dat 90% niet ontwaakt. Formules voor andere mogelijkheden, zoals een curve voor de combinaties waarbij naar verwachting 10% van de bevolking gedurende de nacht ontwaakt, zijn eveneens eenvoudig af te leiden.

De Q% ontwaakcurve is bepaald door de volgende vergelijking

$$Q = 100 \sum_{i=1}^N p(x_i),$$

waarbij N het aantal gebeurtenissen is met piekniveaus x_i , $i = 1, 2, \dots, N$, en p is de functie die de (geschatte) kans op ontwaken geeft voor de verschillende piekniveaus.

Laten we, om concreet te zijn, uitgaan van de door Griefahn gehanteerde functie p voor de (geschatte) ontwaakkans voor 71-jarigen tijdens de REM-slaap bij piekniveau x:

$$p(x) = (1.32 x - 72.47)/100$$

We beschouwen, net als Griefahn, het speciale geval waarin $Q = 10$ en waarin gebeurtenissen een gelijk piekniveau X hebben. Dan vinden we de volgende formule voor de 10% curve

$$X = [10/(1.32 N)] + 54.9.$$

Griefahn presenteert echter een geheel andere vergelijking voor de 10% ontwaakcurve. Zij gebruikt, naast de vergelijking voor functie p , ook een vergelijking voor de kans op ontwaken bij verschillende aantallen gebeurtenissen. Waarom zij dit doet en wat de gedachte is achter de manier waarop zij beide vergelijkingen combineert is onduidelijk. We kunnen niet anders dan concluderen dat zij een onjuiste vergelijking heeft gepresenteerd.

11. VERGELIJKING VAN DE METHODE VAN GRIEFAHN MET L_{ctm} en B

De zwakke onderbouwing van Griefahn's 10% ontwaakcurve sluit de mogelijkheid niet uit dat de curve desondanks bij benadering correct is. In verband met die mogelijkheid gaan we hier in op de relatie tussen de beoordeling aan de hand van Griefahn's 10% ontwaakcurve en een beoordeling aan de hand van het L_{ctm} of B. Daartoe worden enkele hypothetische situaties bekeken.

Als eerste voorbeeld nemen we een wegverkeerssituatie. We nemen daarvoor alleen de vrachtwagens in de 8 uren periode van 23.00 - 7.00u in beschouwing. Dus geluidmaten en aantallen passages hebben alleen betrekking op vrachtwagens. Veronderstel dat alle vrachtwagens een snelheid hebben van 50 km/h en dat hun geluidemissie 103 dB(A) is. We concretiseren de situatie verder door een aantal specificaties van de situatie toe te voegen zoals een 'zachte' bodem tussen bron en woning en een geluidisolatie voor de slaapkamer van 25 dB(A). Dan kan voor elke afstand tussen een woning en de weg berekend worden wat tijdens een passage het piekniveau en het L_{AX} in de slaapkamer is. Aan de hand van het L_{AX} kan bij elk aantal passages het $L_{Aeq}(23-7u)$ in de slaapkamer berekend worden. Op deze wijze kan dus worden vastgesteld wat voor de verschillende afstanden (met een bepaald bijbehorend L_{Amax} in de slaapkamer) het aantal passages moet zijn om het $L_{Aeq}(23-7u)$ gelijk te houden aan een bepaalde waarde. Figuur 11.1 laat het resultaat van deze berekeningen zien. Er zijn curven getekend voor de combinaties van aantallen en piekniveaus waarbij het $L_{Aeq}(23-7u)$ de waarden 20, 25, 30 respectievelijk 35 dB(A) heeft. Bovendien is in die figuur Griefahn's 10% ontwaakcurve getekend. De figuur laat zien dat een grenswaarde $L_{Aeq}(23-7u) = 20$ dB(A) 'strenger' is dan de door de 10% ontwaakcurve gedefinieerde grens, wanneer er minstens 6 passages zijn. Bij minder passages is de 10% ontwaakcurve wat 'strenger' dan de grens $L_{Aeq}(23-7u) = 20$ dB(A).

Als $L_{Aeq}(nacht) = 20$ dB(A), dan is L_{ctm} minimaal gelijk aan 30 dB(A). Dus de grens $L_{ctm} = 30$ dB(A) is bij meer dan 6 passages 'strenger' dan een grens op basis van de 10% ontwaakcurve, terwijl bij minder passages de 10% ontwaakcurve wat strenger is. Op gelijke wijze is te zien dat de hogere grenswaarde $L_{ctm} = 35$ dB(A) bij weinig passages aanzienlijk minder 'streng' is dan de 10 % ontwaakcurve.

Bij het gegeven voorbeeld kunnen enkele opmerkingen gemaakt worden. De bovengenoemde grenzen ten aanzien van binnenwaarden voor L_{ctm} voor wegverkeer hebben in de Nederlandse wetgeving een bijzondere status. In principe is $L_{ctm} = 50$ dB(A) de wettelijke grenswaarde voor het invallende geluid van wegverkeer aan de meest belaste gevel. Daarnaast is 20 dB(A) de voor een woning minimaal vereiste isolatie. Dit betekent dus, dat een grens van $L_{ctm} = 30$ dB(A) in de bestaande wetgeving is ingebouwd. Het bovenstaande maakt aannemelijk dat daarmee reeds impliciet bij meer dan 6 passages

zwaardere eisen worden gesteld dan met Griefahn's 10% ontwaakcurve gedaan zou worden, althans voor de beschreven situatie. Voor minder dan 6 passages stelt die curve wat zwaardere eisen.

De wetgeving biedt echter voor veel situaties de mogelijkheid voor hogere belastingen aan de buitengevel, maar stelt daarbij dat binnen het L_{etm} onder de 35 dB(A) moet blijven. Zoals we boven hebben gezien, wordt dan ook sterker afgeweken van de eis volgens de 10% ontwaakcurve.

De zeggingskracht van het gegeven voorbeeld hangt af van de mate van representativiteit voor in praktijk voorkomende situaties. In het voorbeeld zijn enkele vereenvoudigende benaderingen verwerkt, zoals een gelijke gevelisolatie voor het piekniveau en L_{AX} . Verder betreft het voorbeeld een gesimplificeerde situatie. Er is bijvoorbeeld geen rekening mee gehouden dat in principe twee vrachtwagens gelijktijdig kunnen passeren wat tot een hogere piek leidt zonder dat het $L_{\text{Aeq}}(23-7u)$ verandert. Belangrijker is waarschijnlijk dat de bijdrage van personenwagens niet in rekening is gebracht. Deze kunnen substantieel bijdragen aan het $L_{\text{Aeq}}(23-7u)$. Maar bij verschillende piekniveaus of een totaal aantal passages boven de 32 is Griefahn's 10% ontwaakcurve niet meer van toepassing, zodat de vergelijking tussen eisen in termen die curve en van het L_{etm} niet gemaakt kan worden.

De representativiteit van het voorbeeld kan verder verkend worden door situaties met andere uitgangsgegevens te bekijken. Dit is niet in extenso gedaan. In figuur 11.2 zijn de resultaten voor één ander voorbeeld gegeven. De wijziging ten opzichte van het eerdere voorbeeld is dat nu aangenomen is dat de vrachtwagens alle met een snelheid van 80 km/h passeren. Men kan aan de hand van dit figuur op dezelfde wijze de vergelijking maken tussen eisen in termen van L_{etm} en een grens op basis van de 10% ontwaakcurve. Bij een betrekkelijk gering aantal passages neemt de relatieve 'strengheid' van eisen in termen van Griefahn's 10% ontwaakcurve ten opzichte van eisen in termen van het L_{etm} toe. Het volgende voorbeeld betreft vliegverkeer en gaat in op de relatie tussen de thans in Nederland voor vliegverkeer gebruikte maat B en de 10% ontwaakcurve volgens Griefahn. Voor de eenvoud bekijken we situaties waarin het piekniveau voor alle overvluchten gelijk is. De relatie van de 10% ontwaakcurve met B is eenvoudig vast te stellen omdat beide gebaseerd zijn op de piekwaarden tijdens een gebeurtenis. In figuur 11.3 is voor twee verschillende situaties de waarde van B *buiten* gegeven als functie van de combinaties van aantallen en piekwaarden die op de 10% ontwaakcurve liggen. Voor de ene situatie is wederom uitgegaan van een isolatie voor de slaapkamer ten opzichte van buiten van 25 dB(A), voor de andere is dit 20 dB(A). Van deze combinaties van aantallen en piekniveaus zijn in de figuur alleen de aantallen vermeld op de horizontale as.

De zoneringsgrens voor luchtvaartgeluid is in de Nederlandse wetgeving vastgesteld op 35 Ke. De figuur laat zien dat, uitgaande van een isolatie van 25 dB(A), beneden de 35 Ke een grens op basis van de 10% ontwaakcurve niet wordt overschreden als er meer dan 5 overvluchten zijn. Bij 5 of

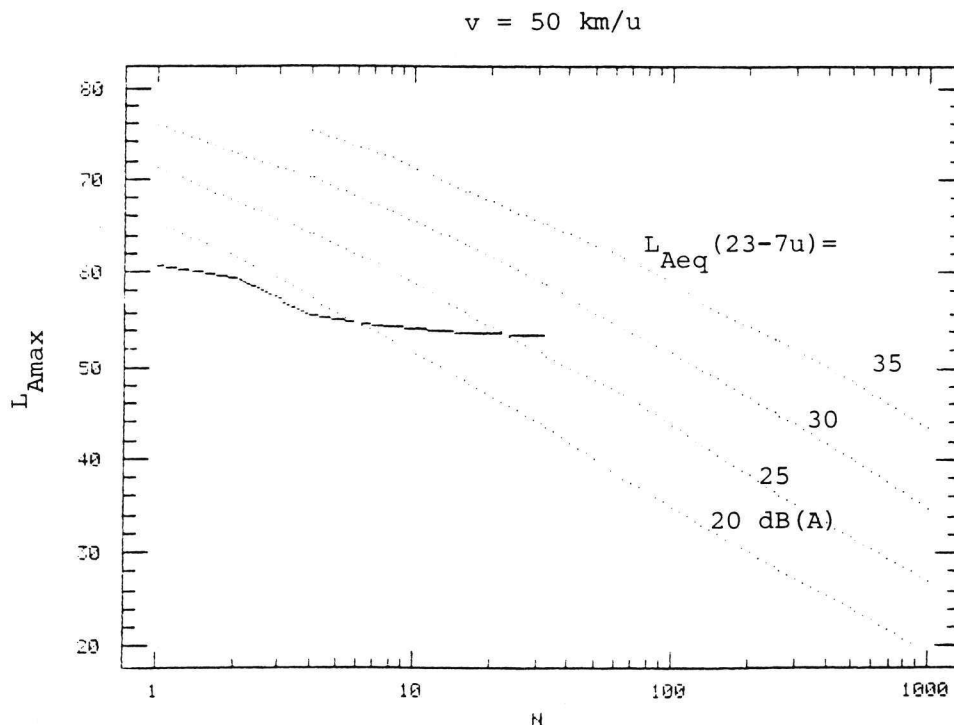
minder overvluchten kan dit wel het geval zijn. Met dezelfde isolatie is een grens van $B = 25$ Ke en, bij meer dan één overvlucht ook $B = 30$ Ke, 'strenger' dan de 10% ontwaakcurve.

Het is bekend dat bij de grenswaarde van $B = 35$ Ke veel meer hinder optreedt dan bij $L_{\text{etm}} = 55$ (of 50) dB(A). Dus de grenswaarde voor vliegverkeer is relatief hoog, met het oog op de geluidhinder. Een evaluatie met Griefahn's 10% ontwaakcurve voegt hier aan toe dat dit in bepaalde gevallen ook zo is met het oog op de kans op ontwakken.

De waarde van B die qua hinder overeenkomt met de hinder van wegverkeer bij $L_{\text{etm}} = 55$ dB(A) is beduidend lager dan $B = 35$ Ke. Bij een consistentere gezondheidskundige normstelling zou dus, met het oog op de hinder en met de grenswaarden voor bijvoorbeeld wegverkeer als uitgangspunt, de grenswaarde voor vliegverkeer lager gesteld worden. Met een grens van $B = 20$ Ke wordt, zoals in figuur 11.3 te zien is, impliciet voldaan aan een normstelling op basis van de 10% ontwaakcurve volgens Griefahn.

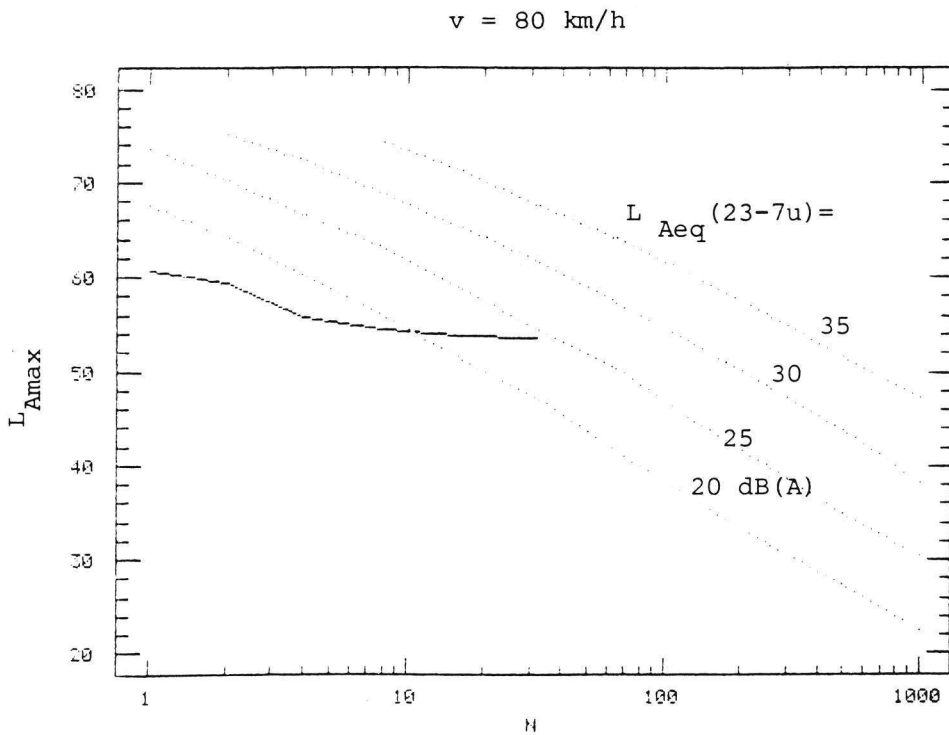
Figuur 11.1.

Curven (gestippeld) voor de combinaties van aantallen (N) en piekniveaus (L_{Amax}) waarbij het $L_{\text{Aeq}}(23-7u)$ de waarden 20, 25, 30 respectievelijk 35 dB(A) heeft. Bovendien is in die figuur Griefahn's 10% ontwaakcurve (doorgetrokken) getekend. De figuur heeft betrekking op vrachtwagens die met een snelheid (v) van 50 km/h passeren.



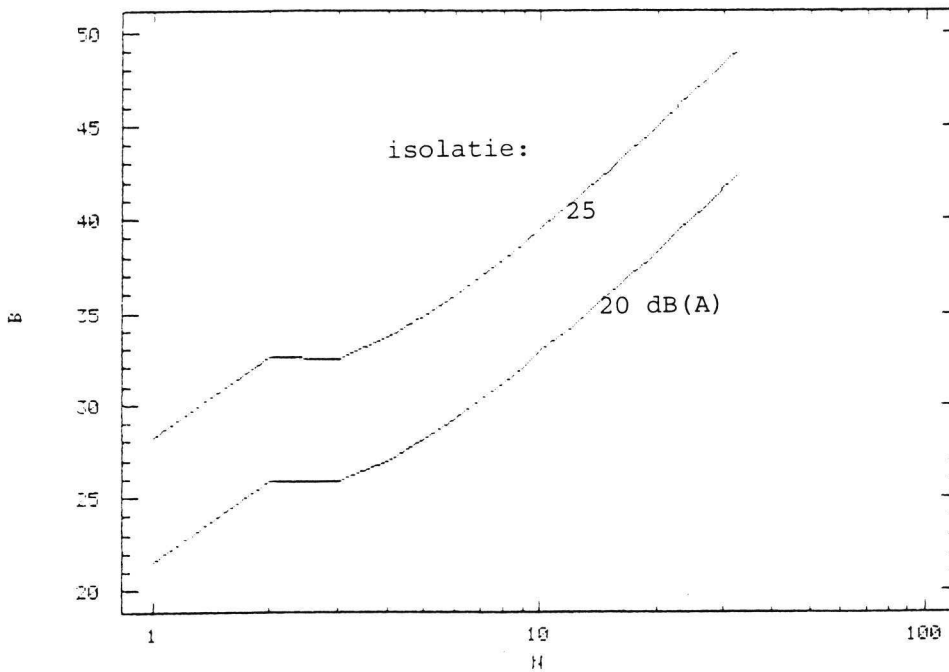
Figuur 11.2.

Curven (gestippeld) voor de combinaties van aantallen (N) en piekniveaus (L_{Amax}) waarbij het $L_{Aeq}(23-7u)$ de waarden 20, 25, 30 respectievelijk 35 dB(A) heeft. Bovendien is in die figuur Griefahn's 10% ontwaakcurve (doorgetrokken) getekend. De figuur heeft betrekking op vrachtwagens die met een snelheid (v) van 80 km/h passeren.



Figuur 11.3.

De waarde van B *buiten*, die bij constante pieken een situatie geeft die op de 10% ontwaakcurve van Griefahn ligt, als functie van het aantal passages. Voor de ene curve is uitgegaan van een isolatie voor de slaapkamer ten opzichte van buiten van 25 dB(A), voor de andere is dit 20 dB(A).



12. ZELF-GERAPPORTEERDE SLAAPKWALITEIT

Voor vermindering van de slaapkwiteit worden diverse indicatoren gehanteerd, zoals een toename van het ontwaken, van de slaaplatenties, van bewegingen tijdens de slaap, van verschuivingen in slaapstadia, en een afname van het fitheidsgevoel na het ontwaken en van taakprestaties op de volgende dag. Als onderdeel van geluidhinderonderzoeken is gevraagd naar de mate waarin de slaap verstoord wordt door het geluid van een bepaalde bron. Er wordt bijvoorbeeld gevraagd hoe vaak men tijdens het slapen of inslapen gestoord wordt door het geluid van een bepaalde bron, en respondenten kunnen dan voor een antwoord kiezen uit 'nooit', 'zelden', 'soms' of 'vaak'. Op deze wijze is veel informatie verzameld over het optreden van slaapverstoringen zoals dat door mensen zelf wordt waargenomen en gerapporteerd.

In de discussie over de normering voor nachtelijk geluid van vliegverkeer is de meeste aandacht gegeven aan informatie over de relatie tussen de blootstelling aan geluid tijdens de slaap en de kans op ontwaken. De zelf-gerapporteerde slaapverstoring heeft nauwelijks een rol gespeeld.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de relatie tussen blootstelling aan geluid tijdens de nacht en zelf-gerapporteerde slaapverstoring. Omdat het hier uitsluitend om zelf-gerapporteerde slaapverstoring gaat, en niet om andere bovengenoemde indicatoren voor slaapverstoring, zullen we de toevoeging 'zelf-gerapporteerd' in het vervolg vaak weglaten.

In paragraaf 12.1 worden de gegevens beschreven, die hier in de analyses betrokken zijn, evenals de methode van analyse. Voor een eerste globale indruk kan die paragraaf worden overgeslagen. In paragraaf 12.2 worden de analyses en de resultaten gepresenteerd. Het hoofdstuk wordt in paragraaf 12.3 afgesloten met enkele opmerkingen over de resultaten.

12.1 Gegevens en methode van analyse

De hier geanalyseerde gegevens met betrekking tot vliegverkeer vormen een deel van een eerder opgebouwd bestand voor diverse verkeersbronnen en voor stationaire bronnen. In Miedema (1992) worden de gegevens beschreven en worden daaruit dosis - respons relaties afgeleid. De aandacht is daarbij vooral gericht op de (niet-specifieke) geluidhinder, terwijl hier de slaapverstoring centraal staat. De gegevens voor vliegverkeer in het bestand komen uit een EG-onderzoek dat in drie landen is uitgevoerd, voor een belangrijk deel op vergelijkbare wijze. Rond Schiphol, Parijs-Orly en de luchthaven van Glasgow werden middels vragenlijsten voor 1758 personen gegevens verzameld over ondermeer slaapverstoring door geluid van vliegtuigpassages. Tevens werden voor deze personen

middels metingen en berekeningen verschillende geluidbelastingsmaten vastgesteld, waaronder het $L_{Aeq}(23-7u)$.

Voor details over de bepaling van het $L_{Aeq}(23-7u)$ wordt verwezen naar Miedema (1992) en de daarin genoemde onderzoeksrapporten. De vragen over slaapverstoring door geluid van vliegtuigen hadden betrekking op het uit de slaap houden in de nacht, het veroorzaken van ontwaken 's morgen en, alleen in de Nederlandse en Franse studie, het veroorzaken dat men 's avonds niet in slaap valt. Als een respondent zei dat vliegtuigpassages een effect veroorzaakte, dan werd ernaar gevraagd hoe hinderlijk dat was. (Werd het effect niet veroorzaakt, dan is dat bij de analyses gelijkgesteld met geen hinder in verband met het desbetreffende effect.) De vragen zijn afzonderlijk gesteld voor de werkdagen en de weekeinden. Dus, in de Britse studie gaat het om 2 (soorten slaapverstoring) x 2 (delen van de week) = 4 vragen naar hinder, in de Nederlandse en Franse om 3 (soorten slaapverstoring) x 2 (delen van de week) = 6 vragen naar hinder. Bij elk van die vragen had men dezelfde vier alternatieven om een antwoord uit te kiezen.

Aan de hindercategorieën zijn scores toegekend (zie voor meer details en een toetsing van de procedure Miedema, 1992). De ondergrens van de eerste categorie is op 0 gesteld, en de bovengrens van de laatste categorie op 100. Bij gelijke categoriebreedtes zijn dan de scores voor het midden van de vier categorieën: 12,5 37,5 62,5 respectievelijk 87,5. De regel die in principe gebruikt wordt om categoriescores vast te stellen is: (score voor categorie i) = $100(i - \frac{1}{2}) / m$, waarbij m het aantal categorieën is en $i = 1, \dots, m$ het rangnummer van een categorie (1 voor de minste hinder, m voor de meeste hinder).

De 4 of 6 scores per respondent die op deze wijze verkregen zijn, zijn als volgt verder samen genomen. Eerst is voor doordeweeks en het weekeinde apart het maximum bepaald voor de antwoorden op de 2 of 3 vragen naar de verschillende vormen van slaapverstoring. Daarna zijn de zo verkregen twee waarden voor doordeweeks respectievelijk het weekeinde gemiddeld. Het resultaat wordt in het vervolg aangeduid als de 'score voor de slaapverstoring'. Voor de overgrote meerderheid, namelijk voor 1629 van de 1758 personen, waren de waarden voor doordeweeks en voor het weekeinde gelijk. Voor 53 personen was de ene waarde hoger, voor 76 de ander.

Ook zijn aan de grenzen tussen hindercategorieën scores toegekend: 25 50 respectievelijk 75. De regel die in principe gebruikt wordt om deze scores vast te stellen is: (score binnengrens i) = $100i/m$, waarbij m het aantal categorieën is en $i = 1, \dots, m-1$ het rangnummer van een grens tussen twee categorieën beginnend bij lage hinder.

Er worden twee methodes gebruikt om de informatie over de combinaties van $L_{Aeq}(23-7u)$ en antwoorden op de vragen samen te vatten. De methodes zijn alternatieve manieren om dezelfde data te verwerken en kunnen naast elkaar gebruikt worden.

De eerste methode gaat uit van de boven beschreven score voor de slaapverstoring. De combinatie van een $L_{Aeq}(23-7u)$ en de score kan worden weergegeven door een punt in het platte vlak. Door dit punt voor elke respondent te tekenen ontstaat een puntenwolk. Er kan een functie gezocht worden, waar de punten 'gemiddeld' het dichtst bij liggen. Een rechte lijn, gevonden met behulp van lineaire regressie, is een voorbeeld van een eenvoudige functie.

De tweede methode gaat uit van de scores voor de grenzen tussen de vier antwoordcategorieën. De dosiswaarden worden samengevoegd in klassen en per klasse wordt het percentage respondenten vastgesteld voor wie de slaapverstoring een bepaalde grens overschrijdt. Percentages verkregen met als grens 28, 50 en 72 worden aangeduid als het percentage dat 'minstens enige slaapverstoring', 'slaapverstoring' respectievelijk 'er(nsti)ge slaapverstoring' ondervindt. Deze grenzen 28 en 72 stemmen niet overeen met de scores voor de grenzen tussen de gebruikte hindercategorieën. Daarom zijn interpolaties uitgevoerd tussen de percentages voor de naastliggende lagere en hogere categoriegrens (25 en 50 respectievelijk 50 en 75). We gaan hier niet in op de details van deze interpolatie noch op enige complicaties die verband houden met het feit dat we hier percentages bepalen op basis van antwoorden op 4 of 6 vragen in plaats van een enkele vraag.

12.2 Resultaten

In figuur 12.1 is de score voor de slaapverstoring weergegeven als functie van het $L_{Aeq}(23-7u)$. De bijbehorende correlatie is 0,28.

De minimum score die een respondent voor de slaapverstoring kan krijgen is 12,5. Dit is voor elke vraag, waar de score voor de slaapverstoring op gebaseerd is, de waarde voor het midden van de onderste categorie (minste verstoring). Het maximum is 87,5 (zie hoofdstuk 2). Daarom zou een waarde rond de 12,5 van de functie in figuur 12.1 duiden op nauwelijks slaapverstoring in de blootgestelde populatie en een waarde rond de 87,5 op ernstige slaapverstoring bij elk individu in de blootgestelde populatie. Extrapolaties naar 0, de ondergrens van de onderste categorie, waarbij rekening gehouden moet worden met een asymmetrische verdeling van de 'ruis' in de scores bij lage exposities, wordt hier niet behandeld.

In figuur 12.2 is het percentage dat 'minstens enige slaapverstoring' (bovenste lijn), 'slaapverstoring' (middelste lijn) respectievelijk 'er(nsti)ge slaapverstoring' (onderste lijn) ondervindt weergegeven als functie van het $L_{Aeq}(23-7u)$.

De correlatie van 0,28 voor de lijn in figuur 12.1 is niet hoog, zeker niet in vergelijking met de correlatie voor de niet-specifieke hinder voor hetzelfde Europese onderzoek. Als met gegevens uit hetzelfde onderzoek vergelijkbare analyses worden uitgevoerd voor de relatie tussen deze hinder en het L_{ctm} dan is de correlatie 0,56. Opvallend is dat voor railverkeer, waar net als bij vliegverkeer sprake is van een beperkt aantal passages met tussenliggende pauzes, de correlatie voor slaapverstoring ook laag is ten opzichte van die voor de niet-specifieke hinder. Voor wegverkeer (snelweg en ander wegverkeer) daarentegen worden correlaties gevonden voor slaapverstoring en voor niet-specifieke hinder gevonden die ongeveer gelijk aan elkaar zijn. De verhoudingen tussen de correlaties, die vermeld zijn in Miedema (1992), zijn:

	correlatie $L_{Aeq}(23-7u)$ met slaapverstoring / correlatie L_{ctm} met niet-spec. hinder	
vliegverkeer	0,28 / 0,56	= 0,50
railverkeer	0,22 / 0,40	= 0,55
wegverkeer	0,44 / 0,46	= 0,96

Dus de correlatie voor vliegverkeer van $L_{Aeq}(23-7u)$ met slaapverstoring is, zowel in absolute zin als ten opzichte correlatie van L_{ctm} met hinder, in de dezelfde orde van grootte als die voor railverkeer maar laag ten opzichte van die voor wegverkeer.

In principe bestaat de mogelijkheid dat met een andere blootstellingsmaat dan $L_{Aeq}(23-7u)$ voor zowel voor wegverkeer als voor vlieg- en railverkeer een hoge correlatie met de slaapverstoring wordt gevonden. Om dit na te gaan zijn aanvullende analyses uitgevoerd.

Met de voor figuur 12.1 en 12.2 gebruikte techniek om de daar weergegeven lijnen vast te stellen, worden onregelmatigheden in het verband (deels) 'gladgestreken'. In figuur 12.3 en 12.4 is dit niet gebeurd. Rond de drie luchthavens bij Amsterdam, Parijs en Glasgow waren in het totaal 13 onderzoeksgebieden onderscheiden, waarbinnen in het onderzoek uitgegaan werd van een gelijke geluidbelasting door het vliegverkeer. Het $L_{Aeq}(23-7u)$ was tussen alle 13 gebieden meer of minder verschillend. Figuur 12.3 is verkregen door per gebied de gemiddelde score voor de slaapverstoring te bepalen, deze als functie van het $L_{Aeq}(23-7u)$ uit te zetten en te verbinden door rechte lijnstukken. De correlatie die dan gevonden wordt is 0,32.

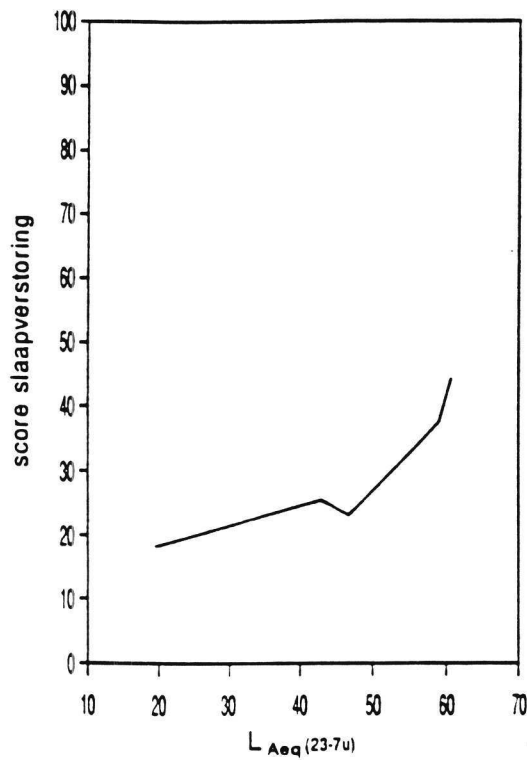
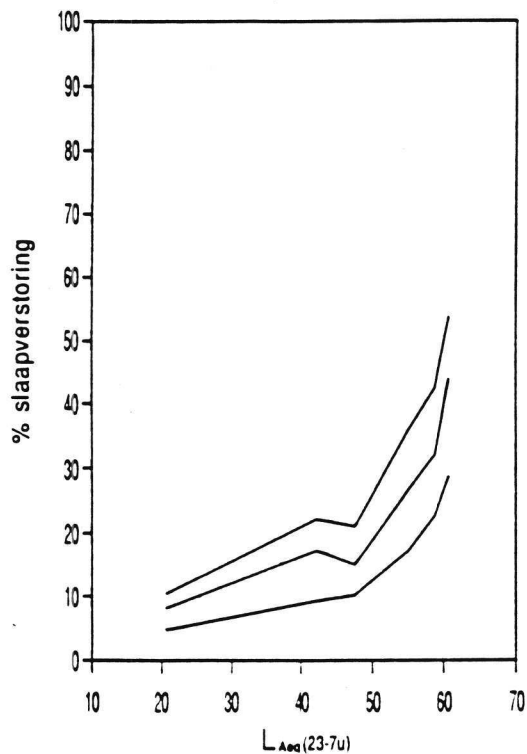
Deze correlatie is voor deze gegevens een bovengrens voor correlaties op individueel niveau van de score voor de slaapverstoring met een dosismaat of een combinatie van dosismaten. Vooropgesteld dat de onderzoeksgebieden inderdaad homogeen waren qua geluidbelasting door vliegtuigen, betreft dit alle dosismaten, dus ook die in feite niet bepaald zijn in de studie. Mogelijk zou er een dosismaat te vinden zijn die monotoon gerelateerd is aan de score voor de slaapverstoring en waarvoor de correlatie hoger is dan de 0,28 voor het $L_{Aeq}(23-7u)$, maar de correlatie kan dus voor de onderhavige respondenten niet boven de 0,32 uitkomen. Dus, de verhouding met de correlatie voor de niet-specifieke hinder blijft beneden de $0,32 / 0,56 = 0,57$, wat laag blijft ten opzichte van de bovenvermelde verhouding van 0,96 voor wegverkeer.

Een verklaring hiervoor is niet direct duidelijk. Het overzicht na figuur 12.3 bevat voor elk onderzoeksgebied een rij met enkele gegevens. Naast het $L_{Aeq}(23-7u)$ staan enkele gegevens over de aantallen passages voor de diverse periodes vermeld evenals het aantal respondenten voor het gebied. Bij de aantallen passages gaat het om gemiddelden voor een maand of langer. Uit de 1e en 2e kolom is eenvoudig het 'gemiddelde' L_{AX} per overvlucht voor de periode 23 - 7u af te leiden. Het kan worden opgemerkt dat het gemiddeld aantal passages tussen 23 - 7u voor geen van de lokaties in het onderhavige onderzoek hoger is dan 12.

In figuur 12.4 is per onderzoeksgebied het percentage dat slaapverstoring rapporteert weergegeven als functie van het $L_{Aeq}(23-7u)$ en zijn deze percentages door rechte lijnstukken verbonden. In verband met de leesbaarheid van de figuur zijn niet zoals in figuur 12.2 drie lijnen, maar twee lijnen gegeven.

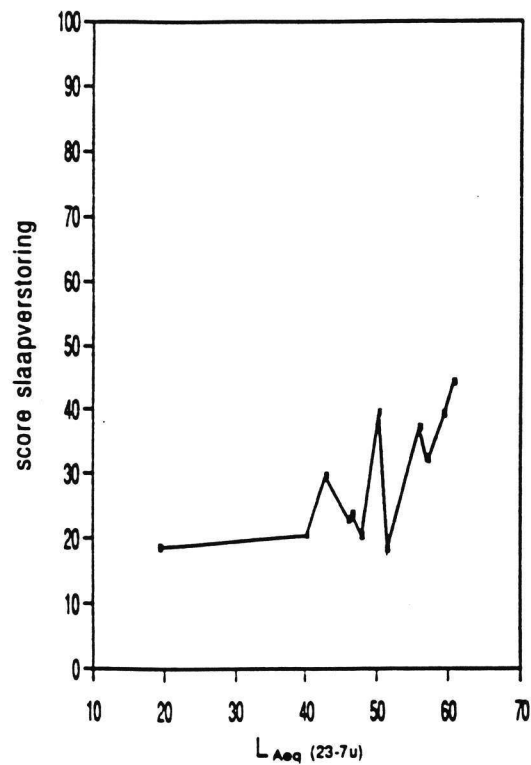
12.3 Enkele opmerkingen

De resultaten laten zien dat in ieder geval vanaf de $L_{Aeq}(23-7u) = 40$ dB(A) slaapverstoring en ook ernstige slaapverstoring voorkomt. Op dit moment is niet precies aan te geven hoe het verband tussen slaapverstoring en $L_{Aeq}(23-7u)$ er precies uitziet. Vooral bij de lagere belastingen is dit moeilijk aan te geven. Dit vereist nadere analyses. Een punt van aandacht hierbij moet ook zijn de verschillende verhoudingen die gevonden zijn tussen de correlatie voor de slaapverstoring met $L_{Aeq}(23-7u)$ en de correlatie van de niet-specifieke hinder met het L_{etm} . Voor vlieg- en railverkeer zijn verhoudingen wat boven de 0,5 gevonden, voor wegverkeer een verhouding van bijna 1. Een verklaring hiervoor kan belangrijk zijn voor de normering van nachtelijk geluid in verband met slaapverstoring.

Figuur 12.1. Vliegverkeer: de score voor de slaapverstoring als functie van $L_{Aeq}(23-7u)$.Figuur 12.2. Vliegverkeer: het percentage blootgestelden dat slaapverstoring rapporteert als functie van $L_{Aeq}(23-7u)$. De bovenste lijn geeft het percentage dat 'minstens enige slaapverstoring', de middelste lijn het percentage 'slaapverstoring', de onderste lijn het percentage 'er(nst)ige slaapverstoring'.

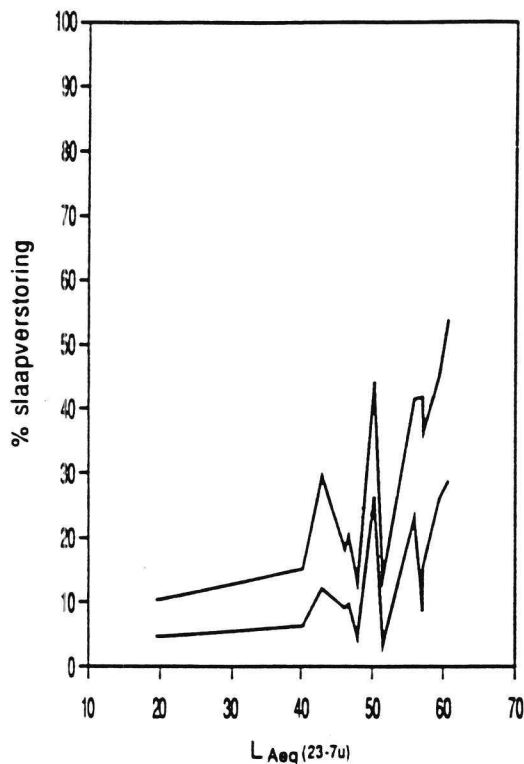
Figuur 12.3. Vliegverkeer: de score voor de slaapverstoring als functie van $L_{Aeq}(23-7u)$.

In het overzicht eronder zijn per waarde van het $L_{Aeq}(23-7u)$ in de figuur nadere gegevens opgenomen over aantallen passages per tijdsperiode en aantallen respondenten voor de gebieden met de desbetreffende belasting door geluid van vliegverkeer.



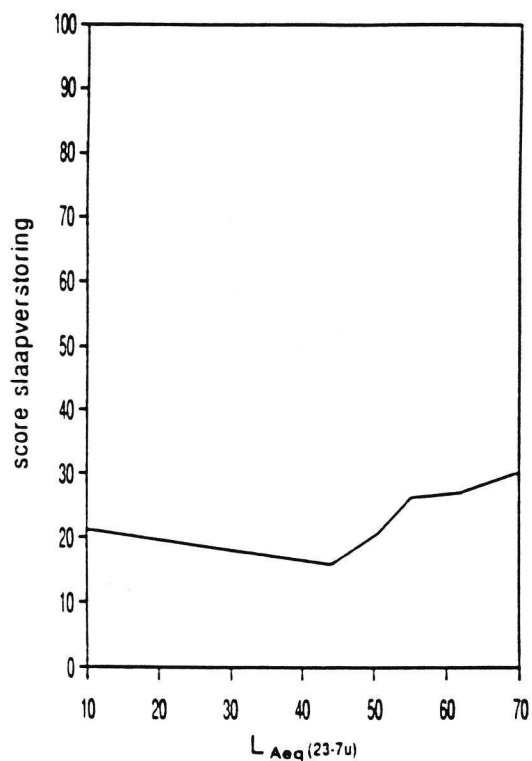
$L_{Aeq}(23-7 \text{ uur})$	N (23-7 u)	N (23-24 u)	N (0-6 u)	N (6-7 u)	Aantal resp.
19,5	1	0	0	1	202
40,2	4,1	0,6	1,1	2,4	100
42,9	5	0	3	2	100
46,1	3	0,6	1,4	1,0	209
46,6	1,4	0,4	0,5	0,5	101
47,9	5	1	2	2	69
50,3	1,4	0,4	0,5	0,5	123
51,5	4,1	0,6	1,1	2,4	97
56,0	4,1	0,6	1,1	2,4	160
57,1	8	1	3	4	35
57,2	4,8	1	2,9	0,9	203
59,4	11,8	2	9	0,8	195
60,7	9	1	3	5	164

Figuur 12.4. Vliegverkeer: blootgestelden dat slaapverstoring rapporteert als functie van $L_{Aeq}(23-7u)$. De bovenste lijn geeft het percentage dat 'minstens enige slaapverstoring', de onderste lijn het percentage 'er(nsti)ge slaapverstoring'. In het overzicht eronder (zelfde als bij figuur 12.3) zijn per waarde van het $L_{Aeq}(23-7u)$ in de figuur nadere gegevens opgenomen over aantallen passages per tijdsperiode en aantallen respondenten voor de gebieden met de desbetreffende belasting door geluid van vliegverkeer.

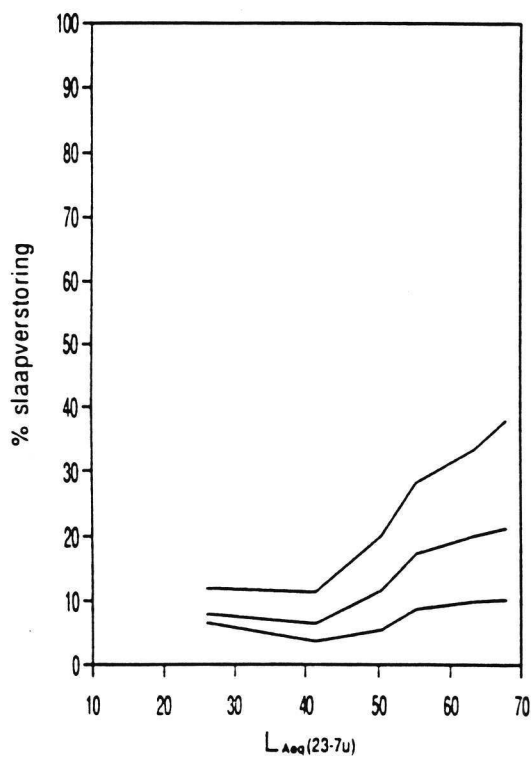


L_{Aeq} (23-7 uur)	N (23-7 u)	N (23-24 u)	N (0-6 u)	N (6-7 u)	Aantal resp.
19,5	1	0	0	1	202
40,2	4,1	0,6	1,1	2,4	100
42,9	5	0	3	2	100
46,1	3	0,6	1,4	1,0	209
46,6	1,4	0,4	0,5	0,5	101
47,9	5	1	2	2	69
50,3	1,4	0,4	0,5	0,5	123
51,5	4,1	0,6	1,1	2,4	97
56,0	4,1	0,6	1,1	2,4	160
57,1	8	1	3	4	35
57,2	4,8	1	2,9	0,9	203
59,4	11,8	2	9	0,8	195
60,7	9	1	3	5	164

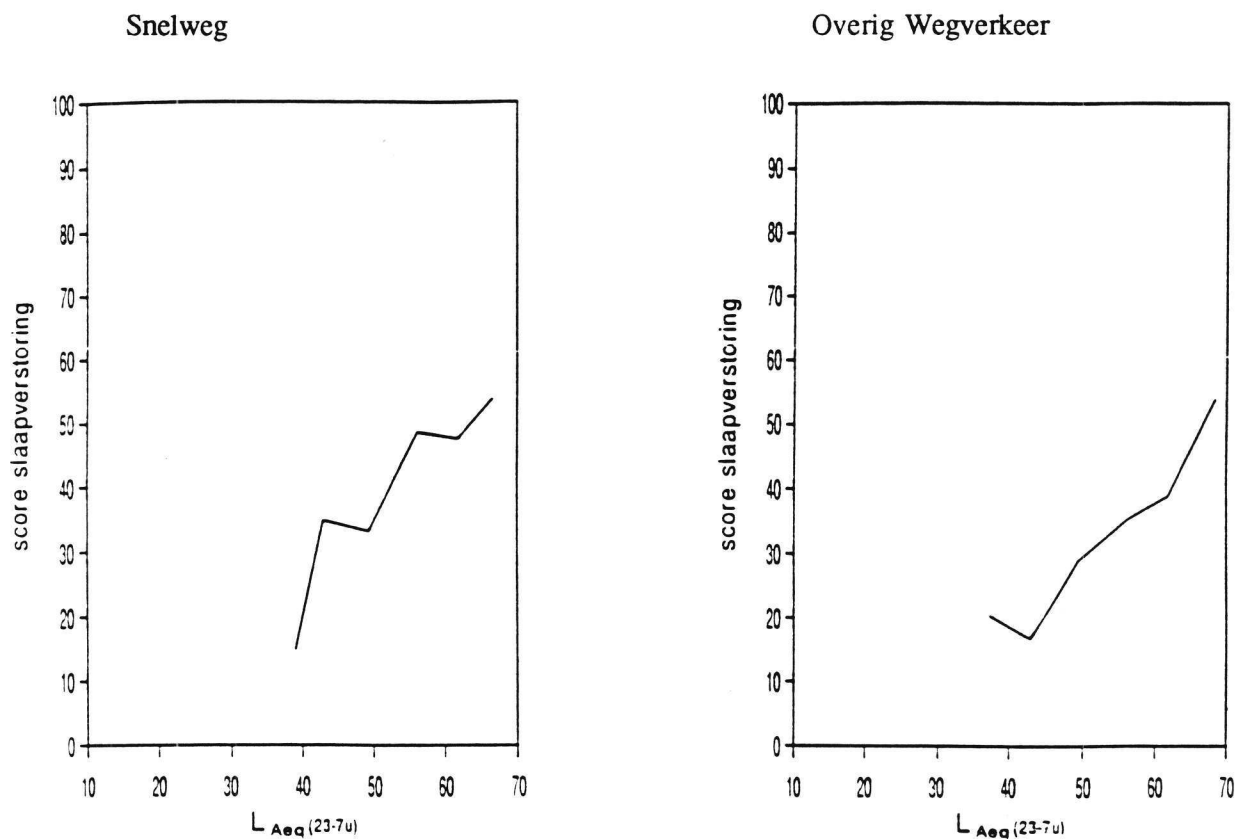
Figuur 12.5. Railverkeer: de score voor de slaapverstoring als functie van $L_{Aeq}(23-7u)$.



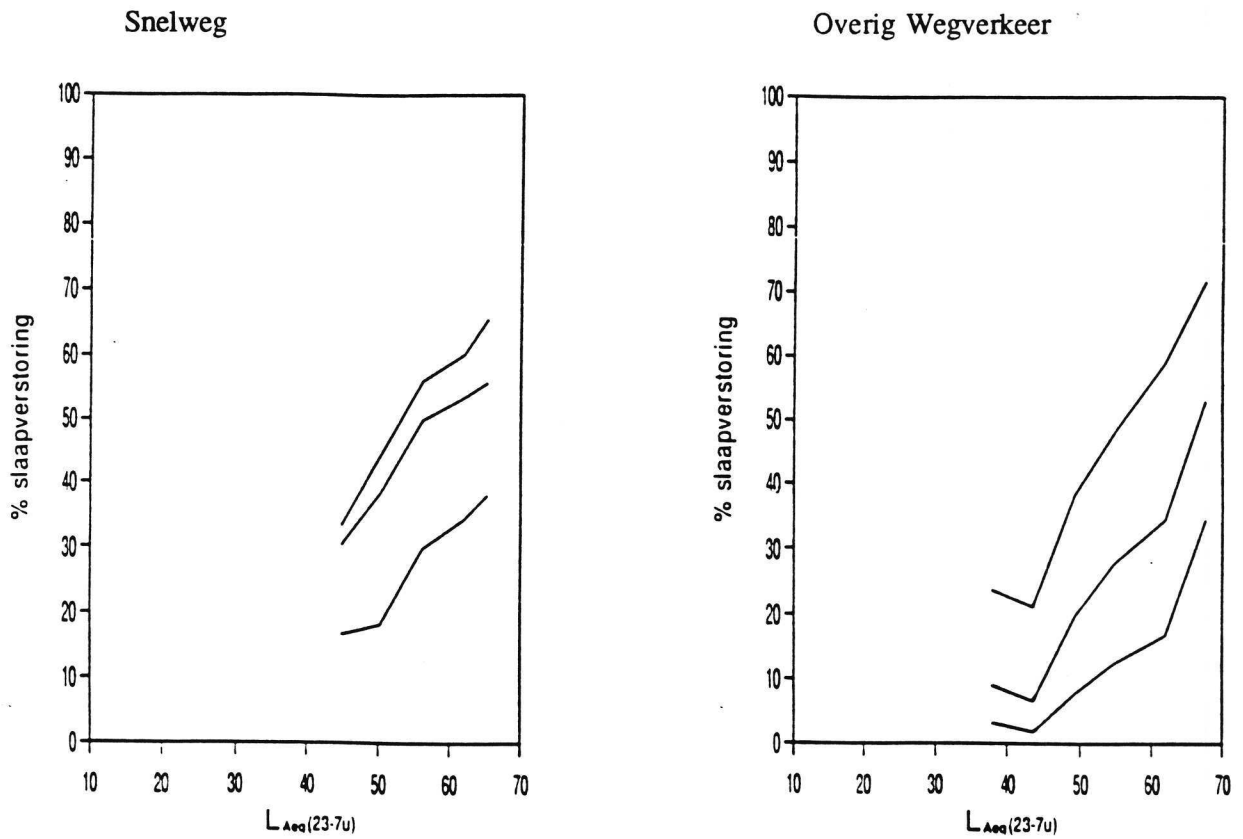
Figuur 12.6. Railverkeer: het percentage blootgestelden dat slaapverstoring rapporteert als functie van $L_{Aeq}(23-7u)$. De bovenste lijn geeft het percentage dat 'minstens enige slaapverstoring', de middelste lijn het percentage 'slaapverstoring', de onderste lijn het percentage 'er(nst)ige slaapverstoring'.



Figuur 12.7. Snelweg- en overig wegverkeer: de score voor de slaapverstoring als functie van $L_{Aeq}(23-7u)$.



Figuur 12.8. Snelweg- en overig wegverkeer: het percentage blootgestelden dat slaapverstoring rapporteert als functie van $L_{Aeq}(23-7u)$. De bovenste lijn geeft het percentage dat 'minstens enige slaapverstoring', de middelste lijn het percentage 'slaapverstoring', de onderste lijn het percentage 'er(nstige slaapverstoring'.



13. CONCLUSIES MET BETREKKING TOT GELUIDMATEN EN SLAAPVERSTORING

Methode van Griefahn

Griefahn heeft op basis van diverse onderzoeken een curve opgesteld voor de relatie tussen ontwaakreacties en geluidblootstelling. Omdat dergelijk werk van groot praktisch belang is, kan de vaststelling van een dergelijke curve rekenen op veel en ook kritische belangstelling. Dit geldt zeker als het, zoals in dit geval, één van de eerste pogingen tot een synthese op een bepaald terrein is. Of het oorspronkelijke voorstel stand houdt of niet, een belangrijke verdienste van een synthese is in ieder geval dat een aanzet wordt gegeven tot de verwerking van vele losstaande feiten tot een bruikbaar resultaat.

Het voorstel van Griefahn blijkt bij nadere bestudering niet stand te kunnen houden. Er zijn twee elementen te onderscheiden in de vaststelling van haar 10% ontwaakcurve: enerzijds de basisgegevens en de analyse daarvan en anderzijds de afleiding daaruit van de curve. In paragraaf 10.2 is aangegeven dat de gebruikte basisgegevens zeer divers waren en slechts zeer ten dele met de door Griefahn gehanteerde rechte lijn gerepresenteerd worden. In paragraaf 10.3 is verder aangegeven dat de gevolgde procedure om de curve af te leiden onjuist is. Samengenomen betekent dit dat de onderbouwing van de door Griefahn gepresenteerde curve zwak is. We gaan kort in op de mogelijkheid een beter onderbouwde Q% ontwaakcurve vast te stellen.

Als we afzien van de leeftijd- en slaapstadiumcorrectie, is de juiste procedure voor het afleiden van een Q% ontwaakcurve eenvoudig aan te geven (zie paragraaf 10.3). Het effect van de daarbij gemaakte, simplificerende aanname dat de kansen op ontwaken bij de verschillende gebeurtenissen in een nacht onafhankelijk zijn, kan onderwerp zijn van verdere studie. Daarnaast hangt de correctheid van de resulterende Q% ontwaakcurve in belangrijke mate af van de beschrijving van de relatie tussen piekniveau en kans op ontwaken. Hofman heeft voor betrekkelijk gelijksoortige geluiden een relatie vastgesteld, die echter, naar haar mening, niet voldoende nauwkeurig is om een Q% ontwaakcurve op te baseren.

Of in de toekomst wel een voldoende nauwkeurige relatie tussen piekniveaus en kans op ontwaken vastgesteld zal kunnen worden, is op dit moment een open vraag. De volgende twee gerelateerde punten kunnen in het bijzonder onderwerp van discussie zijn. Het eerste punt betreft het al dan niet meenemen van de resultaten van de eerste nachten in het laboratorium bij het vaststellen van een relatie. Een reden waarom Griefahn dit niet had gedaan is dat mensen in een nieuwe situatie eerder wakker worden dan in een bekende situatie. Hofman daarentegen heeft de resultaten uit die nachten wel in haar analyses betrokken. Het tweede punt betreft de representativiteit van laboratoriumresultaten, ook na enige nachten gewenning, voor de normale situatie in de eigen slaapkamer.

Hofman en De Jong (1993) stellen geen complete relatie vast tussen het piekniveau en de kans op ontwaken, maar komen tot een karakterisering van twee punten. Op basis van laboratoriumresultaten, inclusief die voor de eerste nachten, stellen zij dat pieken beneden de 35 dB(A), onafhankelijk van de context, niet tot ontwaken leiden, en dat vanaf 55 dB(A) de kans op ontwaken duidelijk toeneemt met het piekniveau.

Er is dus weinig grond voor het gebruik van Griefahn's 10 % ontwaakcurve als basis voor een grenswaardstelling voor nachtelijk geluid. Bij gebruik van B als maat voor de hinder zou de simpelste benadering zijn om het deel uit B voor de nachtperiode te gebruiken als maat voor slaapverstoring. Bij gebruik van L_{etm} of L_{dn} als maat voor de hinder zou het gebruik van een L_{Aeq} voor de nachtperiode als maat voor de slaapverstoring het simpelste zijn. De situatie zou het meest eenvoudig zijn als één grenswaarde in termen van B, L_{etm} of L_{dn} volstaat voor zowel de hinder als de slaapverstoring. Daarop wordt hieronder ingegaan.

B en slaapverstoring

In principe correspondeert een waarde van B met een bepaalde mate van hinder. Het is de vraag of het deel van B voor de nachtperiode een eenduidige relatie heeft met slaapverstoringen tijdens de nacht. We hebben in figuur 11.3 gezien dat B, in vergelijking met de procedure van Griefahn, relatief wat minder bepaald wordt door de luidheid van de passages, maar wat meer door het aantal van die passages. Gezien de overwegingen van Hofman en De Jong (1993) aan het slot van hun rapport over de invloed van het aantal nachtvluchten op de slaap, lijkt de 'trade-off' tussen piekniveau en aantal passages voor wat betreft verstoring door ontwaken in B beter dan in Griefahn's 10% curve. Er is in ieder geval geen reden om aan te nemen dat B, bepaald met alleen de nachtelijke passages, een minder goede samenhang heeft met de slaapverstoring door ontwaken dan onderscheid op basis van Griefahn's 10% ontwaakcurve.

Over de relatieve strengheid van een grenswaarde in termen van B ten opzichte van een grens aan de hand van Griefahn's 10 % ontwaakcurve wordt hieronder nog ingegaan.

De relatie tussen B en de hinder is onderzocht in situaties met verschillende verdelingen van de vluchten over de dag en de nacht. Bij de zoneringsgrens voor vliegverkeersgeluid, $B = 35 \text{ Ke}$, is de hinder aanzienlijk. Ook kan dan, bij minder dan 5 nachtelijke passages met een betrekkelijk hoog niveau, de norm op basis van de 10% ontwaakcurve van Griefahn worden overschreden. Als er meer dan 5 passages in de nacht zijn kan, met een isolatie van 25 dB(A), die norm niet overschreden worden zonder ook de grens $B = 35 \text{ Ke}$ te overschrijden, ongeacht het niveau overdag. Als er ook overdag wordt gevlogen dan zullen, bij een grens $B = 35 \text{ Ke}$, de mogelijkheden voor overschrijding van

Griefahn's 10% ontwaakcurve nog beperkter zijn. Het moet hierbij worden opgemerkt dat een zeer grote meerderheid van de Nederlanders, in het bijzonder in de zomer, met het raam open wil slapen en dat dan geen isolatie van 25 dB(A) gehaald wordt.

De waarde van B voor vliegverkeer, die qua hinder vergelijkbaar is met de zoneringsgrens $L_{\text{ctm}} = 50$ dB(A) voor wegverkeer, ligt aanzienlijk onder de 35 Ke. Bij $B = 20$ Ke is de hinder zeer gering. Uit figuur 11.3 bleek dat dan, bij een isolatie van 20 dB(A), tevens ruimschoots voldaan wordt aan de norm op basis van de 10% ontwaakcurve volgens Griefahn. Dit geldt als de blootstelling overdag nihil is en zeker dus ook als er overdag geluid van vliegtuigen is. Voor een slaapkamer met een gedeeltelijk geopend raam kan, afhankelijk van de exacte situatie, gerekend worden met een isolatie van ongeveer 15 dB(A). Als er in de nacht meer dan 3 passages zijn wordt bij een grens van $B = 20$ Ke ook onder die omstandigheden voldaan aan de Griefahn's 10% ontwaakcurve. Bij minder passages kan een overschrijding ervan plaatsvinden.

Dus, kort samengevat, bij $B = 20$ Ke is de hinder minimaal en wordt, uitgaande van een minimale isolatie van 20 dB(A), altijd aan de norm op basis van Griefahn's 10% curve voldaan, ook als er overdag niet gevlogen wordt. Met een gedeeltelijk geopend raam wordt ook aan de norm op basis van die curve voldaan, als er meer dan 3 passages zijn. Bij een waarde van $B = 35$ Ke is er aanzienlijke hinder maar wordt, met een isolatie van 25 dB(A) en bij meer dan 5 passages, nog steeds aan die norm voldaan. Een probleem is dan wel dat met de ramen dicht geslapen moet worden om die isolatie te kunnen realiseren.

L_{dn} en slaapverstoring

De L_{dn} waarde voor vliegverkeer die qua hinder vergelijkbaar is met de zoneringsgrens $L_{\text{ctm}} = 50$ dB(A) voor wegverkeer ligt onder de 50 dB(A), ongeveer bij 45 dB(A). Bij $L_{\text{dn}} = 45$ dB(A) is de hinder van geluid van vliegverkeer gering. Als $L_{\text{dn}} = 45$ dB(A) dan is het $L_{\text{Aeq}}(23-7)$ maximaal gelijk aan 40 dB(A). Uit figuren 12.1 - 12.4 bleek dat bij een dergelijke belasting in de nacht de zelf-gerapporteerde slaapverstoring gering zal zijn.

Bij hogere L_{dn} waarden voor vliegverkeer is er meer hinder. Tevens kan bij waarden boven de $L_{\text{dn}} = 45$ dB(A) de waarde van het $L_{\text{Aeq}}(23-7)$ hoger zijn dan 40 dB(A). Uit figuren 12.1 - 12.4 blijkt dat de zelf-gerapporteerde slaapverstoring toeneemt als $L_{\text{Aeq}}(23-7)$ toeneemt. Bij een L_{dn} waarde die qua hinder correspondeert met de zoneringsgrens $B = 35$ Ke kan het $L_{\text{Aeq}}(23-7)$ zodanig hoog zijn dat de zelf-gerapporteerde slaapverstoring aanzienlijk is.

14. CONCLUSIES

Er zijn geen aanwijzingen dat een andere *bestaande* maat dan B een betere indicatie geeft van de hinder door het geluid van stijgende en dalende vliegtuigen uit de grote burgerluchtvaart. Op inhoudelijke gronden zijn twee aspecten van B aan te wijzen die waarschijnlijk niet optimaal zijn. Ten eerste wordt in B uitgegaan van het maximum per passage, L_{Amax} , terwijl ook de duur van de passage de hinder beïnvloedt. Ten tweede bestaat de vraag of de straffactoren voor de periodes van een etmaal, die in B gebruikt worden, adequaat zijn afgestemd op de verschillen in gevoeligheid voor geluid tijdens de verschillende etmaalperiodes.

Zoals we hebben gezien is een grenswaarde in termen van B bepaald voor een etmaal waarbij de hinder zeer gering, bij een geluidwering van 20 dB(A), altijd strenger voor het nachtelijk geluid dan een grenswaarde op basis van Griefahn's 10% ontwaakcurve.

Voor een grenswaardstelling kan een streefwaarde voor B vastgelegd worden die in overeenstemming is met een dergelijke, bestaande waarde voor bijvoorbeeld wegverkeer. De waarde van B die overeenkomt met $L_{em} = 50$ dB(A) voor stedelijk wegverkeer ligt aanzienlijk onder de 35 Ke. Bij 20 Ke is de hinder gering en wordt, bij een minimale geluidwering van 20 dB(A), ruimschoots voldaan aan een normering op basis van de 10% ontwaakcurve volgens Griefahn.

Geluidmaten als de onderling zeer verwante L_{dn} (Verenigde Staten), L_{den} (Denemarken) en BKL (Nederland) zijn net als B gebaseerd op het A-gewogen geluidniveau maar gaan niet uit van het L_{Amax} maar het L_{AX} per gebeurtenis. Er is op dit moment onvoldoende basis om te kiezen tussen deze maten of B. Terwijl in B de niet maximale niveaus tijdens een passage te weinig (namelijk geen) invloed hebben, hebben ze bij maten die uitgaan van het L_{AX} waarschijnlijk teveel invloed omdat ze even sterk worden 'gewogen' als het maximum. Verder heeft op maten als het L_{dn} , L_{den} en BKL een verandering van het L_{AX} waarschijnlijk een te grote invloed in verhouding tot een verandering in het aantal passages: het mag verwacht worden dat de hinder meer toeneemt bij een verdubbeling van het aantal passages dan bij een toename van 3 dB(A) van het L_{AX} .

Als een maat zoals het L_{dn} gebruikt zou worden, kan een streefwaarde voor L_{dn} vastgelegd worden die in overeenstemming is met een dergelijke, bestaande waarde voor bijvoorbeeld wegverkeer. De L_{dn} waarde voor vliegverkeer die qua hinder overeenkomt met $L_{em} = 50$ dB(A) voor stedelijk wegverkeer is 45 dB(A). Bij deze waarde is de hinder van vliegverkeer dus gering. Een grens van $L_{dn} = 45$ dB(A) impliceert een grens van $L_{Aeq}(23-7) = 40$ dB(A) voor geluid in de nacht. Afgaande op figuur 12.1 - 12.4 is de zelf-gerapporteerde slaapverstoring onder dergelijke niveaus beperkt.

Dus, voor de formulering van een streefwaarde kan voor hinder en voor slaapverstoring volstaan worden met één maat en met één waarde. Om, bijvoorbeeld in verband met te treffen maatregelen,

nader inzicht te krijgen in verstoring tijdens specifieke dagdelen zoals de nacht, kan de bijdrage van dat dagdeel aan de maat bepaald worden. In het gebied tussen een streefwaarde als $B = 20 \text{ Ke}$ of $L_{dn} = 45 \text{ dB(A)}$ en een maximum toelaatbare waarde voor B of L_{dn} kan voor vliegverkeer, net als voor andere bronnen, een afweging gemaakt worden tussen gezondheidkundige en andere, bijvoorbeeld economische, overwegingen. Kiest men op grond van die andere overwegingen voor het toelaten van hogere geluidbelastingen, boven de streefwaarde, dan betekent dit dat hinder en ook slaapverstoring op kunnen treden. Dit is dan echter niet zozeer een consequentie van de gehanteerde maat, als wel van de keuze van het toelaten van hogere belastingen.

Om tot een nader inzicht te komen over de geluidmaat die bij harmonisatie de in gebruik zijnde maten zou kunnen vervangen, moeten een aantal stappen gezet worden:

- In verband met de harmonisatie van maten voor de verschillende bronnen.

Aan het slot van Deel I is aangegeven welk onderzoek uitgevoerd kan worden om de onzekerheden in de specificatie van een optimale maat verder te reduceren. Dit type onderzoek wordt telkens actueel als voor een broncategorie de vraag gesteld wordt welke maat daarvoor gebruikt moet worden. In Nederland zijn dit momenteel helikopters en in het daarvoor geplande onderzoek zou deze vraag verder behandeld kunnen worden. Een belangrijk punt van onzekerheid dat in vervolgonderzoek ook aan de orde zou moeten komen is de wijze waarop waarden voor het geluid per etmaal gecombineerd moeten worden tot een waarde voor het jaar.

- In verband met de harmonisatie binnen de EG van maten voor geluid van vliegverkeer.

In hoofdstuk 2 is met een boomstructuur een overzicht gegeven van de onderlinge relatie tussen de in Nederland in gebruik zijnde geluidmaten. Dit overzicht zou betrekkelijk eenvoudig uitgebreid kunnen worden met de maten die in de EG gebruikt worden. De boomstructuur geeft dan inzicht in de onderlinge relaties van de in de EG gebruikte maten. Door de boomstructuur van boven naar beneden te doorlopen kan een besluit over een gemeenschappelijke maat in zinvolle deelbeslissingen worden opgedeeld. Het is de verwachting dat daarmee een duidelijker en systematischer discussie bereikt wordt dan wanneer diverse maten als geheel naast elkaar geplaatst worden. Boven bedoelde inzichten over een optimale maat en pragmatische overwegingen kunnen bij elk van de deelbeslissingen worden ingebracht.

- In verband met harmonisatie van maten voor geluidhinder en slaapverstoring.

In Deel I is de relatie van geluidmaten met geluidhinder bestudeerd, in Deel II de relatie met slaapverstoring. Er zijn voor slaapverstoring diverse indicatoren, waarvan hier de kans op ontwakens en de zelf-gerapporteerde slaapkwaliteit beschouwd zijn. De vraag of geluid van vliegverkeer in verband met hinder en met slaapverstoring met één maat voor het etmaal genormeerd kunnen worden

is hier, op basis van de *huidige* kennis, positief beantwoord. Bovendien is gesteld dat daarbij met één streefwaarde volstaan kan worden. De beschikbare kennis laat echter diverse vragen open, zodat nader onderzoek naar slaapverstoring gewenst is. Het gaat daarbij om onderzoek waarin diverse geluidmaten aan diverse indicatoren voor de slaapverstoring worden gerelateerd. Dergelijk onderzoek lijkt goed te passen binnen onderzoekprogramma dat naar verwachting rond Schiphol in het kader van de uitbreiding van de luchthaven uitgevoerd zal gaan worden.

LITERATUUR

- ADVIESCOMMISSIE GELUIDHINDER DOOR VLIEGTUIGEN. Geluidhinder door vliegtuigen. Delft: 1967.
- BAUCH H. Die Bedeutung der Frequenzgruppe für die Lautheit von Klängen. *Acustica* 1956;6:40-5.
- BERANEK, MARSHALL, CUDWORTH, PETERSON. *J Acoust Soc Am* 1951;23:261-9.
- BERGLUND B, BERGLUND U, LINDVALL T. Scaling loudness, noisiness and annoyance of aircraft noise. *J Acoust Soc Am* 1975;57:930-4.
- BERGLUND B, BERGLUND U, PREIS A, RANKIN, K. Does Equal Loudness Mean Equal Annoyance? In: Berglund B, Berglund U, Karlson J, Lindvall T eds. *Noise as a Public Health Problem*. Stockholm: Swedish Council for Building Research, 1988; Volume 3.
- BITTER C. Geluidhinder door vliegtuigen. In: Lammers CJ, et al red. 'Menswetenschappen Vandaag'. Meppel: Boom, 1972:251-68.
- BITTER C. Beleving van geluidwerende voorzieningen tegen vliegtuiglawaai in de woonsituatie. Den Haag: Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, 1980. ICG-rapport LL-HR-14-03.
- ERICZ WJ, NOORDAM A, SCHOONDERBEEK W. Trollicering van buslijn 9 in Arnhem: onderzoek naar de effecten van geluidhinder. Den Haag: Ministerie VROM, 1986. Geluidreeks GA-HR-12-1.
- FASTL H. Methodenvergleich zur Lautheitsbeurteilung. In: Schick A red. *Akustik zwischen Physik und Psychologie*, Stuttgart: Klett-Cotta, 1981.
- FASTL H, MARKUS D, NITSCHKE V. Zur Lautheit und Lästigkeit von Fluglärm. In: *Proceedings of DAGA '85 Bad Honnef*: DPG-Verlag, 1985; 227-30.
- FASTL H, WIDMANN U. Technical note: subjective and physical evaluation of aircraft Noise. *Noise Control Engineering J* 1990;35:61-4.
- FELTDKELLER R, ZWICKER E. *Das Ohr als Nachrichtenempfänger*, Stuttgart: Hirzel, 1956.
- FIELDS JM. The relative effect of noise at different times of day: an analysis of existing survey data. Langley (Virg) : Nasa contractor Report 3965, 1986.
- FLETCHER H. Auditory patterns. *Rev Mod Physics* 1940;12:47-65.
- FLETCHER H. *Speech and hearing in communication*. New York: Van Nostrand, 1953.
- FLETCHER H, MUNSON WA. Loudness, its definition, measurement and calculation. *J Acoust Soc Am* 1933;V:82-106.
- FLETCHER H, MUNSON WA. Relation between loudness and masking. *J Acoust Soc Am* 1937; 9 nr.1:1-11.
- GALLOWAY WJ. Critical issue - military aircraft. In: Berglund B., T. Lindvall: *Noise as a Public Health Problem*. Stockholm: Swedish Council for Building Research 1990; Volume 5.
- GATES BG. Discussion appended to paper by Churcher and King. *J Inst Elec Engineers* 1937;81:85-6.
- GEZONDHEIDSRAAD: Commissie Slaapverstoring en vliegtuiglawaai. *Vliegtuiglawaai en slaap*. Den Haag: Gezondheidsraad, 1991. publikatie 1991/05.
- GRIEFAHN B. Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* 1990;37:7-14.
- GRIEFAHN B, JANSEN G, KLOSTERKÖTTER. Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen : eine Auswertung von Schlaf-Literatur. Berlin: Umwelt Bundes Amt, 1976.
- GRIFFITHS ID, LANGDON FJ, SWAN MA. Subjective effects of traffic noise exposure: Reliability and seasonal effects. *J Sound Vibr* 1980;71(2):227-40.
- HOFMAN WF. *Vliegtuiglawaai, slaap en gezondheid*. Den Haag: Gezondheidsraad 1991. rapport A91/01.
- HOFMAN WF, JONG RG de. De rol van de aantallen passages bij gezondheidseffecten van nachtvluchten. Leiden: NIPG-TNO, 1993. Publ.nr.93.012.
- JANSEN G. Ärztliche Stellungnahme zu Fluglärmbedingten Störwirkungen des Natürlichen Nachtschlafes. Essen: s.n, 1991.
- JONG RG de. De bruikbaarheid van kosten-eenheid en bitter-index voor het bepalen van dosis-effectrelaties bij militaire luchtvaart. Delft: IMG-TNO, 1983. rapport D72.
- JONG RG de. Geluidhinder onder laagvliegroutes in Overijssel. Leiden: NIPG-TNO 1986. Publ.nr. 86024.
- JONG RG de, GROENEVELD Y. Geluidhinder rond militaire vliegvelden: een nieuwe benadering. Delft: IMG-TNO 1983. rapport D77.

- KRYTER KD. The meaning and measurement of perceived noise levels. *Noise control* 1960; 6(5):12-27. addendum: *Noise control* 1961;7(2):48.
- KRYTER KD. Scaling Human Reactions to the Sound From Aircraft. *J Acoust Soc Am* 1964;14 (1):1415-29.
- KRYTER KD. Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. *J Acoust Soc Am* 1982;72:1212-42.
- KRYTER KD. Response of KD Kryter to modified comments by Th J Schultz on KD Kryter's paper "Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise" *J Acoust Soc Am*, 1983;773:1066-8.
- KRYTER KD. The effect of noise on man. New York (etc): Academic Press, 1985.
- KRYTER KD, PEARSON KS. Judged noisiness of a band of random noise containing an audible pure tone. *J Acoust Soc Am* 1965;38:106-12.
- LITTLE JW. Human Response to jet engine noises. *Noise Contr Shock Vib* 1961;7(3):11-3.
- LÜBCKE E, MITTAG G, PORT E. Subjektive und objektive Bewertung von Maschinengeräuschen. *Acustica* 1964;14:105-14.
- MIEDEMA HME. Lawaai op arbeidsplaats. Den Haag: Ministerie VROM, 1984. ICG-rapport LA-DR-08-01.
- MIEDEMA HME. Response functions for environmental noise in residential areas. Leiden: NIPG-TNO, 1992. Publ.nr.92021.
- MIEDEMA HME. Quantification of environmental quality: foundation and application with respect to sound and odour. Leiden: NIPG-TNO, 1993. in voorbereiding als Publ.nr.92022.
- MIEDEMA HME, BERG van den R. Hinder door geluid van tram- en wegverkeer. Den Haag: Ministerie VROM, 1985. Geluidreeks GA-HR-08-04.
- MINTZ F, TYZZER FG. A loudness chart for octave band data on complex sounds. *J Acoust Soc Am* 1952;24:80-2.
- MOORE BCJ. An introduction to the psychology of hearing. Londen: Academic Press, 1982.
- PAULUS E, ZWICKER E. Programme zur automatischen Bestimmung der Lautheit aus Terzpegeln oder Frequenzgruppenpegeln. *Acustica* 1972;27:254-66.
- PEARSONS KS. Assessment of the validity of pure tone corrections to perceived noise level: progress of NASA research relating to noise alleviation of large subsonic jet aircraft. 1968;NASA SP-189:573-86.
- PEETERS AL, DEVENTER FWJ van. Geluidhinder rondom vliegvelden voor de kleine luchtvaart. Den Haag: Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, 1981. ICG-rapport LL-HR-16-03.
- PLOTKEN KJ, SUTHERLAND L, MOLINO J. Environmental noise assesement for military training routes Volume 2: Recommended noise metric. Ohio: Wright-Patterson Air Force Base, 1987. Rap. nr. AAMRL-TR-001.
- ROBINSON DW. Annoyance due to discrete tones in broadband background noise. Southampton: ISVR 1992. Technical Report part II. No. 202
- ROBINSON DW, WRIGHT O. Annoyance due to discrete tones in broadband background noise. Southampton, ISVR 1991. Technical Report Part I. No. 201
- SCHARF B, HELLMAN R. How best to predict human response to noise on the basis of acoustic variables. In: Tobias JV, Jansen G, Dixon Ward W eds. *Proceedings of the Third International Congress on Noise as a Public Health Problem* Rockville: The American Speech-Language Hearing Association, 1980. ASHA Reports 10.
- SCHULTZ THJ. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *J Acoust Soc Am* 1978;64:377-405.
- SCHULTZ THJ. Community noise rating. 2nd ed. London (etc): Applied Science Publishers, 1982.
- SCHULTZ THJ. Comments on KD Kryter's "Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise". *J Acoust Soc Am* 1982;72:1243-52.
- SMOORENBURG GF. Voorlopige evaluatie van de geluidhinder van schietinrichtingen. Leidschendam: Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, 1979. ICG-rapport BG-HR-10-01.
- SPERRY WC. Aircraft Noise Evaluation. Washington D.C.: US Federal Aviation Administration. 1968; Rep FAA-NO-68-34.
- STEVENS SS. The Measurement of loudness. *J Acoustic Soc Am* 1955;27:815-29.
- STEVENS SS. Calculation of the loudness of complex noise. *J Acoustic Soc Am* 1956;28:807-32.
- STEVENS SS. Calculating loudness. *J Acoustic Soc Am* 1957:11-22.

- STEVENS SS. Procedure for calculating loudness: Mark VI. *J Acoustic Soc Am* 1961;33 (11):1577-85.
- STEVENS SS. Power-group transformations under glare, masking and recruitment. *J Acoustic Soc Am* 1965;4:726-35.
- STEVENS SS. Perceived level of noise by Mark VII and Decibels (E). *J Acoust Soc Am*, 1971;51:575-601.
- TERHARDT E. On the perception of spectral information in speech, in: Creutzfeld O, Scheidch H, Schreiner C. *Hearing Mechanisms and Speech*. Berlin: Springer: 281-91. EBBS-Workshop, Göttingen, 1979:26-8.
- US FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Noise standards: aircraft type certification. federal aviation regulations, 1969; Federal Aviation Regulation, Part 36.
- VOS J, GEURTSSEN FWM. Geluidhinder rond onregelmatig gebruikte schietbanen: een studie naar het verwachte effect van verschillende tijdschema's. Soesterberg: IZF-TNO, 1992. Rap. nr IZF 1992 A-13.
- WYK AJ van. A Comparison of measurement methods for assessing human perception of loudness: an international survey. *Acustica* 1981;49:33-46.
- ZWICKER E. Subdivision of the Audible Frequency Range into Critical Bands (Frequenz gruppen). *Journal Acoust Soc Am* 1961;33(2):248.
- ZWICKER E. Der Einfluß der zeitlichen Struktur von Tönen auf die Addition von Teillautheiten. *Acustica* 1969;21:16-25.
- ZWICKER E. Loudness and excitation patterns of strongly frequency modulated tones, in: Moskowitz HR, Scharf B, Stevens JC, red. *Sensation and Measurement: papers in honor of SS Stevens*. SL., S.N. 1974.325-35.
- ZWICKER E. Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds. *J Acoustic Soc Am* 1977;62(3):675-82.
- ZWICKER E. Weniger L_a = Größere Lautstärke? In: *Fortschritte der Akustik*. Berlin: VDE, 1980:159-62.
- ZWICKER E. Psychophysics of hearing. *Noise Pollution. Scope* 24 1986:147-67.
- ZWICKER E, FASTL H. A portable loudness-meter based on ISO 532B. In: *Proceedings of 11th ICA, Paris, 1983*.
- ZWICKER F, FASTL H, DALLMAYZ C. BASIC-Program for calculating the loudness of sounds from their 1/3-octave band spectra according to ISO 532B. *Acustica* 1984;55:63-7.
- ZWICKER E, FELDTKELLER R. Ueber die Lautstärke von gleichformigen Geräuschen. *Acustica* 1955;5:306-16.
- ZWICKER E, STEVENS SS, FLOTTORP G. Critical band width in loudness summation. *J Acoustic Soc Am* 1957;29(5):548-57.
- ZWICKER E, TERHARDT E. Analytical expressions for critical-band rate and critical bandwidth as a function of frequency. *J Acoust Soc Am* 1980;68(5):1523-5.

BIJLAGEN

pagina

BIJLAGE 1: Definities van geluidmaten

81

BIJLAGE 1: DEFINITIES VAN GELUIDMATEN

De volgende definities worden gegeven op een manier die gebruikelijk is in de literatuur. Een excellent overzicht van de meeste hier gedefinieerde maten en vele andere wordt gegeven door Schultz (1982).

(momentane) geluidniveau

Het geluidniveau, L , wordt uitgedrukt in dB and gedefinieerd door:

$$L = 10 \log \sum_i I_i,$$

waar I_i de geluidintensiteit in een frequentie band is, uitgedrukt in 10^{-12} W/m^2 , geïntegreerd over een korte tijdsperiode. De meeste geluidmeters hebben de mogelijkheid te integreren over 100 ms ('fast') en 1 s (slow).

(momentane) A-gewogen geluidniveau

Het A-gewogen geluidniveau, L_A , wordt uitgedrukt in dB(A) en gedefinieerd door:

$$L_A = 10 \log \sum_i A_i I_i,$$

waar I_i de geluidintensiteit in een tert1- of octaafband is, uitgedrukt in 10^{-12} W/m^2 , geïntegreerd over een korte tijdsperiode. De meeste geluidmeters hebben de mogelijkheid te integreren over 100 ms ('fast') en 1 s (slow). De A_i zijn de gestandaardiseerde A gewichten.

totale A-gewogen geluidniveau voor een gebeurtenis

Het A-gewogen geluidniveau voor een gebeurtenis (sound exposure level), L_{AX} or SEL, wordt uitgedrukt in dB(A) en gedefinieerd door:

$$L_{AX} = \text{SEL} = 10 \log \sum_t \text{antilog}[L_A(t)/10],$$

waar $L_A(t)$ het A-gewogen geluidniveau is op tijdstip t gedurende een enkele gebeurtenis.

maximum A-gewogen geluidniveau voor een gebeurtenis

Het maximum A-gewogen geluidniveau, L_{Amax} , wordt uitgedrukt in dB(A). Voor een gebeurtenis wordt het gedefinieerd als het maximum van de A-gewogen geluidniveaus die voorkomen tijdens de gebeurtenis. Merk op dat L_{Amax} bepaald met de meter in stand 'fast' is minstens gelijk maar vaak hoger dan het maximum gevonden met de meter in stand 'slow'.

A-gewogen equivalente geluidniveau voor periode T

Het A-gewogen equivalente niveau voor een periode met een duur T in seconden, $L_{Aeq}(T)$, wordt uitgedrukt in dB(A) en gedefinieerd door:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left\{ \sum_t \text{antilog}[L_A(t)/10] / T \right\},$$

waarin $L_A(t)$ het A-gewogen geluidniveau op tijdstip t binnen de periode van duur T is. Merk op dat:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left\{ \sum_i \text{antilog}[L_{AX,i}/10] / T \right\},$$

waarin $L_{AX,i}$ het A-gewogen 'sound exposure level' is voor gebeurtenis i .

A-gewogen equivalente geluidniveau voor 24 uur en voor een jaar

Het A-gewogen equivalente geluidniveau voor 24 uur, $L_{Aeq}(24h)$, wordt uit bovenstaande definitie verkregen door T gelijk aan $24 \times 60 \times 60 = 86.400$ s te nemen. Voor $L_{Aeq}(\text{jaar})$ is T gelijk aan 365×86.400 s.

A-gewogen dag-(avond)-nacht niveau en gerelateerde maten voor het jaar

Het A-gewogen dag-avond niveau (day-night level), L_{dn} , wordt uitgedrukt in dB(A) en gedefinieerd door:

$$L_{d(e)n} = 10 \log \left\{ \sum_i w_i \times (T_i/T) \times \text{antilog}[L_{Aeq}(T_i)/10] \right\},$$

waarin $L_{Aeq}(T_i)$ het A-gewogen equivalente geluidniveau voor een periode van de dag is met tijdsduur T_i uitgedrukt in seconden en $T = 86.400$ s. De w_i zijn gewichten die afhangen van de periode van het etmaal. Voor het L_{dn} wordt een dag van onderscheiden van 7 tot 22 uur ($w_i = 1$) en een nacht van 22 tot 7 uur ($w_i = 10$). Voor het L_{den} wordt een dag van onderscheiden van 7 tot 19 uur ($w_i = 1$), een avond van 19 tot 22 uur ($w_i = 3.16$) en een nacht van 22 tot 7 uur ($w_i = 10$).

Beide maten voor 24 uur kunnen op eenvoudige wijze aangepast worden tot een maat $L_{d(e)n}(\text{jaar})$ voor het jaar, door voor $L_{Aeq}(T_i)$ het A-gewogen equivalente geluidniveau te nemen voor de combinatie van alle 365 betreffende etmaalperiodes in een jaar. Merk op dat tevens

$$L_{d(e)n}(\text{jaar}) = 10 \log \left\{ \sum_i \text{antilog}[L_{d(e)n,i}/10] / T \right\},$$

waarin het $L_{d(e)n,i}$ het $L_{d(e)n}$ voor etmaal i in een jaar is.

De maat 'B voor de kleine luchtvaart', BKL, wordt uitgedrukt in dB(A) en is gedefinieerd als een alternatieve combinatie van de L_{den} waarden die zich gedurende een jaar voordoen.

etmaalwaarde en een gerelateerde maat voor een jaar

De etmaalwaarde, L_{etm} , wordt uitgedrukt in dB(A) and is gedefinieerd als het maximum van:

$$L_{Aeq}(7 - 19),$$

$$L_{Aeq}(19 - 23) + 5,$$

$$L_{Aeq}(23 - 7) + 10.$$

Voor wegverkeerslawaai wordt L_{ctm} ook wel gedefinieerd als het maximum van de eerste en de laatste waarde, maar hier zullen we alleen van de eerstgenoemde definitie uitgaan. In regelgeving wordt voor een jaar bijvoorbeeld de op 11 na hoogst etmaalwaarde als maat voor het jaar gebruikt.

geluidbelasting in Ke voor 24 uur en voor een jaar

De geluidbelastingsmaat B wordt uitgedrukt in Ke ('Kosten-eenheden', naar voorzitter Kosten van de commissie die deze maat heeft voorgesteld), wordt voor gedefinieerd door:

$$B = 20 \log \left\{ \sum_i w_i \text{antilog}[L_{A_{\text{max},i}}/15] \right\} - C,$$

waarin $L_{A_{\text{max},i}}$ het maximum is van de A-gewogen geluidniveaus tijdens passage i. Voor het toepassen van wettelijke regelingen wordt uitgegaan van A-gewogen geluidniveaus vastgesteld met meterstand 'slow' en wordt B bepaald voor het jaar. Voor een jaar is $C = 157$. Bijvoorbeeld Schultz (1982) definieert B ook voor een etmaal en dan is $C = 106$. In de praktijk worden alleen maxima van minstens 65 dB(A) meegenomen in de bepaling van B. De w_i zijn gewichten die als volgt afhangen van de periode van de dag waarin passage i plaatsvindt:

periode	w_i	periode	w_i
0 - 6	: 10	19 - 20	: 3
6 - 7	: 8	20 - 21	: 4
7 - 8	: 4	21 - 22	: 6
8 - 18	: 1	22 - 23	: 8
18 - 19	: 2	23 - 24	: 10

Reprografie: NIPG-TNO
Projectnummer: 3972