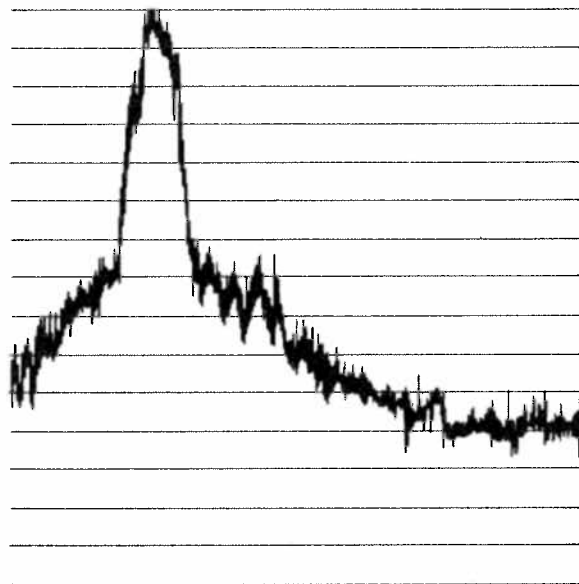


Hinder in de  
woonomgeving  
door cumulatie van  
omgevingsgeluid;  
een literatuurstudie.

Annoyance by  
cumulation of noise  
in living areas, a  
literature study.





# Documentbeschrijving

<b>1 Rapport nr.</b> GA-HR-08-01	<b>6 ISBN nummer</b> 90 346 0452 7	
<b>2 Titel rapport</b> Hinder in de woonomgeving door cumulatie van omgevingsgeluid; een literatuurstudie	<b>7 Distributienummer:</b> 85182/3-85	
	<b>8 Datum publicatie</b> januari 1985	
<b>3 Schrijver(s)/redacteur(s)</b> Drs. H.M.E. Miedema	<b>9 Rapport type en periode</b> Hoofdrapport, november 1984 (D 86)	
<b>4 Uitvoerend instituut</b> IMG-TNO Schoemakerstraat 97 Delft, tel. 015-569330		
<b>5 Opdrachtgever(s)</b> Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer; Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne Postbus 450, 2260 MB Leidschendam	<b>10 Titel onderzoekproject</b> Cumulatie van geluid van verschillende bronnen	
<b>11 Samenvatting</b> <p>In dit rapport worden onderzoeken besproken die in situaties met twee bronnen zijn uitgevoerd. De duidelijkste aanwijzing die uit de resultaten naar voren komt betreft de voorspelling van de totale hinder: als de hinder van beide bronnen sterk verschilt, dan is de totale hinder gelijk aan het maximum van de hinder van elk van beide bronnen. Is het verschil tussen de hinder van beide bronnen klein, dan is de totale hinder groter dan dit maximum. Dit resultaat wordt in een aantal onderzoeken gevonden als per individu de relatie tussen de hinder van samen voorkomende bronnen en de totale hinder wordt bekeken. Het voorgaande zou betekenen dat per situatie het percentage (erg) gehinderden vrijwel altijd hoger is dan het maximum van de (erge) hinderpercentages voor de afzonderlijke bronnen.</p> <p>Verder wordt in dit rapport een model voorgesteld (Model III) om de relatie te beschrijven tussen een geluidbelasting door twee bronnen en de totale geluidhinder die de bronnen opleveren. In dit Model III wordt de totale hinder voorspeld vanuit de geluidsdosis – hindereffectrelaties voor elk van beide samen voorkomende bronnen. Bij de bepaling van de dosis-effectrelaties voor de beide bronnen wordt rekening gehouden met beïnvloeding van de hinder van de ene bron door de aanwezigheid van de andere bron. Twee vormen van beïnvloeding worden onderscheiden: maskering en verandering in hindergevoeligheid.</p>		
<b>12 Begeleidingscommissie</b> ir. M. van den Berg – VROM/DGMH ir. J.A. Bergs – VROM/DGVH drs. R. Braakenburg van Backum – VenW/DGV H.H. Boender – HTM ir. de Haan – GVB ir. Kijlstra – RET C.Th. Mors – VROM/RPD drs. A.L. Peeters – R.U. Utrecht ir. C. van Ruiten – TPD/TNO-TH	<b>13 Bijbehorende rapporten</b> Engelse versie verkrijgbaar  English version available	
	<b>14 Aantal blz.</b> 104	<b>15 Prijs</b> * f 17,50
Rapporten uit de reeksen van het Onderzoekprogramma Geluidhinder zijn verkrijgbaar door vooruitbetaling op postgirorekening 751, t.n.v. het D.O.P. (Distributiecentrum voor Overheidspublicaties), postbus 20014, 2500 EA 's-Gravenhage, onder vermelding van het ISBN nummer en het gewenste aantal exemplaren.		

\* prijswijziging voorbehouden



HINDER IN DE WOONOMGEVING DOOR  
CUMULATIE VAN OMGEVINGSGELUID;  
EEN LITERATUURSTUDIE

Drs. H.M.E. Miedema

Rapport D 86, november 1984

In opdracht van het Ministerie van  
Volkshuisvesting, Ruimtelijke  
Ordening en Milieubeheer



## SAMENVATTING

Dit rapport is het resultaat van een literatuurstudie. De literatuurstudie is de eerste fase van een meeromvattend onderzoek dat is gericht op het vaststellen van de geluidhinder die mensen in hun woonomgeving ondervinden bij belasting door twee bronnen. Het belangrijkste doel van de literatuurstudie is het aangeven van een methode om twee-bronnensituaties te beschrijven, aan de hand waarvan verder onderzoek kan worden uitgevoerd.

In dit rapport worden onderzoeken besproken die in situaties met twee bronnen zijn uitgevoerd. De duidelijkste aanwijzing die uit de resultaten naar voren komt betreft de voorspelling van de totale hinder: als de hinder van beide bronnen sterk verschilt, dan is de totale hinder gelijk aan het maximum van de hinder van elk van beide bronnen. Is het verschil tussen de hinder van beide bronnen klein, dan is de totale hinder groter dan dit maximum. Dit resultaat wordt in een aantal onderzoeken gevonden als per individu de relatie tussen de hinder van samen voorkomende bronnen en de totale hinder wordt bekeken. Het voorgaande zou betekenen dat per situatie het percentage (erg) gehinderden vrijwel altijd hoger is dan het maximum van de (erge) hinderpercentages voor de afzonderlijke bronnen.

Verder wordt in dit rapport een model voorgesteld (Model III) om de relatie te beschrijven tussen een geluidbelasting door twee bronnen en de totale geluidhinder die de bronnen opleveren. In dit Model III wordt de totale hinder voorspeld vanuit de geluiddosis - hindereffectrelaties voor elk van beide samen voorkomende bronnen. Bij de bepaling van de dosis-effectrelaties voor de beide bronnen wordt rekening gehouden met beïnvloeding van de hinder van de ene bron door de aanwezigheid van de andere bron. Twee vormen van beïnvloeding worden onderscheiden: maskering en verandering in hindergevoeligheid.

## SUMMARY

This report is the result of a literature study. This study forms the first phase of a more-extensive investigation directed towards establishing the annoyance experienced by people in their dwelling environment due to noises from two sources. The most important objective of the literature study is the specification of a method of describing dual-source situations, on the basis of which further research can be carried out.

This report describes investigations made into situations with two sources. The clearest outcome of the studies concerns the prediction of the total annoyance: if the annoyances due to each source differ greatly, the total annoyance appears to be equal to the maximum annoyance of each of the two sources. If the difference between the annoyances of the two sources is small, the total annoyance appears to be greater than this maximum. This result was found in a number of investigations when the relationship between the annoyance due to the two sources present and the total annoyance is considered per individual. This could mean that, for each situation, the percentage of persons annoyed or seriously annoyed is almost always higher than the maxima of such percentages for the individual sources.

In addition this report proposes a model (Model III) for describing the relationship between noise from two sources and the total annoyance created by those sources. Model III predicts the total annoyance from the relationships between the noise dose and the annoyance effect for each of the two simultaneously present sources. In determining the dose-effect relationships for both sources the influence on the annoyance from one source due to the presence of the other source is taken into account. Two forms of influence are distinguished: masking and variation in the annoyance sensitivity.



<u>INHOUD</u>	<u>blz.</u>
1. INLEIDING	1
2. RESULTATEN VAN ONDERZOEK IN SITUATIES MET TWEE BRONNEN	3
2.1 De invloed van een continue bron op de hinder van een discontinue bron	3
2.2 De invloed van een discontinue bron op de hinder van een continue bron	11
2.3 De hinder van het totale geluid bij twee bronnen	15
3. MODELLEN VOOR DE BESCHRIJVING VAN DE TOTALE HINDER VAN TWEE BRONNEN	21
3.1 Model I: de totale geluidsdosis als uitgangspunt	21
3.2 Model II: de doses van de afzonderlijke bronnen en parallelle dosis-effectrelaties als uitgangspunt	26
3.3 Model III: de hinder van elk van de samen voorkomende bronnen als uitgangspunt	31
4. MASKERING	47
4.1 Luidheidbepaling volgens het model van Zwicker	50
4.2 Bepaling van gemaskeerde luidheid: een algemenere formulering van Zwickers model	59
4.3 Bepaling van gemaskeerde luidheid: de benadering van Stevens/Powell	61
4.4 Indexen op basis van de Zwicker-sonen	65
5. GERAADPLEEGDE LITERATUUR	67
BIJLAGE: Enige aspecten van een computerprogramma om gemaskeerde luidheid te bepalen	82



## 1. INLEIDING

Zowel de Wet geluidhinder als de gewijzigde Luchtvaartwet bevatten een zoneringsstelsel: in de omgeving van elementen met een grote geluidemissie - wegen, industriecomplexen, luchtvaartterreinen, spoorwegen e.d. - worden geluidzones ingesteld, met bepaalde gevolgen voor enerzijds de bestemming van gronden binnen de zone en anderzijds de geluidemissie van het element in kwestie. Wanneer een geluidgevoelige bestemming wordt blootgesteld aan meer bronnen doen zich enkele vraagpunten voor:

1. Wat zijn de consequenties voor de bestemming op plaatsen die in twee of meer zones liggen?
2. Wat zijn de consequenties voor de bestemming op plaatsen die vlak buiten twee of meer zones liggen?

Of anders gezegd, hoe moet het zoneringsstelsel er uitzien bij meer geluidbronnen.

De Wet geluidhinder biedt door middel van artikel 157 de mogelijkheid om in (sanerings)situaties met meer bronnen aanvullende regelingen te treffen, voorzover de bronnen onder de Wet geluidhinder (en dus niet onder de Luchtvaartwet) vallen. Om dergelijke regelingen te kunnen ontwerpen heeft het Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO (IMG-TNO) opdracht gegeven tot uitvoering van een eerste deel van een meer fasen omvattend onderzoek. Het totale onderzoek is gericht op het vaststellen van de geluidhinder die mensen in hun woonomgeving ondervinden bij belasting door twee bronnen. Situaties met meer dan twee bronnen zijn in verband met hun complexiteit voornamelijk buiten beschouwing gelaten.

De eerste fase van het onderzoek, waarvan de resultaten in het onderhavige rapport zijn weergegeven, bestaat uit een literatuurstudie. Een voorgenomen tweede fase zal (onder meer) bestaan uit een nadere analyse van de gegevens van eerder verrichte geluidhinderonderzoeken. In een derde fase zullen speciaal op de vermelde probleemstelling afgestemde veldonderzoeken worden verricht. Door samenloop van omstandigheden wordt nu reeds, voor fase 2, aan fase 3 gewerkt. Het bleek

namelijk mogelijk om de opzet van een eerder gestart onderzoek naar hinder van geluid van trams aan de hand van de resultaten van deze literatuurstudie zodanig te verruimen dat ook cumulatie-aspecten aan de orde komen. In het reeds gestarte, mede door de Commissie van de Europese Gemeenschap gefinancierde onderzoek naar hinder van vliegen wegverkeersgeluid is het onderzoeken van cumulatie-aspecten een van de doelstellingen.

Het onderhavige rapport bestaat naast deze inleiding uit drie hoofdstukken. In het volgende, tweede hoofdstuk wordt de literatuur besproken waarin gegevens vermeld zijn over geluidhinder bij twee bronnen. Daarbij wordt in de twee eerste paragrafen ingegaan op de hinder van een bron die in combinatie met een andere bron voorkomt. In de derde paragraaf wordt de totale hinder van twee bronnen behandeld. Een handicap bij de bespreking van de literatuur was dat slechts in weinig publikaties resultaten worden gerapporteerd die direct aansluiten bij de onderhavige probleemstelling. In het derde hoofdstuk worden drie 'modellen' besproken om de totale hinder bij meer bronnen te beschrijven. In het model waaraan de voorkeur wordt gegeven speelt maskering een rol. Het laatste, vierde hoofdstuk bestaat geheel uit de beschrijving en bespreking van geluidindexen waarin luidheidreductie door maskering tot uitdrukking komt.

## 2. RESULTATEN VAN ONDERZOEK IN SITUATIES MET TWEE BRONNEN

In dit hoofdstuk worden onderzoeken besproken die betrekking hebben op hinder in situaties met meer bronnen. In de meeste onderzoeken die betrekking hebben op de meer-bronnensituatie is het aantal bronnen beperkt tot twee per onderzoekslocatie. Meestal is wegverkeer daar één van. Het wegverkeerslawaaï in deze onderzoeken is voortdurend in meer of mindere mate aanwezig. Een dergelijke bron zal in dit hoofdstuk aangeduid worden als continue bron. Dit in tegenstelling tot de tweede in de onderzoeken betrokken bron, die alleen bij afzonderlijke gebeurtenissen (overvlucht, passage, schot) te horen is. In dit hoofdstuk zal een bron die met tussenpauzes geluid produceert een discontinue bron worden genoemd.

Dit hoofdstuk bestaat uit drie paragrafen. In de eerste twee paragrafen komt de hinder van afzonderlijke geluidbronnen aan de orde. Eerst wordt ingegaan op de invloed van een continue bron op de hinder van een discontinue bron (2.1). Daarna wordt de invloed van een discontinue bron op de hinder van een continue bron besproken (2.2). In een derde paragraaf (2.3) wordt ingegaan op de totale geluidhinder van een continue en een discontinue bron. Met betrekking tot hinder bij twee continue of bij twee discontinue bronnen is geen literatuur beschikbaar, zodat aan deze situaties geen paragrafen zijn gewijd.

### 2.1 De invloed van een continue bron op de hinder van een discontinue bron

De beschikbare literatuur levert geen eenduidig beeld op met betrekking tot de invloed van een continue bron op de hinder van een discontinue bron. De resultaten van de verschillende onderzoeken worden in deze paragraaf per type discontinue bron besproken.

#### Vliegverkeer als discontinue bron

Bottom (1971) heeft onderzoek verricht bij drie niveaus van geluidbelasting door vliegverkeer (NNI 25, 45 en 60). Voor ieder van de drie niveaus van vliegverkeerslawaaï waren locaties opgenomen, die

verschilden in de belasting door wegverkeerslawaai (32 000 voertuigen/dag , 19 000 voertuigen/dag en alleen toegangsverkeer). Bottom (1971, Figure 2) vond dat de hinder van het vliegverkeerslawaai met toenemend wegverkeerslawaai afneemt. Dit effect bleek onafhankelijk van het niveau van het vliegverkeerslawaai.

Grandjean e.a. (1973a, b) verrichtten een onderzoek op locaties die in verschillende mate aan weg- en vliegverkeerslawaai blootstonden. Voor het gemeten, totale geluid bepaalden zij onder andere het NNI (gerelateerd aan de belasting door vliegverkeerslawaai) en het  $L_{A50}$  (gerelateerd aan de belasting door wegverkeerslawaai). Voor een drietal  $L_{A50}$ -klassen (40-52, 52-60, 60-72 dB(A)) werd nagegaan welk percentage van de bij een open vraag genoemde klachten over de omgeving betrekking had op vliegtuigen of vliegtuiglawaai (Grandjean, 1973b: Figure 4). Het bleek dat dit percentage, bij een bepaalde NNI-waarde, lager is naarmate het  $L_{A50}$  hoger is. Grandjean e.a. trekken hieruit de conclusie dat 'the surrounding noise is relevant to the disturbing effect of aircraft noise' (Grandjean e.a., 1973b: 648). Deze conclusie is op basis van genoemde gegevens echter niet gerechtvaardigd. De afneming van het percentage klachten met betrekking tot vliegtuiglawaai kan immers volledig veroorzaakt zijn door toeneming van de klachten over het wegverkeerslawaai bij een constant klachtenniveau voor vliegverkeer.

In het onderzoek van Grandjean e.a. is tevens nagegaan wat de invloed van het  $L_{A50}$ -niveau is op het percentage erg gehinderden door vliegverkeer, dat vastgesteld werd met een gesloten vraag. Uit een gepresenteerd figuur (Grandjean e.a., 1973a: Darst. 4.27b) blijkt dat als het geluidniveau bij overvluchten hoog is, het percentage erg gehinderden afneemt met stijgend  $L_{A50}$ . Dit geldt echter alleen voor  $L_{A50} < 50$  dBA. Het geluid van een overvlucht is hierbij gekenmerkt met het PNL. Wanneer niet het  $L_{A50}$ , maar het  $L_{A99}$  bekeken wordt (Grandjean e.a., 1973a: Darst. 4.27a) geeft dit een ander beeld. Het percentage erg gehinderden lijkt juist bij lage PNL-waarden af te nemen bij toenemend achtergrondniveau ( $L_{A99}$ ).

Taylor, Hall en Birnie (1980) vinden geen robuust effect van het wegverkeersgeluidniveau op de hinder van vliegverkeersgeluid. Wel constateren zij een trend. De trend is een afneming van de hinder van vliegverkeer bij een toenemend  $L_{Aeq}$  voor het wegverkeer als de geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer laag is (NEF < 25). Bij een hogere belasting door vliegverkeersgeluid (NEF 30-35) is de trend juist omgekeerd: de hinder van vliegverkeer neemt toe met toenemend  $L_{Aeq}$  van het wegverkeer.

Cooper e.a. (1984) rapporteren resultaten die in overeenstemming zijn met die van Taylor, Hall en Birnie. Zij vinden aan de hand van een veldstudie rond de luchthavens van London dat bij een laag niveau voor het vliegverkeer (NNI 35-40) de hinder van het vliegverkeerslawaai lager is bij een hoger achtergrondniveau.

De vraag of de hinder van vliegverkeersgeluid beïnvloed wordt door het wegverkeersgeluidniveau is, behalve in veldstudies, ook in laboratoriumonderzoek aan de orde gekomen. Het resultaat van laboratoriumonderzoek van Powell en Rice (1973) komt overeen met de uitkomst van de bovengenoemde veldstudie van Bottom. In hun experiment gebruikten Powell en Rice drie geluidniveaus voor vliegtuigbewegingen. De respectievelijke  $L_A$  (=  $L_{Aeq}$  ?) waarden voor de vliegtuigbewegingen zijn circa 47, 56 en 64 dB(A). Elk van deze niveaus werd gepresenteerd tegen de achtergrond van elk van drie gemiddelde wegverkeersniveaus: 32, 37 en 46 dB(A). Het bleek dat de gemiddelde hinderscore voor het vliegtuiggeluid lager is als het wegverkeersniveau hoger is. Het verschil in de hinderscore voor vliegtuiggeluid bleek onafhankelijk te zijn van het niveau van de beoordeelde vliegtuigbeweging.

Door Rice en Izumi (1984: Figure 1 en 7) wordt eveneens gevonden dat de hinder van vliegverkeerslawaai geringer is bij een hoog wegverkeersniveau ( $L_{Aeq}$ : 49-56 dB(A)) dan bij een laag wegverkeersniveau ( $L_{Aeq}$ : 35-42 dB(A)).

Door Johnston en Haasz (1978, 1979) is eveneens laboratoriumonderzoek uitgevoerd. Ook in hun onderzoek kregen proefpersonen het geluid van afzonderlijke vliegtuigbewegingen te beoordelen, terwijl tevens wegverkeersgeluid hoorbaar was. De sessies waaruit het experiment bestond waren verdeeld in drie categorieën. De  $L_{Aeq}$ -waarden voor de sessies waren voor de respectievelijke categorieën: 66, 70 en 76 dB(A). De overvluchtduur van de passages (tijd boven het achtergrondniveau) varieerde samen met het sessie- $L_{Aeq}$ . De gehanteerde overvluchttijd/sessie- $L_{Aeq}$  werd gerealiseerd bij de verschillende achtergrondniveaus. De voorkomende achtergrondniveaus waren: circa 47,5; 54,5; 61,5 en 68,5 dB(A). Een constant  $L_{Aeq}$  voor een sessie werd bij verschillende achtergrondniveaus gerealiseerd door het piekniveau van de 6 overvluchten per sessie aan te passen. De uitkomst van het experiment is dat voor een constant piekniveau (in dB(A)) vliegtuigpassages met een duur van 22 of 44 s als minder hinderlijk beoordeeld werden naarmate het achtergrondniveau hoger was. Voor passages met een duur van 88 s is een dergelijke relatie niet gevonden.

#### Railverkeer als discontinue bron

Schümer e.a. (1981, 1983) hebben de hinder van treinlawaai onderzocht op locaties met hoofdzakelijk treinlawaai, locaties met hoofdzakelijk wegverkeerslawaai en locaties waar het  $L_{Aeq}$  (6-22 uur) voor trein- en wegverkeer vrijwel gelijk was. Aan de hand van de gegevens die in de bijlage van het rapport uit 1983 worden gerapporteerd (Band II, A 7.3.1-1) kan een vergelijking gemaakt worden tussen de hinder voor het eerstgenoemde en het laatstgenoemde type locaties. Een dergelijke vergelijking leidt niet tot aanwijzingen dat het wegverkeerslawaainiveau de hinder van treinlawaai beïnvloedt. Deze conclusie geldt zowel als de niet-specifieke hinder wordt vergeleken (variabele 'BEL') als ook wanneer de specifieke hinder wordt beschouwd (variabele 'RT').

In onderzoek van Peeters e.a. (1984) zijn behalve geluidgegevens met betrekking tot treinverkeer ook  $L_{A95}$ -waarden bepaald voor de etmaalperioden dat geen trein passeerde. Bij de analyse van de resultaten bleek dat het  $L_{A95}$ -niveau niet samenhangt met ondervonden specifieke of niet-specifieke hinder van treinlawaai (Peeters e.a.: Tabel 3.1, 9.2 en 9.3).



Aubree (1975) verrichtte in een onderzoek naar hinder van treinlawaai ook geluidmetingen in de etmaalperioden dat geen trein passeerde. Aubree vond dat bij een hoger achtergrondniveau ( $L_{Aeq}$  (24h)) de niet-specifieke en, in mindere mate, de specifieke hinder van treinlawaai hoger was (Aubree, 1975: Tableau 1 et 3). Tevens vond Aubree dat mensen meer gewend waren of verwachtten dat ze zouden wennen aan het spoorweglawaai naarmate het achtergrondniveau hoger was (Aubree, 1975: Tableau 2) (hoger respons criterium onder invloed van een hoger achtergrondniveau of een lagere hindergevoeligheid?!). Een probleem bij de interpretatie van de resultaten van Aubree is dat er op de locaties waar het onderzoek is uitgevoerd mogelijk een verband bestaat tussen de belasting door treinlawaai en de hoogte van het achtergrondniveau. De hogere hinder van treinlawaai bij een hoger achtergrondniveau zou, als het verband bestaat, verklaard kunnen worden vanuit de hogere belasting door treinlawaai.

Door Rylander e.a. (1977) is onderzoek verricht naar geluidhinder door trams. Het bleek dat bij een bepaald aantal trampassages de niet-specifieke hinder op sommige locaties hoger was dan op andere locaties (Rylander e.a., 1977: 357). Een mogelijke verklaring die voor dit verschil wordt gegeven is dat de pieken van de passages op de locaties waar de hinder, bij een gelijk aantal passages hoger is, verder uitkomen boven het achtergrondniveau.

Fields en Walker (1982b: 197-198) verrichtten een onderzoek naar geluidhinder onder de aan treinlawaai blootgestelde bewoners in Groot-Brittannië. Op basis van hun gegevens concluderen zij dat het achtergrondgeluidniveau de hinder van treinlawaai niet beïnvloedt.

#### Impulsgeluidbron als discontinue bron

Buchta e.a. (1983) behandelen in hun rapport over onderzoek met betrekking tot hinder van schietlawaai zijdelings het probleem van de invloed van het achtergrondgeluid. Zij vinden een zwakke trend in de richting van een afnemend van hinder bij toenemend  $L_{Aeq}$  en  $L_{A95}$  van het verkeerslawaai (Buchta e.a., 1983: Abb. 5-15B en C). Tevens vinden zij dat, naast het gemiddelde  $L_{Ax}$  en het aantal schoten per jaar, ook  $L_{A95}$  enige voorspellingskracht heeft ten aanzien van de ondervonden hinder (Buchta e.a., 1983: TAB. 6-2).

Het blijkt verder dat het verschil tussen de gemiddelde  $L_{Ax}$ -waarde en  $L_{A95}$  de hinder redelijk voorspelt (Buchta e.a., 1983: 113-115). Dat het  $L_{Aeq}$  een wat betere voorspelling mogelijk maakt wijst op de afhankelijkheid van de hinder van het aantal schoten en/of de absolute  $L_{Ax}$ -waarden van de schoten.

Op een van de vijf onderzoekslocaties (Schepsdorf) heerste regelmatig een aanzienlijk vliegtuiglawaainiveau (circa 63 dB(A) en circa 51 overvluchten in de periode van 6-22 uur). Op deze locatie vond 84% van de ondervraagden het lawaai van de vliegtuigen hinderlijker dan het schietlawaai. De locatie waar men het, na Schepsdorf, het sterkst eens was met de uitspraak dat vliegtuiglawaai storender is dan het schietlawaai, is Datteln. Opvallend is dat de relatie tussen het  $L_{Aeq}$  voor het schietgeluid en de hinder van schietgeluid juist op deze twee locaties het zwakst is (Buchta e.a., 1983: Abb. 5-5). Bij een relatief hoge belasting door schietlawaai ( $L_{Aeq}$  (1 jaar) 50-60 dB(A)) ligt de hinder op deze twee locaties (ver) onder die op de overige locaties.

Groeneveld e.a. (1984) hebben onderzoek verricht rond impulsgeluidbronnen van verschillende aard (drie schietterreinen, vijf metaalbedrijven, waaronder een scheepswerf en een schrootverwerkingsbedrijf). Bij de analyse van hun gegevens hebben ze aandacht besteed aan de invloed van verkeersgeluid op de relatie tussen het  $L_{Aeq}$  van het impulsgeluid, bepaald over een periode met impulsgeluid, en de hinder van de impulsbron. Voor situaties met een  $L_{Aeq}$  voor verkeersgeluid (bepaald over dezelfde periode als het impulsgeluid)  $\leq 50$  dB(A) en  $> 50$  dB(A) zijn aparte dosiseffectrelaties voor impulsgeluid vastgesteld. Het bleek dat het effect van het achtergrondniveau voor lage en hoge impulsgeluidniveaus verschillend was: voor lage impulsniveaus is de hinder bij een achtergrondniveau  $> 50$  dB(A) geringer dan bij een achtergrondniveau  $\leq 50$  dB(A). Voor impulsgeluidniveaus rond de 55 dB(A) is een dergelijke invloed van het achtergrondniveau niet meer duidelijk aanwijsbaar. Het beschreven resultaat wordt echter gerelativeerd doordat het beschreven beeld niet wordt gevonden als de grens tussen hoog en laag achtergrondniveau bij 55 dB(A) wordt gelegd.

Parallel aan het onderzoek van Groeneveld e.a. hebben Vos en Smoorenburg (1983) een laboratoriumstudie uitgevoerd. Zij lieten proefpersonen impulsgeluid (schietgeluid of geluid van een metaalconstructiewerkplaats) of van korte afstand opgenomen verkeersgeluid horen. De proefpersonen kregen deze geluiden te beoordelen tegen de achtergrond van op grote afstand opgenomen verkeersgeluid. Dit achtergrondgeluid had een  $L_{Aeq}$  van 35 of 55 dB(A). Uit de resultaten blijkt dat de te beoordelen geluiden minder hinderlijk werden gevonden tegen een achtergrond van 55 dB(A) dan wanneer ze aangeboden werden met 35 dB(A) achtergrondgeluid (Vos en Smoorenburg, 1983: Fig. 3a versus Fig. 4a, Fig. 7). Een mogelijke verklaring voor dit effect van het achtergrondniveau is maskering. In overeenstemming met deze verklaring is de in Fig. 7 zichtbare tendens dat de invloed van het achtergrondniveau kleiner wordt naarmate het impulsniveau hoger wordt.

#### Overige bronnen tegen de achtergrond van wegverkeersgeluid

Bij een onderzoek dat in hoofdzaak gericht was op hinder van wegverkeerslawaai hebben Vallet e.a. (1981) ook onderzocht in hoeverre andere bronnen hinderlijk werden gevonden. Bij een vraag konden in het onderzoek betrokken respondenten aangeven of zij alleen van wegverkeer hinder ondervonden, van wegverkeer plus andere bronnen, alleen van andere bronnen, of dat ze in het geheel geen geluidhinder ondervonden. De gegevens van Vallet e.a. (1981: 27-28) laten het verwachte resultaat zien dat de twee laatstgenoemde typen antwoorden minder gegeven worden als het  $L_{Aeq}$  van het wegverkeer hoger is. Interessanter is dat vanaf ongeveer 70 dB(A) de frequentie waarmee het antwoord 'wegverkeer plus andere bronnen' gegeven wordt sterk daalt, terwijl de frequentie waarmee als antwoord 'alleen wegverkeer' gegeven wordt sterk toeneemt. Hoewel er geen inzicht gegeven wordt in het voorkomen van andere bronnen dan wegverkeer bij de verschillende wegverkeerslawaainiveaus is het onwaarschijnlijk dat het beschreven effect geheel verklaard zou kunnen worden door een lager niveau van andere bronnen op locaties waar het wegverkeer voor een  $L_{Aeq} > 70$  dBA zorgt.

Wells (1971) verrichtte een laboratoriumexperiment om de invloed van achtergrondgeluid op de hinder van overige geluiden te onderzoeken. Als achtergrondgeluid gebruikte hij opnamen van verkeersgeluid met

toevallige verdere 'buitengeluiden'. Proefpersonen kregen de te beoordelen geluiden aangeboden tegen een achtergrond met een gemiddeld niveau van 30, 45 of 60 dB(A). De te beoordelen geluiden waren afkomstig van een krachtcentrale met gasturbines, een voor het opstijgen vaartmakend straalvliegtuig, een windtunnel en de verschillende, buitengeplaatste, airconditioningeenheden. Deze geluiden werden aangeboden met een dB(A)-niveau dat 10 of 20 dB boven de respectievelijke achtergrondniveaus lag. Het oordeel dat aan de proefpersonen over deze geluiden werd gevraagd was wat ongebruikelijk. Zij moesten aangeven hoe vaak per jaar het gepresenteerde geluid in hun woonomgeving voor zou moeten komen voordat zij (door middel van een telefoontje of een brief) zouden gaan klagen. Een geluid dat weinig voorkomt, maar wel reden tot een klacht geeft kan als hinderlijk beschouwd worden en vice versa. Uit (extra- of interpolatie van) de resultaten (Wells, 1971: Figure 5) blijkt direct dat bij gelijkblijvende verschil tussen de niveaus van het te beoordelen geluid en het achtergrondgeluid de hinder toeneemt met toenemend niveau van het te beoordelen geluid. Nadere bestudering van de figuur wijst tevens uit dat de hinder bij een constant niveau van het te beoordelen geluid afneemt bij toename van het achtergrondniveau.

Labiale (1983) liet proefpersonen onder andere de hinderlijkheid van vrachtwagenpassages tegen een achtergrond van wegverkeersgeluid beoordelen. Het aantal vrachtwagenpassages per te beoordelen geluidfragment van 30 minuten was 3, 5, 15 of 30. Het  $L_{Aeq}$  van het achtergrondgeluid bij deze passages was 46, 53 of 58,5 dB(A). Bij een bepaald achtergrondniveau was het  $L_{Aeq}$  van het totale geluid voor de verschillende aantallen passages ongeveer constant. Het totale  $L_{Aeq}$  was voor de drie achtergrondniveaus 50, 55 respectievelijk 60 dB(A). Het piekniveau van een vrachtwagenpassage was 69 dB(A) en een passage duurde 17,7 of 19,6 s. Uit de resultaten van het experiment komt naar voren dat de hinder van een bepaald aantal vrachtwagenpassages niet beïnvloed wordt door het achtergrondniveau (Labiale, 1983: Figure 5b).

## Conclusie

Een patroon dat bevredigend verklaard zou kunnen worden door maskering van de discontinue bron is het volgende: bij lage (piek)niveaus van de afzonderlijke gebeurtenissen neemt de hinder van de discontinue bron af als het continue geluid in niveau toeneemt. Bij hoge (piek)niveaus wordt de hinder van de discontinue bron niet beïnvloed door het niveau van de continue bron.

Dit patroon wordt als volgt verklaard door maskering. Stel dat in een onderzoek drie niveaus van continu geluid voorkomen, die bij lage piekwaarden de volgende piek-achtergrondverhoudingen geven: 10, 0, -10 dB. Dan kan de maskering bij -10 dB compleet zijn, terwijl bij 10 dB nauwelijks meer maskering optreedt. Bij hoge piekniveaus, met bijvoorbeeld piek-achtergrondverhoudingen van 35, 25 en 15 dB, kan de maskering bij alle achtergrondniveaus te verwaarlozen zijn.

In een aantal van de besproken studies wordt precies het geschetste patroon gevonden. In de meeste gevallen echter is maskering geen voldoende verklaring voor de geconstateerde invloed van het continue geluid op de hinder van het discontinue geluid\*). Welke verdere factoren de resultaten verklaren is aan de hand van de studies niet te bepalen.

### 2.2 De invloed van een discontinue bron op de hinder van een continue bron

In alle te bespreken onderzoeken is wegverkeer weer de continue bron. De indeling van de bespreking is ook hier gemaakt aan de hand van het type discontinue bron.

---

\*) Aangezien het in de meeste gevallen niet mogelijk is om uit de gehanteerde geluidindexen af te leiden in welke mate de afzonderlijke pieken van het discontinue geluid boven de continue achtergrond uitkomen bestaat er onzekerheid over de te verwachten maskering.

### Vliegverkeer als discontinue bron

Ko (1975, 1976) heeft onderzoek gedaan naar de geluidhinder die brandweerlieden tijdens hun verblijf op het brandweerstation onder- vinden van vliegtuiglawaai. In zijn publikatie uit 1975 vermeldt hij tevens gegevens over hinder van verkeerslawaai. De publikatie uit 1975 heeft betrekking op een onderzoek dat is uitgevoerd in twee brandweerstations. In Station A veroorzaakte het vliegverkeer binnen een NNI van 62; in Station B was de NNI-waarde binnen 40. De  $L_{A10}$ - waarden voor het wegverkeersgeluid waren (voor de periode 7-24 uur) 83 respectievelijk 82 dB(A). Terwijl dit wijst op een overeenkomstige blootstelling aan verkeerslawaai is elke vorm van specifieke hinder ten gevolge van het wegverkeerslawaai op Station A aanzienlijk lager (Ko, 1975: Table 3). Een mogelijke oorzaak van dit verschil is de hogere NNI-waarde voor het vliegverkeerslawaai op Station A.

In het eerder aangehaalde onderzoek van Grandjean e.a. (1973a) blijkt het percentage ondervraagden dat wegverkeerslawaai en ander lawaai als bron van hinder in de omgeving noemt af te nemen met een toene- mende NNI-waarde voor het vliegverkeer (Grandjean e.a., 1973: Darst. 4.23). Aangezien het afnemen van het noemen van wegverkeerslawaai volledig veroorzaakt kan zijn door de toeneming van het noemen van vliegverkeerslawaai is dit resultaat echter van geringe betekenis. Het wijst niet (eenduidig), zoals Grandjean e.a. suggereren, op een vermindering van het belang van het wegverkeerslawaai.

In het onderzoek van McKennel (1963) naar hinder van vliegtuiglawaai worden ook resultaten gepresenteerd met betrekking tot hinder van overige bronnen. Het blijkt dat er geen relatie is tussen de niet- specifieke hinder van vliegtuiglawaai en de specifieke hinder van overige bronnen (McKennel, 1963: Figure 18). Bij een later onderzoek rond dezelfde luchthaven (MIL, 1971) wordt een vergelijkbaar resul- taat gevonden. Het blijkt hier dat de mate waarin ander lawaai dan dat van vliegtuigen genoemd wordt als antwoord op de vraag welke om- gevingsfactoren men negatief waardeert onafhankelijk is van de niet- specifieke hinder van vliegtuiglawaai (MIL, 1971: Figure 5.3). Aan de opmerking dat er aanwijzingen zijn dat een hoger achtergrondniveau de hinder van vliegtuiglawaai doet afnemen kan niet veel gewicht wor-

den toegekend. De opmerking is namelijk gebaseerd op een analyse waarbij het achtergrondniveau geoperationaliseerd wordt als het aantal minuten lopen tot de 'main road' (MIL, 1971: 41).

Hede en Bullen (1982) vinden geen afneming in de hinder van andere geluidbronnen dan vliegverkeer bij een toeneming van de NEF-waarde voor het vliegverkeerslawaai (Hede en Bullen, 1982: Figure 6.7). Er is een zwakke aanwijzing dat wegverkeerslawaai een uitzondering vormt en minder hinder geeft bij een sterkere belasting door vliegverkeer (Hede en Bullen, 1982: Figure 6.7 en 6.6). Uit de laatste figuur blijkt dat het percentage respondenten dat de hoeveelheid wegverkeer als omgevingsconditie met slecht of zeer slecht beoordeelt toeneemt met hogere NEF-waarden. Dit terwijl uit de eerste figuur blijkt dat de hinder van het lawaai van wegverkeer afneemt of gelijk blijft. Deze afneming van de hinder lijkt dus niet te wijten aan een vermindering van de blootstelling aan wegverkeer(slawaaai).

Een probleem met de zojuist besproken onderzoeken is dat geen informatie verzameld is over de mate van blootstelling aan ander geluid dan dat van vliegverkeer. De interpretatie van het verband tussen belasting door vliegtuiglawaai en hinder van andere bronnen wordt hierdoor bemoeilijkt. Het niveau van de andere bronnen kan namelijk een (negatief) verband vertonen met de sterkte van het vliegverkeerslawaai.

Rice en Izumi (1984) vinden in een laboratoriumstudie geen effect van de blootstelling aan vliegtuiglawaai op de beoordeling van wegverkeerslawaai.

#### Railverkeer als discontinue bron

In de vorige paragraaf is onder hetzelfde hoofd als hier onderzoek van Schümer e.a. (1981, 1983) besproken. Daar is de hinder van treinverkeer aan de orde geweest. Hier wordt ingegaan op de hinder van wegverkeer. De locaties die nu interessant zijn om te vergelijken zijn locaties met voornamelijk lawaai van wegverkeer en locaties met een vrijwel gelijke  $L_{Aeq}$  (6-22 uur) voor weg- en treinverkeerslawaai. Een vergelijking van de hinder van wegverkeerslawaai op beide typen

locaties geeft geen indicatie voor invloed van het treinlawaainiveau op deze hinder (zie: Band 11, A-7.3.1-1). Deze conclusie geldt zowel voor de specifieke als voor de niet-specifieke hinder (variabele 'RT' respectievelijk 'BEL').

#### Overige discontinue bronnen

In het eerder beschreven experiment van Labiale (1983) beoordeelden de proefpersonen ook de hinderlijkheid van het achtergrondgeluid. Uit de resultaten blijkt dat de hinder van achtergrondgeluid van constant niveau toeneemt als functie van het aantal vrachtwagenpassages (Labiale, 1983: Figure 5a).

Finke, Guski en Rohrmann (1980) hebben in Hamburg een onderzoek uitgevoerd op locaties met verschillende combinaties van geluidbronnen. Hier interessant zijn de locaties met vrijwel alleen lawaai van wegverkeer en de locatie met zowel lawaai van wegverkeer als lawaai van een andere bron (vliegtuigen, treinen, tram/metro, industrie, werkplaats). Uit vergelijking van gegevens met betrekking tot deze locaties komt de trend naar voren dat specifieke hinder van wegverkeer verminderd wordt door de aanwezigheid van een tweede bron (Finke, Guski en Rohrmann, 1980: 172 en Abb. 7-6). Nadere bestudering van de gegevens leert dat vliegtuiglawaai (of: een bron met een hoog ( $> 70$  dBA)  $L_{Aeq}$  (6-22 uur)) de specifieke hinder van wegverkeer niet vermindert (zie: Finke, Guski en Rohrmann, 1980: Abb. 7-6 en ook Abb. 7-4). (De resultaten met betrekking tot een locatie waar naast het wegverkeer ook een bouwplaats lawaai met zich meebrengt zijn hier, vanwege het bijzonder karakter van de bron, buiten beschouwing gelaten).

#### Conclusie

De besproken resultaten laten niet duidelijk een effect zien van een discontinue bron op de hinder van een continue bron. In een enkel geval is de trend aanwezig dat de hinder van een continue bron afneemt onder invloed van een discontinue bron. Dit verschijnsel kan niet worden verklaard door maskering om de eenvoudige reden dat de discontinue bron een groot deel van de tijd geen geluid produceert. Op mogelijke verklaringen - verandering in hindergevoeligheid en verleg-



ging van het responscriterium onder invloed van een discontinue bron - wordt ingegaan in het volgende hoofdstuk. Eerst echter komt in de volgende paragraaf de totale hinder bij twee bronnen aan de orde.

### 2.3 De hinder van het totale geluid bij twee bronnen

In sommige van de in de vorige twee paragrafen besproken studies worden ook gegevens vermeld over de hinder van het totale geluid. Dergelijke gegevens zijn meestal verkregen met een aan het begin van een enquête gestelde vraag naar hinder van geluid, zonder daarbij een geluidbron te noemen. Als een dergelijke vraag wordt gesteld voordat naar de hinder van aparte bronnen wordt gevraagd neemt de ondervraagde als vanzelfsprekend de totale geluidssituatie in beschouwing.

Voor aanvullende gegevens bij in deze paragraaf besproken studies over bijvoorbeeld de geluidindexen waarmee is gewerkt wordt verwezen naar de vorige twee paragrafen.

#### Vliegverkeer en wegverkeer

Bottom (1971: Figure 3) vindt dat bij een laag lawaainiveau van het vliegverkeer (NNI: 25) de totale hinder hoger is naarmate het wegverkeerslawaai hoger is. Voor een hoog lawaainiveau van het vliegverkeer (NNI: 60) is de totale hinder echter lager naarmate het wegverkeerslawaai hoger is. De totale hinder is vrijwel in alle condities hoger dan de hinder van het vliegverkeer. Alleen bij de combinatie van het laagste vliegverkeersniveau met het laagste wegverkeersniveau is de totale hinder gelijk aan de vliegverkeershinder. Opvallend aan dit resultaat is dat dus ook met een hoog vliegverkeersniveau bij alle drie de wegverkeersniveaus de totale hinder hoger is dan de hinder van vliegverkeer.

Het onderzoek van Grandjean e.a. (1973a, b) bevat gegevens die in overeenstemming zijn met het resultaat van Bottom. Grandjean e.a. gingen na in hoeverre de ondervraagde personen hun omgeving rustig of lawaaiërig vonden. In het onderzoek waren mensen betrokken die rond één van drie luchthavens woonden. De ondervraagden in Basel waren aan een hoger wegverkeerslawaainiveau, maar een lager vliegverkeerslawaai blootgesteld dan de ondervraagden in Zürich (Grandjean, 1973a: Dar-

stelling 3.37). Met betrekking tot het oordeel over lawaai-erigheid van de omgeving werd gevonden dat voor Basel de correlatie met de index voor wegverkeerslawaai het hoogst was (0,40), terwijl voor Zürich de correlatie met de index voor vliegtuiglawaai het hoogst was (0,43) (Grandjean e.a., 1973a: Tab. 4.44). De correlatie met de index voor de niet-overheersende bron was 0,11 respectievelijk 0,14. Ook uit de resultaten van Bottom komt dit patroon naar voren: bij een laag wegverkeersniveau neemt de totale hinder sterker toe als functie van het NNI dan bij een hoog wegverkeerslawaai; en bij een NNI van 25 is er een sterker positief verband van de totale hinder met het wegverkeersniveau dan bij een NNI van 45 of 60. Dus, zowel Bottom als Grandjean e.a. vinden een sterkere positieve samenhang van de totale hinder met de geluidsdosis van één bron naarmate de tweede aanwezige bron zwakker is.

Taylor (1982: 132) vond in overeenstemming met de zojuist vermelde resultaten dat de totale hinder het sterkst correleert met de hinder van de dominante bron. Bovendien vond hij dat de totale hinder gelijk is aan de hinder van het wegverkeerslawaai als het  $L_{Aeq}$  (24 h) hiervan groter is dan dat van vliegverkeer. Als het  $L_{Aeq}$  (24 h) van het wegverkeer kleiner is dan dat van het vliegverkeer ligt de totale hinder tussen de hinder van het weg- en vliegverkeer in.

Cooper e.a. (1984) vonden dat de totale hinder goed te voorspellen was aan de hand van de hinder van de meest hinderlijke bron.

Rice en Izumi (1984) vonden in het laboratorium resultaten die vergelijkbaar zijn met die van Taylor. Zij vonden dat bij een laag wegverkeersniveau ( $L_{Aeq}$  van 35 dB(A)) de totale hinder kleiner is dan de hinder van de hinderlijkste bron (vliegverkeer). Bij andere combinaties van niveaus voor weg- en vliegverkeer volgde de totale hinder het maximum van de hinder van elk van beide bronnen.

Powell (1979a) bestudeerde in het laboratorium de hinder van combinaties van weg- en vliegverkeerslawaai. Hij liet proefpersonen de hinderlijkheid van een 15 minuten durende bandopname horen. Voor een opname werd een wegverkeers- $L_{Aeq}$  van 40, 50 of 60 dB(A) gecombineerd met een vliegverkeers- $L_{Aeq}$  van 40, 50 of 60 dB(A). Tevens werden voor

beide bronnen de genoemde niveaus afzonderlijk beoordeeld. Voor de beoordeling van elk van beide bronnen apart werd ook een niveau van 30 dB(A) gebruikt.

De resultaten van Powell (1979a: Figure 4 en 5) zijn niet eenvoudig te interpreteren. Wanneer enige speculatie niet wordt geschuwd zijn de resultaten als volgt te beschrijven. De totale hinder wordt grotendeels bepaald door de hinderlijkste bron. Als op Figure 5 wordt afgegaan is te zien dat de totale hinder bij een  $L_{Aeq}$  voor het wegverkeer van 60 dB(A) een bepaalde waarde aanneemt, ongeacht of het  $L_{Aeq}$  voor het vliegverkeer 40 of 50 dB(A) is. Evenzo neemt de totale hinder een bepaalde, marginaal lagere, waarde aan voor een vliegverkeers- $L_{Aeq}$  van 60 dB(A) ongeacht of het wegverkeers- $L_{Aeq}$  0, 40 of 50 dB(A) bedraagt. Uit de resultaten blijkt echter ook dat de totale hinder van twee bronnen met een  $L_{Aeq}$  van 60 dB(A) hoger is dan wanneer voor een van beide bronnen het  $L_{Aeq}$  beneden de 60 dB(A) ligt. Hetzelfde geldt voor een  $L_{Aeq}$  van 50 dB(A). Aangezien in het betreffende experiment het vliegtuiglawaai significant, maar bij  $L_{Aeq}$ -waarden van 50 dB(A) slechts in geringe mate, hinderlijker is dan wegverkeerslawaai met gelijke  $L_{Aeq}$  (Powell, 1979a: p. 7 and Figure 3), kan het voorgaande ook anders geformuleerd worden: bij ongeveer gelijke hinder van de bronnen apart is de totale hinder hoger dan de hinder van elk van de afzonderlijke bronnen. Bij een verschillende hinderlijkheid van de bronnen komt de totale hinder overeen met het hinder van de meest hinderlijke bron.

#### Railverkeer en wegverkeer

In het onderzoek van Schümer e.a. (1981, 1983) zijn twee vragen opgenomen die een indicatie geven voor de totale hinder. Dit zijn de vragen naar tevredenheid met 'Ruhigheid' in de omgeving (variabele ZUF6) en naar de hinder door lawaai in de omgeving (variabele LGEST). Aan de hand van de gegevens in de bijlage van het rapport uit 1983 (Band II, A 7.3.1-1) is nagegaan hoe de twee variabelen gerelateerd zijn aan het totale  $L_{Aeq}$  (6-22 uur). Uit deze analyse blijkt dat de totale hinder voor situaties met een vrijwel gelijk  $L_{Aeq}$  voor weg- en railverkeer redelijk overeenkomt met de totale hinder voor situaties waar wegverkeer met eenzelfde  $L_{Aeq}$  overheersend is. Aangezien uit dit en ander onderzoek blijkt dat de hinder van railverkeer lager is dan die van wegverkeer is dus de totale hinder gelijk aan de hinder van de hinderlijkste bron.

### Een impulsgeluidbron en verkeer

Behalve de hinder van impulsgeluid werd door Groeneveld e.a. (1984) ook de hinder van het geluid als totaal onderzocht. De reacties op een vraag naar geluidhinder (zonder een bron te noemen) werden gerelateerd aan de hinder van impulsgeluid en van wegverkeersgeluid. Over het algemeen bleek de totale hinder gelijk te zijn aan de maximale hinder van beide bronnen. Echter, als de hinder van beide bronnen ongeveer gelijk was, bleek de totale hinder hoger te zijn dan het maximum van de hinder van beide bronnen (Groeneveld e.a., 1984). Dit resultaat is in overeenstemming met het besproken resultaat van Powell (1979a).

De uitkomst van de experimenten van Vos en Smoorenburg (1983) versterken het beeld dat uit de studie van Groeneveld e.a. naar voren komt. Zij vinden dat de totale hinder van achtergrond- en impulsgeluid afneemt wanneer het achtergrondniveau 55 dB(A) in plaats van 35 dB(A) is. Bij beide achtergrondniveaus is de totale hinder ongeveer gelijk aan de hinder van alleen het impulsgeluid. Het kan verondersteld worden dat het impulsgeluid bij een hoger achtergrondniveau gedeeltelijk wordt gemaskeerd, waardoor de hinder afneemt. Maar het impulsgeluid blijft de hinderlijkste bron. Dus is de totale hinder gelijk aan de hinder van de hinderlijkste bron.

De voorgaande beschrijving van de resultaten is echter niet compleet. Deze beschrijving geeft het best het resultaat voor schietgeluid weer. Naast twee typen schietgeluid beoordeelden proefpersonen ook impulsgeluid van constructiewerkzaamheden en fluctuerend verkeerslawaai. Voor deze lawaaisoorten werd bij een achtergrond- $L_{Aeq}$  van 55 dB(A) gevonden dat de hinder van dergelijke lawaai lager is dan de totale hinder van het lawaai plus het achtergrondgeluid (Vos en Smoorenburg, 1983: Fig. 4). Aangezien verondersteld kan worden dat bij de voorkomende combinaties van geluidniveaus het constructiegeluid respectievelijk fluctuerend verkeersgeluid hinderlijker is dan het achtergrondgeluid, betekent dit dat de totale hinder hoger is dan de hinder van de hinderlijkste bron.

Vooral bij lagere niveaus van het verkeersgeluid (circa 53 dB(A)) zal de hinder dicht bij die van het bijna constante verkeersgeluid dat de achtergrond vormt liggen. In overeenstemming met wat eerder gevonden is overschrijdt juist in die situatie de totale hinder de hinder van het fluctuerend verkeersgeluid het sterkst.

In het experiment van Labiale (1983) moesten proefpersonen fragmenten van wegverkeersgeluid met de verschillende aantallen vrachtwagenpassages beoordelen. Behalve dat een oordeel over de hinderlijkheid van het achtergrondgeluid en over het aantal vrachtwagenpassages gevraagd werd, werd naar de totale hinderlijkheid van een fragment gevraagd. Uit een vergelijking van de totale hinder met de hinder van het achtergrondgeluid (Labiale, 1983: Figure 2a en 5a) blijkt dat deze vrijwel gelijk aan elkaar zijn. Dat voor sommige combinaties van aantallen passages met achtergrondniveaus de hinder van de passages beneden of boven de hinder van de achtergrond ligt beïnvloedt de totale hinder niet (Labiale, 1983: Figure 2a, 5a and 5b). De totale hinder is vrijwel gelijk aan de hinder van het achtergrondgeluid. Deze uitkomst is dermate in strijd met de bestaande kennis omtrent de invloed van vrachtwagenpassages op de hinder van wegverkeer als totaal, dat enige twijfel rijst ten aanzien van het feit of de proefpersonen van Labiale de instructie voldoende begrepen hebben. (Bijvoorbeeld uit Langdon (1976) blijkt dat de hinder bij een bepaalde  $L_{Aeq}$ -waarde voor het totale wegverkeer hoger is als het percentage zware voertuigen toeneemt. Zie ook Rylander e.a., 1976).

Berglund e.a. (1981) gebruikten in een experiment geluid van wegverkeer, van heiwerkzaamheden en van een drillboor. Voor elk van deze typen geluid werden fragmenten met verschillend geluidniveau gebruikt. Proefpersonen werd gevraagd deze fragmenten op hinderlijkheid of luidheid te beoordelen. Tevens werd een oordeel gevraagd voor paarsgewijze combinaties van de genoemde geluidtypen. De helft van de proefpersonen gaf eerst voor alle geluiden een luidheidsoordeel en daarna voor dezelfde geluiden een hinderlijkheidsoordeel. Voor de andere helft van de proefpersonen was de procedure omgekeerd. De correlatie tussen het luidheid en hinderlijkheidsoordeel bleek 0,99 te zijn. De regressielijn die de hinderlijkheid als functie van de luidheid aangeeft heeft een helling van 1,00 en een intercept van 0,11.

Dus, voor een bepaald geluid zijn de luidheid en de hinderlijkheid, uitgedrukt met de in het onderzoek gebruikte schalen, vrijwel gelijk. De verdere resultaten versterken het beeld dat eerder vorm heeft gekregen. De hinderlijkheid van een combinatie van twee typen geluid komt ongeveer overeen met de hinderlijkheid van het meest hinderlijke geluid (Berglund e.a., 1981: Fig. 4 and Table III). Over het algemeen is de totale hinderlijkheid wat hoger dan die van het meest hinderlijke geluid (Berglund e.a., 1981: 1633). Een hogere totale hinder wordt in het bijzonder gevonden voor combinaties van geluiden met gelijke hinderlijkheid (Berglund e.a., 1981: Fig. 3).

### Conclusie

Het voorgaande bevat enige aanwijzingen voor de veronderstelling dat de totale hinder gelijk is of wat hoger is dan de maximum hinder van de afzonderlijk bronnen. Een wat hogere hinder dan het maximum van de hinder van beide bronnen lijkt op de treden als de hinder van beide bronnen ongeveer gelijk is.

Het tot op heden uitgevoerde hinderonderzoek leidt niet tot duidelijke conclusies over de twee-bronnensituatie. Een belangrijke oorzaak hiervan lijkt het feit dat men in de meeste gevallen geen model hanteert waarin veronderstellingen vervat zijn over de wijze waarop hinder in een twee-bronnensituatie wordt bepaald. In het volgende hoofdstuk worden drie mogelijke modellen gepresenteerd en besproken. Het zal worden geconcludeerd dat een benaderingswijze - Model III - het meest geschikt is om te worden gehanteerd in toekomstig onderzoek.

### 3. MODELLEN VOOR DE BESCHRIJVING VAN DE TOTALE HINDER VAN TWEE BRONNEN

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de relatie tussen kenmerken van het geluid van twee bronnen en de totale hinder van die bronnen. Voor de beschrijving van deze relatie worden in afzonderlijke paragrafen drie modellen gepresenteerd.

Voor een meer-bronnensituatie kan naast de totale geluidhinder ook de hinder van elk van de samen voorkomende bronnen worden onderzocht (zie bijvoorbeeld: Rylander e.a., 1977). In dit hoofdstuk wordt zowel ingegaan op de bron-specifieke hinder als op de totale hinder. Met betrekking tot de bron-specifieke hinder is het belangrijk op de merken dat de hinder van een bron kan worden beïnvloed door de aanwezigheid van andere bronnen. Is dat inderdaad het geval dan is de bron-specifieke hinder in een meer-bronnensituatie dus niet gelijk aan de hinder van de betreffende bron als die alleen voorkomt. Om een duidelijk onderscheid te maken tussen de hinder van een bron als die naast andere bronnen voorkomt en de \*hinder van dezelfde bron wanneer die alleen voorkomt wordt in het tweede geval de aanduiding \*hinder gebruikt. Dus hinder duidt op hinder die kan zijn beïnvloed door de aanwezigheid van andere bronnen. Bij de \*hinder van een alleen voorkomende bron wordt een \* gebruikt.

#### 3.1 Model I: De totale geluidsdosis als uitgangspunt

Een geluidssituatie met twee bronnen kan het eenvoudigst beschreven worden door geen onderscheid te maken tussen de geluidbijdragen van de afzonderlijke bronnen. Bij een dergelijke benadering kan voor het totale geluid bijvoorbeeld het  $L_{Aeq}$  bepaald worden, en kan getracht worden deze index te relateren aan hinderreacties.

Deze benadering houdt in dat voor een situatie met twee bronnen wordt verondersteld dat de totale hinder nauwelijks hoger is dan de \*hinder van de bron met het hoogste niveau. Het totale  $L_{Aeq}$  ligt immers maximaal slechts 3 dB hoger dan dat van de bron met het hoogste  $L_{Aeq}$ . Deze maximale verhoging van 3 dB wordt gerealiseerd als het  $L_{Aeq}$  van de afzonderlijke bronnen gelijk is.

Een probleem met de zojuist beschreven benadering is dat de dosis-effectrelatie onafhankelijk verondersteld moet worden van de manier waarop de dosis gerealiseerd wordt. Meer specifiek, of een  $L_{Aeq}$ -waarde volledig wordt bepaald door de ene bron, volledig wordt bepaald door de andere bron, of dat de bijdragen van beide bronnen aanzienlijk zijn, moet verondersteld worden de ondervonden hinder niet te beïnvloeden. Met andere woorden er moet één dosis-effectrelatie zijn voor de verschillende 'mengverhoudingen' van de twee bronnen. Extreme mengverhoudingen treden op wanneer de dosis volledig door één van beide bronnen wordt bepaald. Dus, de dosis-effectrelaties voor aparte bronnen moeten bij de boven geschetste benadering verondersteld worden onafhankelijk te zijn van het type bron. Dit is, zoals uit het onderstaande zal blijken, niet het geval.

De kwestie of voor verschillende bronnen dezelfde dosiseffectrelatie geldt heeft vooral in de laatste vijf jaar geleid tot felle controverses, in het bijzonder tussen Schultz en Kryter (Schultz, 1978, 1982; Kryter, 1982a, b). In zijn artikel uit 1978 bespreekt Schultz een groot aantal in diverse landen uitgevoerde geluidhinderonderzoeken. De onderzoeken hebben betrekking op vliegverkeer, railverkeer en de verschillende typen wegverkeer. Om de onderzoeken vergelijkbaar te maken, bepaalde Schultz aan de hand van beschikbare geluidgegevens het  $L_{dn}$  (day-night level; het energetisch gemiddelde van het  $L_{Aeq}$  voor de periode van 7.00-22.00 u en het met 10 dB verhoogde  $L_{Aeq}$  voor de periode van 22.00-7.00 u). Verder probeerde hij voor verschillende onderzoeken op vergelijkbare wijze het percentage erg gehinderden te definiëren.

Voor elk van de onderzoeken stelde hij een curve vast die het percentage erg \*gehinderden aangeeft als functie van het  $L_{dn}$  (Schultz, 1978, Fig. 1 en 2). Uitgaande van de afzonderlijke curven stelde hij een synthesecurve voor als 'the best currently available estimate of public annoyance due to transportation noise of all kinds'. En verder merkt hij op: 'It may also be applicable to community noise of other kinds' (Schultz, 1978, Fig. 3). Om de stelling te staven dat de synthesecurve de onderzoeksresultaten goed weergeeft, laat hij zien dat de datapunten uit de desbetreffende onderzoeken voor het merendeel binnen het 90%-betrouwbaarheidsinterval van de synthesecurven vallen (Schultz, 1978, Fig. 6).



Kryter (1982a) trekt de adequaatheid van de synthesecurve in twijfel. Hij doet dit in hoofdzaak op drie gronden:

- 1) de manier waarop voor de verschillende onderzoeken het percentage erg \*gehinderden wordt gedefinieerd,
- 2) de wijze waarop Schultz uit de beschikbare geluidgegevens het  $L_{dn}$  vaststelt, en
- 3) de criteria op grond waarvan Schultz een aantal onderzoeken buiten beschouwing laat bij het bepalen van de synthesecurve.

Kryter beargumenteert dat voor grondverkeer (= weg- en railverkeer) en voor vliegverkeer aparte, niet samenvallende curven de door Schultz in beschouwing genomen data het best weergeven. Volgens Kryter zou bij een gegeven  $L_{dn}$ -waarde de \*hinder van vliegverkeer boven de door de synthesecurve aangegeven waarde liggen en de \*hinder van het grondverkeer daar juist beneden liggen. Kryter wijst er verder op dat de niet-specifieke \*hinder van de verschillende bronnen wel vergeleken kan worden, maar dat de aard van de \*hinder voor verschillende bronnen uiteenloopt. Dit blijkt wanneer de specifieke \*hinder vergeleken wordt (Kryter, 1982a, Fig. 13).

De discussie tussen Kryter en Schultz over de mogelijkheid om één synthesecurve voor diverse typen omgevingslawaai te hanteren leidde niet tot overeenstemming. Er zijn echter voldoende gegevens beschikbaar om vast te stellen dat er aanzienlijke verschillen zijn tussen de dosis-effectrelaties voor verschillende typen bronnen.

Ten eerste zijn er vergelijkingen gemaakt van de niet-specifieke \*hinder van diverse verkeerslawaaibronnen (transportation noise). Uit gegevens van Hall e.a. (1981: 1994) en Van Dongen (1983: afb. 2) blijkt dat de niet-specifieke \*hinderrelaties voor wegverkeer en vliegverkeer verschillen. Ook uit laboratoriumonderzoek blijkt een verschil in \*hinder van weg- en vliegverkeer (Powell, 1979a: 7; zie echter ook Rice, 1977b). Fields en Walker<sup>1)</sup> (1980: 585; 1982a), Heintz e.a. (1980: Grafik 11, 12 en 20), De Jong (1983: Figure 6) en Schümer

---

1) Zie ook Berry (1983).

e.a. (1981: Tabelle 4; 1983: Tab. 7.3.1.1-1 en 7.3.1.2-1) tonen aan dat bij een gelijke  $L_{Aeq}$ -waarde de niet-specifieke \*hinder van treinverkeerslawaai lager is dan die van wegverkeerslawaai. Aangezien bij een bepaalde  $L_{Aeq}$ -waarde de niet-specifieke \*hinder van wegverkeer geringer is dan die van vliegverkeer betekent dit tevens dat er een verschil is tussen trein- en vliegverkeer (zie ook: Field en Walker, 1980: 585; 1982a; Van Dongen, 1983: afb. 2).

Ten tweede is de specifieke \*hinder van verschillende verkeerslawaai-bronnen vergeleken. In de discussie met Schultz wijst Kryter erop dat het specifieke \*hinderpatroon voor de verschillende typen bronnen verschillend is. Dit op zichzelf al maakt het bestaan van een synthesecurve voor de niet-specifieke \*hinder onwaarschijnlijk. Vergelijkingen van specifieke-\*hinderpatronen worden gemaakt door Åhrlin en Rylander (1979), Grandjean e.a. (1973a, b), Heintz e.a. (1980), De Jong (1983: Figure 5), Rylander (1977: 355), en Schümer e.a. (1981, 1983). Uit de vergelijkingen blijkt dat de specifieke-\*hinderpatronen voor de verschillende verkeerslawaai-bronnen verschillend zijn.

Ten derde blijkt de suggestie van Schultz dat de synthesecurve geldig zou kunnen zijn voor alle typen omgevingslawaai (ook andere bronnen dan verkeer) niet juist. Uit de gegevens van Heintz (1980: vergelijk Graphik 29 met Graphik 13 en 14) blijkt dat de specifieke \*hinder van rangeerterreinen hoger is dan die van doorgaand treinverkeer of wegverkeer. Ook De Jong (1983: Figure 4) komt tot de conclusie dat rangeerterreinen meer \*hinder opleveren. Ritterstädt en Kastka (1981) vinden voor continu industrielawaai een andere relatie tussen  $L_{Aeq}$  en niet-specifieke \*hinder dan voor wegverkeer. Door Vos (1984) worden enige onderzoeken met betrekking tot de niet-specifieke \*hinder van impulslawaai besproken. Uit de besproken onderzoeken blijkt dat impulslawaai, bijvoorbeeld van schietinrichtingen, aanzienlijk hinderlijker is dan wegverkeerslawaai met eenzelfde  $L_{Aeq}$ .

Uit het voorgaande kan de conclusie worden getrokken dat het een onjuiste simplificatie is wanneer aangenomen wordt dat één dosis-effectrelatie voor alle typen bronnen van omgevingsgeluid geldig is. Deze conclusie betekent dat de benadering waarbij de hinder van twee bronnen aan de totale dosis wordt gerelateerd onjuist is.

Bij de stelling dat één dosis-effectrelatie voor alle omgevingsgeluid geen juiste weergave van de feiten is moet een nadere kwalificatie worden gemaakt. Bij de onderzoeken waarop deze stelling is gebaseerd, is de geluidsdosis uitgedrukt in  $L_{Aeq}$  of een verwante index als  $L_{dn}$ . Een geluidssituatie kan echter ook uitgebreider gekarakteriseerd worden. Reeds voor de discussie tussen Schultz en Kryter had Robinson ingezien dat met de dosis uitgedrukt in  $L_{Aeq}$  geen algemeen geldige dosis-effectrelatie gevonden zou worden. Voor dat doel zou naast de hoogte van het geluidniveau, dat met het  $L_{Aeq}$  gekenmerkt wordt, ook de mate van variatie in geluidniveau in rekening gebracht moeten worden. De door Robinson (1971) voorgestelde index  $L_{NP}$  (Noise Pollution Level) is de gewogen som van het  $L_{Aeq}$  en de standaarddeviatie van de in de tijd voorkomende A-gewogen geluidniveaus. Met deze index zou voor de verschillende bronnen één dosis-effectrelatie gevonden kunnen worden.

Of het  $L_{NP}$  als index in aanmerking komt wanneer voor een uitgebreidere beschrijving van geluidssituaties wordt gekozen is de vraag (zie bijvoorbeeld Jurriens, 1973; Rice, 1977a,b; Schultz, 1982: 123-125). Het eenvoudigste bezwaar tegen de benadering van Robinson is echter dat door hem, evenals door Schultz, wordt verwaarloosd dat de verschillende bronnen van omgevingslawaai hun akoestische en niet-akoestische eigenaardigheden hebben die de hinderreacties beïnvloeden. Het type bron is dan ook, naast het geluidniveau, een belangrijke variabele bij het voorspellen van de hinder. De voorspellingskracht van deze variabele wordt niet gecompenseerd door het toevoegen van de standaarddeviatie in de beschrijving van de geluidssituatie. Welk type bron een bepaald  $L_{NP}$  teweegbrengt - bijvoorbeeld treinverkeer of vliegverkeer - zal de ondervonden \*hinder beïnvloeden. Dit terwijl een constant  $L_{NP}$  geen verschil in \*hinder voorspelt. Een uitbreiding van de beschrijving van omgevingsgeluid met ook andere aspecten dan alleen het geluidniveau kan gewenst zijn, maar een vervanging van het type bron als variabele zou een te gedetailleerde beschrijving vereisen.

Aangezien ook voor het  $L_{NP}$  voor de verschillende bronnen verschillende relaties met de ondervonden \*hinder worden verwacht, is ook in een situatie met meer bronnen geen goede hindervoorspelling te verwachten met het voor het totale geluid bepaalde  $L_{NP}$ . In het algemeen kan wor-

den gesteld dat een benadering waarbij een geluidssituatie met meer omgevingsbronnen als geheel wordt beschreven niet tot een optimale voorspelling van de totale geluidhinder leidt.

### 3.2 Model II: De doses van de afzonderlijke bronnen en parallelle dosis-effectrelaties als uitgangspunt

Uit 3.1 blijkt dat een benadering niet adequaat is als de verhouding waarin twee bronnen bijdragen aan het totale geluidniveau geen invloed heeft op de voorspelde hinder. Een oorzaak hiervan is dat voor de verschillende typen bronnen verschillende dosis-effectrelaties gelden.

In de benadering van Ollerhead (1978, 1980) wordt met het verschil in dosis-effectrelaties rekening gehouden. Hij veronderstelt dat de dosis-effectrelaties lineair zijn. Aangenomen wordt dat voor de verschillende bronnen de hellingscoëfficiënt in deze relaties gelijk is, maar de intercept kan variëren. Met andere woorden, de dosis-effectrelaties voor verschillende bronnen kunnen worden weergegeven door parallelle rechte lijnen. (Belangrijk is dat het effect in deze relaties de \*hinder is die door een alleen voorkomende bron wordt veroorzaakt. Het is dus niet de hinder van een bron die mogelijk wordt beïnvloed door de aanwezigheid van andere bronnen).

Een van deze lijnen (willekeurig welke) wordt gekozen als referentie. Voor een situatie met meer bronnen worden de waarden  $D_i$  bepaald, waarbij  $D_i$  het verschil is tussen de dosiswaarden van bron  $i$  en van de referentiebron die een gelijk (hinder)effect teweegbrengen. Het effectieve niveau van bron  $i$  met equivalent niveau  $L_{Aeq}(i)$  wordt gedefinieerd als:

$$L_{eff}(i) = L_{Aeq}(i) + D_i \quad (1)$$

Het effectieve niveau voor een situatie met meer bronnen,  $L_{eff}$ , wordt gedefinieerd als:

$$L_{eff} = L_{Aeq} + \sum D_i \cdot 10^{(L_{Aeq}(i) - L_{Aeq})/10} \quad (2)$$

waarin  $L_{Aeq}$  het equivalente niveau van het totale geluid is. De straf- of bonusfactor  $D_i$  voor bron  $i$  beïnvloedt  $L_{eff}$  dus sterker naarmate het aandeel van bron  $i$  in het totale  $L_{Aeq}$  groter is.

Enkele aspecten van dit model om de response te voorspellen in situaties met meer bronnen kunnen worden nagegaan aan de hand van de situatie met twee bronnen. Stel dat de dosis-effectrelatie voor Bron 1 als referentie gekozen wordt. Dat betekent dat  $D_1 = 0$ , zodat voor dit geval (2) overgaat in:

$$L_{eff} = L_{Aeq} + D_2 \cdot 10^{(L_{Aeq}(2) - L_{Aeq})/10} \quad (3)$$

Als het totale  $L_{Aeq}$  vrijwel geheel veroorzaakt wordt door Bron 2, dus als  $L_{Aeq}(2) \cong L_{Aeq}$ , gaat (3) over in:

$$L_{eff} = L_{Aeq} + D_2$$

Dus, het effectieve niveau van het totale geluid is dan gelijk aan het effectieve niveau van Bron 2. Als daarentegen het totale  $L_{Aeq}$  vrijwel geheel veroorzaakt wordt door Bron 1, dus als  $L_{Aeq}$  aanzienlijk groter is dan  $L_{Aeq}(2)$ , dan geldt bij benadering:

$$L_{eff} = L_{Aeq}$$

Het effectieve niveau van het totale geluid is dan dus gelijk aan het (effectieve) niveau van Bron 1 alleen.

Het bovenstaande betekent dat de dosis-effectrelatie voor een situatie waarin één van twee bronnen overheersend is de dosis-effectrelatie van deze overheersende bron benadert. Hoe in tussenliggende gevallen, waarin geen van beide bronnen volledig overheerst, het voorspelde effect verandert met een verandering in dosiswaarden is aan de hand van (3) te zien. Neemt het niveau van het hinderlijkste type bron toe bij gelijkblijvend niveau van de andere bron, dan vindt een snellere hinderstijging plaats dan in het referentiegeval. En, andersom, neemt het niveau van het minst hinderlijke type bron toe bij gelijkblijvend niveau van de andere bron, dan is de hinderstijging

juist geringer. Neemt het totale niveau ( $L_{Aeq}$ ) toe bij gelijkblijvende verhouding tussen de bijdragen van de beide bronnen, dan wordt de toeneming van het (hinder)effect beschreven met een lijn parallel aan de referentielijn.

De benadering van Ollerhead is hier uiteengezet voor het geval dat de geluidsdosis in  $L_{Aeq}$  wordt uitgedrukt. De benadering is echter evenzeer toepasbaar, mutatis mutandis, wanneer andere dosismaten gebruikt worden.

Tegen het model van Ollerhead zijn twee bezwaren in te brengen. Het eerste bezwaar is dat wordt aangenomen dat de dosiseffectrelaties voor alle bronnen lineair zijn en parallel lopen. In het bijzonder is de veronderstelling van een gelijke hellingscoëfficiënt mogelijk te sterk. Het tweede bezwaar is dat Ollerheads model onder bepaalde condities impliceert dat de totale hinder lager is dan de \*hinder van alleen de hinderlijkste van beide bronnen. Deze implicatie zal voor gevallen waarin het minder hinderlijke type bron het hinderlijker type niet maskeert in strijd zijn met de realiteit.

Om dit te zien kan de minst hinderlijke bron als referentie genomen worden, zodat vergelijking (3) geldt met  $D_2 > 0$ . De bewering is dan:

$$L_{eff} < L_{eff}^{(2)} \quad (4)$$

waarin  $L_{eff}^{(2)}$  de effectieve waarde van het hinderlijkste type bron, Bron 2, is. Dit betekent dat:

$$L_{Aeq} + D_2 \cdot 10^{(L_{Aeq}^{(2)} - L_{Aeq})/10} < L_{Aeq}^{(2)} + D_2 \quad (5)$$

zodat:

$$L_{Aeq} - L_{Aeq}^{(2)} < D_2 \left( 1 - 10^{(L_{Aeq}^{(2)} - L_{Aeq})/10} \right) \quad (6)$$

Aangezien  $L_{Aeq}(2) - L_{Aeq} < 0$  kan (6) geschreven worden als:

$$\frac{L_{Aeq} - L_{Aeq}(2)}{(L_{Aeq}(2) - L_{Aeq})/10} < D_2 \quad (7)$$

Uit bovenstaande blijkt dat (7) equivalent is met (4).

Stel nu dat de verhouding tussen Bron 1 en Bron 2 constant is, met:

$$L_{Aeq}(2) - L_{Aeq}(1) = 3 \text{ dB}$$

zodat:

$$L_{Aeq} - L_{Aeq}(2) = 1,8 \text{ dB}$$

dan gaat (7) over in:  $D_2 > 5,3$ . Dus als  $D_2 > 5,3$  is de hinder van de twee bronnen samen lager dan de \*hinder van de hinderlijkste bron alléén. Dus, stel dat voor schietlawaai een straffactor van 6 dB geldt ten opzichte van vliegverkeerslawaai dan voorspelt het model dat als het  $L_{Aeq}$  voor het schietlawaai 55 dB(A) bedraagt, de totale geluidhinder verminderd wordt wanneer een nabijgelegen luchtmachtbasis een  $L_{Aeq}$  van 52 dB(A) hieraan toevoegt.

Voor:

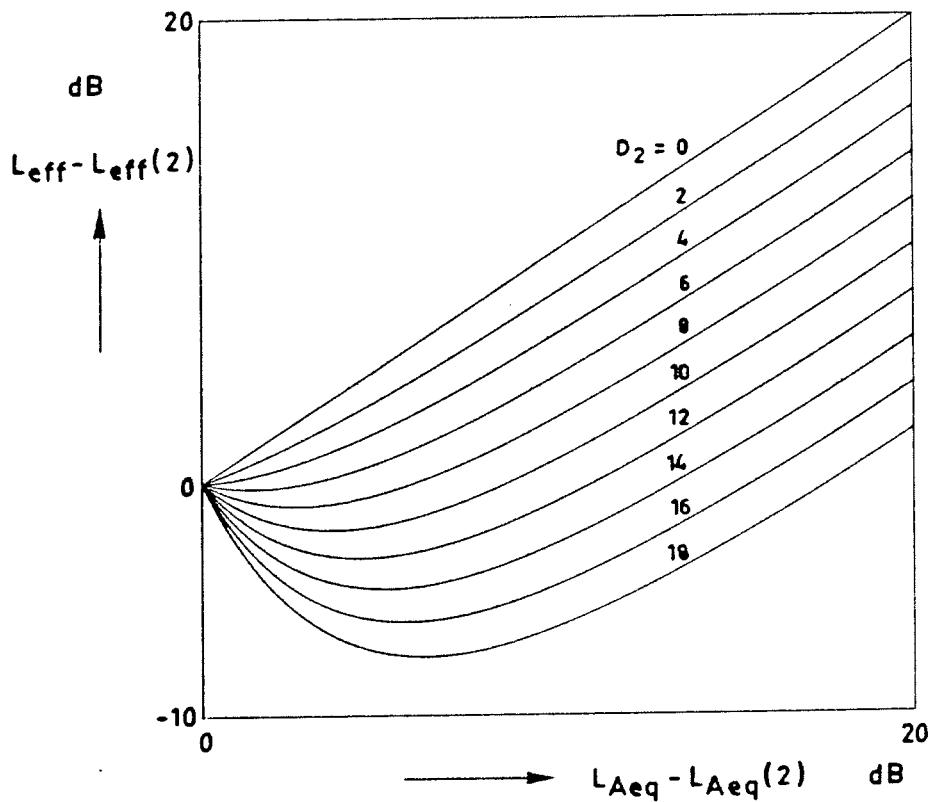
$$L_{Aeq}(2) - L_{Aeq}(1) = 10 \text{ dB}$$

zodat:

$$L_{Aeq} - L_{Aeq}(2) = 0,4$$

gaat (7) over in  $D_2 > 4,6$ . Dus, als voor wegverkeerslawaai ten opzichte van railverkeerslawaai een straffactor van 5 dB geldt, voorspelt het model dat de totale hinder minder is met een  $L_{Aeq}$  voor wegverkeer van 60 dB(A), en een  $L_{Aeq}$  voor railverkeer van 50 dB(A), dan wanneer er geen railverkeerslawaai is.

Uit Figuur 1 blijkt dat als  $L_{Aeq}(2)$  groter is dan  $L_{Aeq}(1)$  (uitgezonderd  $L_{Aeq}(1) = 0$ ) en  $D_2$  is groter dan ongeveer 6 dB de totale hinder altijd beneden de \*hinder van Bron 2 ligt. Gesteld dat de totale hinder in feite gelijk is aan de \*hinder van de meest hinderlijke bron dan is echter, zo blijkt uit de figuur, de onderschatting van de totale hinder voor die gevallen beperkt zolang  $D_2$  niet extreem groot is. Ook als  $L_{Aeq}(1) > L_{Aeq}(2)$  kan de totale hinder onder de \*hinder van de hinderlijkste bron liggen. Bijvoorbeeld, het toevoegen van railverkeerslawaai ( $L_{Aeq} = 58$  dB(A)) aan vliegverkeerslawaai ( $L_{Aeq} = 55$  dB(A)) wordt voorspeld het effectieve niveau met 3 dB te doen afnemen. Het is hierbij aangenomen dat  $D_2 = 12$  dB.



Figuur 1. Het verschil volgens Ollerheads model tussen het effectieve niveau van gecombineerde bronnen en het effectieve niveau van alleen de hinderlijkste bron. Dit verschil is weergegeven als functie van  $L_{Aeq} - L_{Aeq}(2)$ . Parameter is  $D_2$ , de straffactor van de hinderlijkste bron ten opzichte van de minder hinderlijke bron.



Een alternatief voor de benadering van Ollerhead is de methode van Powell (1979b). Powell neemt evenals Ollerhead als uitgangspunt dat voor verschillende typen bronnen verschillende dosis-effectrelaties gelden. Bij de bepaling van de effectieve waarde voor gecombineerde bronnen wijkt zijn methode essentieel af van die van Ollerhead. Powell bepaalt de effectieve waarde voor het totale geluid door uit te gaan van een dosis voor de afzonderlijke bronnen waarin maskeringseffecten tot uitdrukking komen. Gezien de bespreking in 4.3 van de beschrijving door Powell van maskeringseffecten lijkt deze wijziging ten opzichte van Ollerheads model niet wenselijk.

### 3.3 Model III: De hinder van elk van de samen voorkomende bronnen als uitgangspunt

Bij de hier te bespreken benadering wordt er rekening mee gehouden dat de hinder van een bron versterkt of verzwakt kan worden door de aanwezigheid van een tweede bron. De totale hinder wordt volgens Model III bepaald aan de hand van de versterkte of verzwakte hinder van elk van de samen voorkomende bronnen.

In deze paragraaf wordt eerst ingegaan op verzwakking van hinder door maskering (3.3.1). Daarna komt verandering in hinder door verandering in hindergevoeligheid aan de orde (3.3.2). In dat kader wordt eerst een probleem geschetst dat optreedt bij de vaststelling van verandering in hindergevoeligheid en wordt globaal een oplossing hiervoor aangegeven (3.3.2.1). Daarna wordt deze oplossing meer in detail uitgewerkt (3.3.2.2). In het laatste onderdeel van deze paragraaf wordt de bepaling van de totale hinder aan de hand van de hinder van elk van de samen voorkomende bronnen besproken (3.3.3).

#### 3.3.1 Verzwakking van hinder door maskering

De hinder van een bron kan worden verzwakt tengevolge van maskering. De verzwakking treedt op omdat een bron bij maskering minder luid wordt gehoord. De veronderstelling die dus gemaakt wordt is dat de hinder afneemt naarmate een bron minder sterk gehoord wordt. Maskering maakt een bron minder sterk hoorbaar en dus minder hinderlijk.

Wanneer rekening moet worden gehouden met maskering, volstaat het niet om voor een bron een index op basis van dB of dB(A)-waarden te bepalen. Immers, een hogere dB of dB(A)-waarde betekent niet altijd een luider geluid, ook niet als het om één type geluid gaat. Treedt namelijk bij een hogere dB of dB(A)-waarde maskering op, dan kan de luidheid minder zijn dan bij een lagere waarde. Uitgaande van de veronderstelling dat een luider geluid een sterkere hinder oplevert, wordt dus met de dosis uitgedrukt in dB of dB(A) geen monotoon stijgende dosis-effectrelatie gevonden.

Het voorgaande maakt duidelijk dat een geluidmaat moet worden gebruikt die een indicatie geeft van de luidheid van een geluid. In deze maat moet de invloed van een maskeerder tot uitdrukking komen. In het volgende hoofdstuk wordt een dergelijke maat, de sone, besproken. Eveneens worden daar indexen op basis van deze maat voorgesteld. In Model III wordt de dosis van een bron gekenmerkt door een index op basis van sone-waarden.

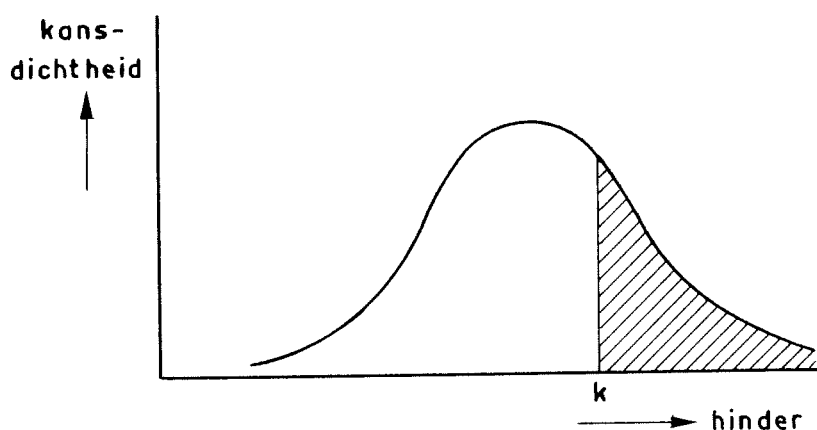
### 3.3.2 Versterking of verzwakking van hinder door verandering in hindergevoeligheid

Maskering betekent dat de waarneming van geluid wordt beïnvloed. Via deze beïnvloeding van de waarneming kan de mate van ondervonden hinder beïnvloed worden. Een tweede bron kan de hinder van een eerste bron ook doen toe- of afnemen zonder de waarneming van die bron te veranderen. Dit gebeurt als de tweede bron een verandering in hindergevoeligheid veroorzaakt.

#### 3.3.2.1 Hindergevoeligheid en het criterium om hinder te rapporteren

Een verandering in hindergevoeligheid moet onderscheiden worden van een verandering in het criterium om hinder te rapporteren. Het onderscheid dat hier gemaakt wordt is een onderscheid tussen verandering in het ervaren van hinder en verandering in het rapporteren van hinder. Een achtergrondgeluid zou bijvoorbeeld een sterkere hinderervaring van een bijkomende bron kunnen veroorzaken, maar ook een verlaaging van het criterium om hinder van die bron te rapporteren. Bovenstaand onderscheid kan aanschouwelijk worden door hinder als een continuum voor te stellen (Figuur 2).

Bij een bepaalde geluidbelasting door een bepaalde bron verschilt de ondervonden hinder van persoon tot persoon. Met andere woorden, bij een bepaalde geluidbelasting kunnen de mensen die daaraan zijn blootgesteld verschillende posities innemen op het hindercontinuum. In Figuur 2 is voor een fictief geval een kansdichtheidsfunctie getekend. Deze functie bepaalt de kans dat iemand bij de betreffende geluidbelasting een bepaalde mate van hinder ondervindt.



Figuur 2. De kansdichtheidsfunctie voor hinder in een bepaalde geluidssituatie. Als  $K$  het hindercriterium is komt het gearceerde gebied overeen met het percentage mensen dat in een dergelijke situatie hinder rapporteert.

Stel nu dat een geluidhinderonderzoek verricht wordt in een situatie waarvoor Figuur 2 geldt. Laat, om de situatie wat concreter te maken, tramverkeer de geluidbron zijn. In de enquête die een onderdeel van het onderzoek is, wordt onder andere gevraagd de hinderlijkheid van het geluid van de trams te omschrijven. De ondervraagde kan slechts uit twee antwoorden kiezen: 'hinderlijk' of 'niet hinderlijk'. Bij zijn antwoord moet de ondervraagde beslissen of de door hem ondervonden hinder voldoende sterk is om 'hinderlijk' te antwoorden. Met andere woorden hij moet op het hindercontinuum een breekpunt vaststellen. Dit punt moet zo worden gekozen dat hinderniveaus boven dit punt een 'hinderlijk'-antwoord en hinderniveaus beneden dit punt een 'niet hinderlijk'-antwoord rechtvaardigen.

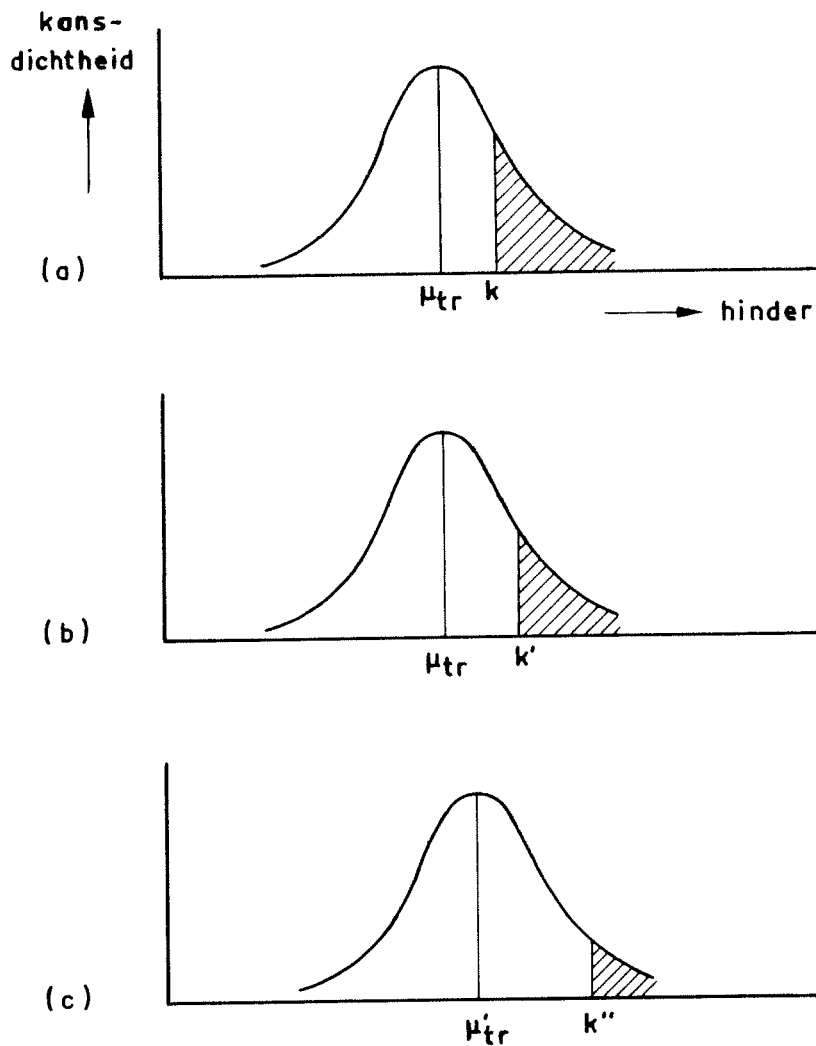
Het voorgaande betekent dat het percentage mensen dat in een bepaald geluidbelastingzone woont en 'hinderlijk' antwoordt op de dichotome hindervraag afhangt van twee zaken:

- a) De bij de geluidbelasting horende hinderverdeling.
- b) De positie van het breekpunt, oftewel het responscriterium, op het hindercontinuüm.

Dus de door een bepaalde geluidbelasting veroorzaakte hinder determineert niet volledig het percentage respondenten dat 'hinderlijk' antwoordt. Dit wordt geïllustreerd door het feit dat factoren die de ondervonden geluidhinder niet beïnvloeden wel het percentage 'hinderlijk'-antwoorden kunnen wijzigen. Als mensen bijvoorbeeld naast 'niet hinderlijk' en 'hinderlijk' ook het antwoord 'tamelijk hinderlijk' kunnen kiezen beïnvloedt dit niet de mate waarin geluidhinder wordt ondervonden. Toch zal het percentage 'hinderlijk'-antwoorden wel afnemen. De reden is dat door toevoeging van de extra antwoordcategorie het criterium voor het antwoord 'hinderlijk' naar rechts verschuift.

In het algemeen gesteld is het percentage mensen dat een bepaalde antwoordcategorie kiest geen goede indicatie voor de ondervonden hinder. Als, bij een dichotome vraag, het breekpunt tussen wel en geen hinder slechts toevalsfluctuaties vertoont, kan het percentage gehinderden worden gebruikt als indicatie voor de hinderlijkheid van een geluidbelasting. Als de positie van het breekpunt echter systematisch samenhangt met onderzochte factoren, dan is het percentage gehinderden geen bruikbare indicatie voor de ondervonden hinder.

Een voorbeeld kan dit laatste verduidelijken. Stel dat het onderzoek naar de hinder van een bepaalde belasting door tramlawaai wordt uitgevoerd op locaties met een hoog en op locaties met een laag wegverkeersniveau. Stel verder dat wordt gevonden dat het percentage door tramlawaai gehinderden lager is als het wegverkeerslawaainiveau hoog is. Als er nu geen systematische samenhang is tussen de sterkte van het wegverkeerslawaai en de positie van het breekpunt voor het rapporteren van hinder, is dit een eenduidig resultaat: de hinder van



Figuur 3. In (a) is een hinderverdeling bij een bepaalde mate van tramlawaai weergegeven.  $K$  is het breekpunt voor het wel en niet rapporteren van hinder zodat het gearceerde oppervlak overeenkomt met het constaterende percentage gehinderden. In de in (a) weergegeven situatie is het wegverkeerslawaai-niveau laag. In (b) en (c) is aangegeven wat onder invloed van een verhoging van het wegverkeersniveau zou kunnen gebeuren. In beide gevallen leidt het bekijken van het percentage gehinderden tot een verkeerde conclusie over de invloed van het wegverkeer. De conclusie is dan namelijk een afneming van de hinder, terwijl in (b) de hinder ongewijzigd is ten opzichte van (a), en in (c) de hinder in feite toeneemt. (Vergelijk de posities van de gemiddelden  $\mu_{tr}$  en  $\mu'_{tr}$ ).

trams neemt af als het wegverkeerslawaainiveau toeneemt. Als echter onder invloed van het sterkere wegverkeerslawaai de positie van het breekpunt 'naar rechts' wordt verschoven, dan is de genoemde conclu-

sie niet eenduidig te trekken. De verlaging van het percentage gehinderden door trams kan volledig een gevolg zijn van deze verschuiving van het breekpunt (zie ook Figuur 3).

Met het voorgaande is de basis gelegd om het aan het begin van deze paragraaf gestelde probleem te bespreken. Het gestelde probleem is (in termen van het gegeven voorbeeld): hoe is een verandering in hindergevoeligheid voor tramlawaai te onderscheiden van een verlegging van het responscriterium onder invloed van het wegverkeerslawaaniveau.

Deze vraag kan worden beantwoord door naast de geluidhinder van trams ook de hinder van een referentiebron te bepalen. Een eis die aan de hinder van de referentiebron moet worden gesteld is dat deze niet samenhangt met het wegverkeerslawaaniveau. Door de tramhinder ten opzichte van hinder van een dergelijke referentiebron te bepalen kan de invloed van het responscriterium op de geconstateerde tramhinder geëlimineerd worden.

De precieze uitwerking van deze werkwijze volgt in 3.3.2.2 . Hier wordt nader ingegaan op de invulling van 'referentiehinder'. Deze invulling kan op twee manieren plaatsvinden:

- 1) Een eerste invulling is het peilen van nulhinder. Met nulhinder wordt hinder bedoeld van een niet-hinderlijke bron. Dit kan hinder zijn van geluid dat op de plaatsen waar de vraaggesprekken plaatsvinden misschien wel eens te horen is, maar geen hinder kan opleveren. Hoewel de hinder die door een nulhinderbron wordt veroorzaakt per definitie nihil is kunnen sommige respondenten onder invloed van toevalsfactoren toch een zekere mate van hinder ervaren. Onder invloed hiervan is ook bij een nulhinderbron enige spreiding van de antwoorden over de verschillende antwoordcategorieën te verwachten. Afhankelijk van de onderzoekslocaties kan bijvoorbeeld een vraag naar geluidhinder van vliegtuigen gebruikt worden om de nulhinder vast te stellen. Als aangenomen wordt dat het motorgeluid van trams nihil is kan ook een vraag naar de hinder hiervan fungeren als nulhindervraag.

- 2) Een alternatief voor een nulhindervraag is een vraag naar hinder die een omgevingsfactor oplevert op een voor alle in het onderzoek betrokken respondenten bekende locatie. Daarbij wordt dan aangenomen dat de hinderlijkheid van deze locatie elders niet door het (wegverkeers)geluidniveau thuis wordt beïnvloed.

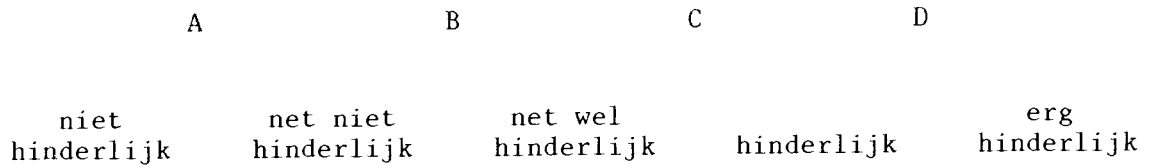
Tussen de twee geschetste manieren om referentiehinder vast te stellen bestaan grote overeenkomsten. Het belangrijke punt in beide benaderingen is de veronderstelling dat zaken waarvan de invloed op tramgeluidhinder wordt onderzocht niet samenhangen met de referentiehinder.

In de nu volgende subparagraaf, 3.3.2.2, wordt verder ingegaan op het elimineren van de invloed van het responscriterium. Daarna wordt in 3.3.3 de bepaling van de totale hinder bij aanwezigheid van meer bronnen besproken.

#### 3.3.2.2 De vaststelling van hinder onafhankelijk van responscriteria

In dit onderdeel wordt uiteengezet hoe aan de hand van vragenlijstgegevens geluidhinder kan worden vastgesteld zonder dat responscriteria hierop van invloed zijn. Er wordt een methode aangegeven om een schaalwaarde voor geluidhinder toe te kennen aan een situatie.

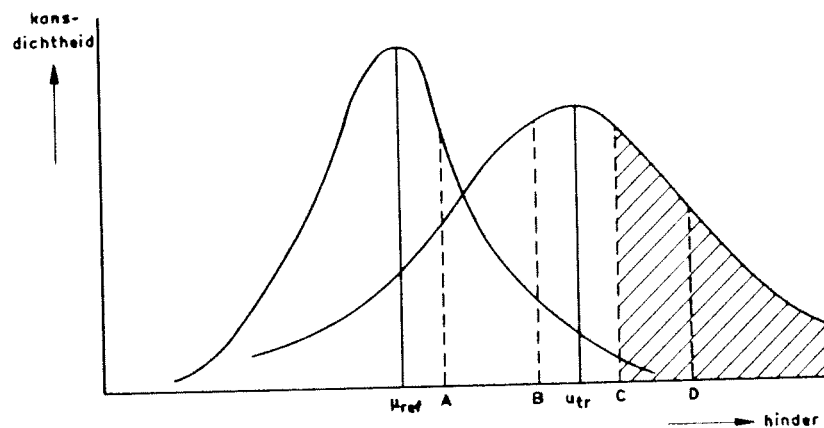
Bij de volgende bespreking wordt ervan uitgegaan dat een vraag naar tramhinder en een geschikte vraag naar referentiehinder beschikbaar zijn. Deze beide vragen zullen in het algemeen meer dan twee antwoordcategorieën hebben. Eerder is voor de eenvoud aangenomen dat respondenten alleen kunnen kiezen tussen het wel of niet rapporteren van hinder. Deze beperking is in feite ongewenst en vervalt hier verder. Uitgangspunt is dat bij de trambahindervraag en bij de referentiehindervraag uit dezelfde categorieën kan worden gekozen. Het aantal categorieën varieert in de praktijk van 2 tot 10. Een voorbeeld van een zogenaamde vijfpuntshinderschaal is in Figuur 4 gegeven. Bij een dergelijke schaal spelen vier breekpunten of responscriteria een rol.



Figuur 4. Een vijfpuntshindervraag.

In Figuur 5 is aangegeven hoe de responscriteria op het hindercontuum kunnen zijn geplaatst.

Tevens is in de figuur een kansdichtheidsfunctie voor een referentiebron en voor een bepaalde tramlawaabelasting weergegeven. Een enquête met voor beide bronnen een hindervraag levert gegevens op over de percentages ondervraagden die in de respectievelijke categorieën scoren. Met de vraag naar hinder van de referentiebron worden de percentages die bij de linker dichtheidsfunctie horen verkregen; met de vraag naar tramhinder de percentages horend bij de rechter kansdichtheidsfunctie. Bij het vaststellen van een schaalwaarde voor hinder van trams vormen deze percentages de basisgegevens.



Figuur 5. De kansdichtheidsfuncties voor de hinder van een referentiebron en de hinder bij een bepaalde mate van tramlawaai. Een door responscriteria begrensde gebied onder een curve komt overeen met het percentage aan de betreffende bron blootgestelde mensen dat een antwoordcategorie tussen die grenzen kiest. Dus het gearceerde gebied correspondeert met het percentage mensen dat hinder of erge hinder van tramlawaai ondervindt.



De gevolgde methode gaat uit van de Wet van de Categorische Oordelen, en wel van het speciale geval 'Class II, Condition B' (Torgerson, 1958: 205-210). Voor de onderhavige toepassing betekent dit uitgangspunt ondermeer dat wordt verondersteld dat:

- a) de hinderverdelingen normaal zijn
- b) de verschillende responscriteria in gelijke mate variëren van respondent tot respondent
- c) de posities van de responscriteria voor een respondent niet samenhangen met de positie van zijn hinder binnen een hinderverdeling.

Als eerste stap worden voor een bepaalde geluidssituatie de proporties ondervraagden genoteerd die in ieder van de antwoordcategorieën vallen:

	niet hinderlijk	net niet hinderlijk	net wel hinderlijk	hinderlijk	erg hinderlijk
referentiebron	$P_1$ (0,50)	$P_2$ (0,20)	$P_3$ (0,15)	$P_4$ (0,10)	$P_5$ (0,05)
trams	$Q_1$ (0,15)	$Q_2$ (0,15)	$Q_3$ (0,20)	$Q_4$ (0,24)	$Q_5$ (0,26)
	A	B	C	D	

Vervolgens worden cumulatieve proporties respondenten bepaald:

	niet hinderlijk	net niet hinderlijk	net wel hinderlijk	hinderlijk	erg hinderlijk
referentiebron	$P_1$ (0,50)	$P_1+P_2$ (0,70)	$P_1+P_2+P_3$ (0,85)	$P_1+P_2+P_3+P_4$ (0,95)	$P_1+P_2+P_3+P_4+P_5$ (1,00)
trams	$Q_1$ (0,15)	$Q_1+Q_2$ (0,30)	$Q_1+Q_2+Q_3$ (0,50)	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4$ (0,74)	$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5$ (1,00)
	A	B	C	D	

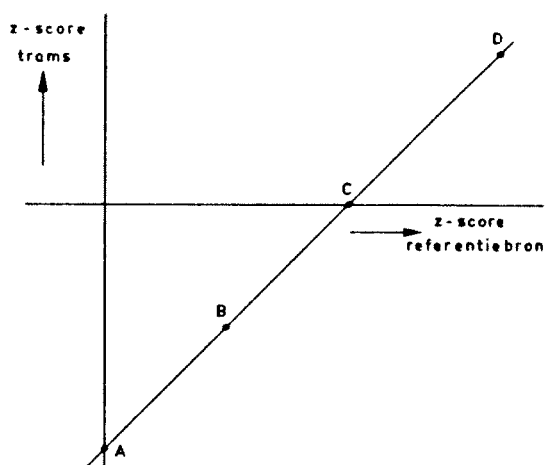
Een derde stap is het bepalen van de z-scores die volgens de cumulatieve standaardnormaalverdeling bij de gevonden cumulatieve proporties horen.

	niet hinderlijk	net niet hinderlijk	net wel hinderlijk	hinderlijk
referentiebron	$z_{P_1}$ (0)	$z_{P_1+P_2}$ (0,52)	$z_{P_1+P_2+P_3}$ (1,04)	$z_{P_1+P_2+P_3+P_4}$ (1,68)
trams	$z_{Q_1}$ (-1,04)	$z_{Q_1+Q_2}$ (-0,52)	$z_{Q_1+Q_2+Q_3}$ (0)	$z_{Q_1+Q_2+Q_3+Q_4}$ (0,64)
	A	B	C	D

Deze z-scores kunnen worden gevonden door een tabel te raadplegen (bijvoorbeeld: Torgerson, 1958: Appendix B).

Bij elke grens tussen twee antwoord categorieën (A, B, C en D) zijn dus twee z-scores gevonden. De z-scores voor de trams worden nu weergegeven als functie van de z-scores voor de referentiebron (zie Figuur 6b). Indien de eerder gemaakte veronderstellingen correct zijn, worden de punten A, B, C en D verbonden door een rechte lijn. Het snijpunt van deze lijn met de abcis is de gezochte schaalwaarde voor de tramhinder op een schaal met  $\mu_{ref} = 0$  en  $a_{ref} = 1$ . (Hierbij is  $a_{ref} = (\sigma_{ref}^2 + c)^{\frac{1}{2}}$  met c de variantie voor een categoriegrens). Als wordt aangenomen dat  $c = 0$  en dus  $a_{ref} = \sigma_{ref}$ , is dus de verkregen schaalwaarde gelijk aan  $\mu_{tr} - \mu_{ref}$ , uitgedrukt met de standaarddeviatie van de referentiehinder-verdeling als eenheid.

Aangezien  $\mu_{ref}$  en  $\sigma_{ref}$  constant zijn voor de verschillende situaties, kunnen schaalwaarden voor geluidhinder op verschillende locaties zinvol vergeleken worden. Uitspraken als 'op locatie x is de hinder van trams onder invloed van het hogere wegverkeersniveau hoger dan de tramhinder op locatie y' kunnen zinvol worden gedaan.



Figuur 6. De z-scores als coördinaten van de categoriegrenzen. Het snijpunt van de rechte lijn met de abcis (1,04) is hier tevens de  $d'$ -waarde, aangezien de standaarddeviaties van de hinderverdelingen voor beide bronnen gelijk is.

De hier beschreven grafische methode om een schaalwaarde te bepalen is eenvoudig te vervangen door een aantal berekeningen die in de schaalwaarde resulteren. Torgerson (1958: 223, 226-227) geeft een dergelijke rekenprocedure\*).

De hier geschetste grafische methode en de bijbehorende rekenprocedure vormen slechts een van de door Torgerson gegeven mogelijkheden om uit z-waarden schaalwaarden te bepalen. Een overzicht van de verschillende mogelijkheden is te vinden bij Torgerson (1958: 214-215) en een bespreking bij Torgerson (1958: 233-234).

\*) Als deze procedure wordt gevolgd, moet deze voor de onderhavige toepassing aangevuld worden met een lineaire transformatie van de resulterende schaalwaarden: van de verkregen schaalwaarden wordt de voor de referentiebron verkregen waarde afgetrokken en de dan resulterende waarden worden gedeeld door de a-waarde voor de referentiebron. Deze transformatie moet worden uitgevoerd om  $\mu_{ref}$  als nulpunt en  $a_{ref}$  als eenheid van de schaal te krijgen.

De zojuist besproken methode van schaling is verwant aan de werkwijze binnen de signaaldetectietheorie (SDT) (zie Pollack en Decker, 1958). Deze theorie is uiteengezet in specifiek aan dit onderwerp gewijde publicaties (Swets, Tanner en Birdsall, 1961; Swets, 1961; Green en Swets, 1966) of in handboeken op het gebied van de mathematische psychologie of psychologische functieleer (Coombs, Dawes en Tversky, 1970; Michon, Eijkman en De Klerk, 1976). De theorie is oorspronkelijk ontwikkeld als model voor de detectie van (zwakke) signalen. De verwantschap tussen de door Torgerson behandelde methode en de SDT is uitgewerkt door Lee (1969).

Als  $c = 0$  en  $\sigma_{\text{ref}} = \sigma_{\text{tr}}$ , dan wordt de beschreven schaalwaarde binnen de SDT aangeduid als  $d'$ -waarde. Voor de bepaling van  $d'$  uit de cumulatieve percentages zijn tabellen beschikbaar (Elliot, 1964). Ook is er een computerprogramma dat de kleinstekwadratenoplossing voor  $d'$  geeft (Ogilvie en Creelman, 1968). Door Gourevitch en Galanter (1976) is een test voor een verschil tussen twee  $d'$ -waarden ontwikkeld.

Als  $c = 0$  maar  $\sigma_{\text{ref}} \neq \sigma_{\text{tr}}$ , dan zijn de genoemde tabel en het genoemde computerprogramma voor de bepaling van de schaalwaarde niet geschikt. De test van Gourevitch en Galanter is voldoende robuust om ook bij beperkte afwijkingen van  $\sigma_{\text{ref}}/\sigma_{\text{tr}}$  van 1 te worden gebruikt.

De beschreven indicatie voor de sterkte van de tramhinder is niet afhankelijk van de posities van de responscriteria. Dit voordeel heeft ook eerder geleid tot toepassing van de SDT buiten het gebied van de signaaldetectie. Het meest uitgebreid is dit gebeurd in het geheugenonderzoek (zie bijvoorbeeld: Murdock, 1965; Parks, 1966; Banks, 1970). Een uitbreiding naar milieuonderzoek is te vinden bij Evans, Jacobs en Frager (1982). Zij deden onderzoek naar de visuele kwaliteit van de buitenlucht. In het bijzonder gingen zij na wat de invloed is van de duur van blootstelling aan luchtverontreiniging op het respons criterium bij het signaleren van luchtverontreiniging. Ook in het geluidhinderonderzoek is de SDT toegepast. Door Fidell e.a. (1981: Appendix C) is de theorie gebruikt om na te gaan welke verschuiving in de ondervonden hinder optreedt bij een verandering in de blootstelling aan vliegtuiglawaai. Het interessante van deze toepassing is dat, evenals bij de hier voorgestelde toepassing, gewerkt wordt met door middel van vragenlijsten verkregen gegevens over geluidhinder. Een tweede toepassing in veldonderzoek naar geluidhinder

is die van Berglund (1977: 117-119). Ook in deze toepassing wordt gewerkt met gegevens uit vragenlijsten. Berglund bespreekt de invloed van de sterkte van geluidbelasting door vliegtuiglawaai op responscriteria voor geluidhinder.

Berglund gaat niet uit van de SDT, maar van de hier besproken methode van Torgerson (1958: Class 11, Condition B model, p 221-227), die zoals gezegd, correspondeert met een speciaal geval van het SDT-model.

### 3.3.3 De totale hinder bij twee bronnen

De bepaling van de totale hinder bij twee geluidbronnen in de woonomgeving is het derde element van Model III. De eerste twee elementen waren het in rekening brengen van maskering en het vaststellen van verandering in hindergevoeligheid onder invloed van een extra bron.

Uitgangspunt bij het bepalen van de totale hinder zijn de dosis-effectrelaties voor beide bronnen. Deze dosis-effectrelaties specificeren voor een bepaalde geluidsdosis de van een bron ondervonden hinder, gegeven de invloed van de tweede bron op de waarneming en op de hindergevoeligheid. Aan de hand van deze relaties is voor een bepaalde situatie met twee bronnen de hinder van elk van beide bronnen te bepalen. In Model III wordt aan de hand van deze beide hinderwaarden de totale hinder vastgesteld.

Door Van den Berg (1983) is een voorstel geformuleerd om hinderwaarden van afzonderlijke bronnen te combineren tot een waarde voor de totaalhinder. Bij zijn benadering wordt bij de hinderwaarde van bron  $i$  de waarde van een 'toetsingsindex'  $T_i$  voor die bron bepaald. Dit gebeurt door voor een bepaalde, zeer hoge hinderwaarde  $T_i$  op 10 te stellen, en voor een bepaalde, zeer lage hinderwaarde  $T_i$  op 1 te stellen. Voor andere hinderwaarden wordt de bijbehorende  $T_i$ -waarde bepaald door lineaire inter(extra)polatie.

Als toetsingsindex voor de totale hinder wordt  $B$  voorgesteld\*):

$$B = \frac{1}{N} \sum_i T_i^k \quad (8)$$

waarin:  $i$  loopt over de bronnen waarvoor  $T_i > 1$

$k = \lg(9N + 1)$ , met  $N$  het aantal bronnen waarvoor  $T_i > 1$

---

\*) In de aangehaalde publikatie van Van den Berg is in de vergelijking voor  $B$  abusievelijk factor  $1/k$  opgenomen in plaats van factor  $1/N$  (persoonlijke communicatie met de auteur).

Model III zal op het punt van de combinatie van hinderwaarden van (twee) afzonderlijke bronnen aan de hand van empirische gegevens nader ingevuld moeten worden. Deze invulling moet bestaan uit een vergelijking zoals door Van den Berg gegeven, of een tabel die voor combinaties van hinderwaarden de totale hinder geeft. In principe kan voor iedere combinatie van twee typen bronnen een andere vergelijking of een andere tabel gevonden worden. Het zou echter Model III aanmerkelijk eenvoudiger houden als de totaalhinder van twee bronnen alleen afhankelijk is van de hinderwaarden voor de afzonderlijke bronnen en niet afhankelijk is van het type van die bronnen.

Het aantal manieren waarop de totale hinder gerelateerd kan zijn aan de hinder van afzonderlijke bronnen is in principe onbeperkt. Er zijn echter enige bijzondere gevallen te onderscheiden. Deze bijzondere gevallen zouden bij vervolgonderzoek als hypothesen gehanteerd kunnen worden. Vier hypothesen zijn:

- \* middelingshypothese: de totale hinder is het gemiddelde van de hinder van de afzonderlijke bronnen
- \* dominantiehypothese: de totale hinder is het maximum van de hinder van de afzonderlijke bronnen
- \* synergisme hypothese: de totale hinder is groter dan het maximum van de hinder van de afzonderlijke bronnen, maar kleiner dan de som van de hinderwaarden voor deze bronnen
- \* additiehypothese: de totale hinder is de som van de hinder van de afzonderlijke bronnen.

Op voorhand lijken de als eerste en als laatste genoemde hypothesen onwaarschijnlijk. In feite is de middelingshypothese op voorhand uit te sluiten. Immers, als men van een bron een zekere mate van hinder ondervindt (waarvan de sterkte eventueel is beïnvloed door een tweede aanwezige bron) kan de totale hinder van die bron plus de tweede bron nooit kleiner zijn. Dus door de dominantiehypothese wordt de minimaal mogelijke totale hinder verondersteld. Als resultaten wijzen op een geringere totale hinder dan aangegeven wordt volgens de dominantiehypothese moeten deze resultaten worden geweten aan een artefact in de gehanteerde methode.

De dominantiehypothese is aannemelijk in situaties dat de hinder van twee bronnen sterk verschilt. Het is echter tevens aannemelijk dat in situaties waarin de hinder van twee bronnen een ongeveer gelijke waarde heeft de totale hinder groter is dan voorspeld wordt door de dominantiehypothese. Er kan verwacht worden dat de totale hinder tussen het maximum en de som van de hinderwaarden voor de afzonderlijke bronnen ligt. Voor deze gevallen lijkt dus de synergismehypothese correct.

De door Van den Berg gegeven kwantitatieve combinatie van hinderwaarden voorspelt een totale hinder die tussen het maximum van de afzonderlijke hinderwaarden en de som van de hinderwaarden ligt. Voor een alternatieve formule voor de combinatie van hinderwaarden kan worden uitgegaan van de Minkowski afstandsfuncties voor twee dimensies:

$$h_{\text{tot}} = (h_i^n + h_j^n)^{\frac{1}{n}} \quad (i \neq j, n \geq 1) \quad (9)$$

Hierin staat  $h_{\text{tot}}$  voor de totale hinder en  $h_1$  en  $h_2$  voor de hinder van de twee bronnen afzonderlijk. Voor  $n = 1$  komt (9) overeen met de additiehypothese, voor  $n = \infty$  met de dominantiehypothese. Naarmate een grotere  $n$  wordt genomen, wordt  $h_{\text{tot}}$  sterker bepaald door het maximum van  $h_1$  en  $h_2$  en heeft de kleinere hinderwaarde minder invloed op  $h_{\text{tot}}$ . Om  $h_{\text{tot}}$  bij sterk verschillende  $h_i$ - en  $h_j$ -waarden door het maximum te laten bepalen en bij ongeveer gelijke  $h_i$ - en  $h_j$ -waarden  $h_{\text{tot}}$  groter te laten zijn dan het maximum kan voor  $n$  een eindige waarde groter dan 1 genomen worden. Een mogelijke keuze is  $n = 2$ . Dit levert de Euclidische afstandsfunctie op.

Berglund e.a. (1981) onderzochten in hoeverre deze functie de totale hinder correct voorspelt. Zij deden dit door middel van een laboratoriumexperiment, dat reeds in 2.2 ter sprake kwam. Aan de hand van het experiment testten zij het volgende model voor de combinatie van hinderwaarden:

$$h_{\text{tot}} = (h_i^2 + h_j^2 + 2 h_i h_j \cos \alpha_{ij})^{\frac{1}{2}} \quad (i \neq j) \quad (10)$$

Zij vonden dat dit model de data het best verklaarde als  $\alpha_{ij} = \pi/2$ . Met deze waarde voor  $\alpha_{ij}$  is (10) equivalent met (9) als daar  $n$  op 2

wordt gesteld. Hoewel deze functie het beste voldoet van alle mogelijke gevallen van (10) bleek dat de totale hinder (luidheid) overschat werd.

Het bovenstaande betekent dat (9) waarschijnlijk beter voldoet met een (eindige) waarde voor  $n$  die groter is dan 2. In vervolgonderzoek zou de beste keuze voor  $n$  vastgesteld kunnen worden.

De voorgaande beschouwing betreft de wijze waarop de totale hinder van een individu samenhangt met de door hem ondervonden hinder van afzonderlijke bronnen. Als een situatie als geheel moet worden beoordeeld is het belangrijk op te merken dat in de gevallen waar vergelijking (9) op gaat het percentage door de totale situatie (erg) gehinderden vrijwel altijd hoger is dan het maximum van de (erge) hinderpercentages voor de afzonderlijke bronnen. Dit geldt ook voor  $n = \infty$ .



#### 4. MASKERING

In dit hoofdstuk wordt een onderdeel van het in het voorgaande hoofdstuk uiteengezette Model III nader uitgewerkt. Hier wordt ingegaan op de reductie in de luidheid van een bron door de aanwezigheid van een tweede bron.

De luidheid is een belangrijk aspect van waarneming van geluid. Hoe luid geluid is bepaalt in het geval van omgevingsgeluid voor een belangrijk deel in welke mate het geluid hinder veroorzaakt.

Er is een groot aantal methoden beschikbaar om de luidheid van geluid te bepalen. Deze methoden geven aan hoe uit metingen verkregen fysische gegevens bewerkt moeten worden om een maat te verkrijgen die de luidheid bevredigend weergeeft. De meest toegepaste methode is wel het A-wegingssysteem. Andere maten die speciaal zijn ontwikkeld om de luidheid te karakteriseren zijn de Stevens sone en de Zwicker sone.

Zowel de dB(A) als de bestaande procedures om sone-waarden te berekenen hebben de beperking dat ze alleen toegepast kunnen worden op geluiden die op zichzelf voorkomen, dus zonder dat andere geluiden aanwezig zijn. Toepassing is ook mogelijk als het niveau (in dB) van de andere aanwezige geluiden in belangrijke delen van het frequentiebereik voldoende ver onder het niveau van het geluid in kwestie ligt. (Wat 'belangrijke delen' zijn en wat 'voldoende ver' is zal later duidelijk worden). In andere gevallen echter geeft een dB(A)- of sone-maat geen indicatie van de luidheid van een geluid dat naast andere geluiden aanwezig is.

(Als in het vervolg een geluid in beschouwing wordt genomen dat naast andere geluiden aanwezig is, zal gesproken worden van een objectgeluid. De overige geluiden zullen aangeduid worden als achtergrondgeluid. Welk van meer geluiden het objectgeluid is hangt ervan af welk geluid op een bepaald moment het object van karakterisering is, bijvoorbeeld wat betreft de luidheid.)

Dat genoemde luidheidmaten niet in het algemeen voldoen voor objectgeluiden wordt veroorzaakt doordat achtergrondgeluid de luidheid van een objectgeluid kan reduceren. Treedt luidheidsreductie op, maar blijft een objectgeluid hoorbaar, dan spreekt men van partiële maskering. Wordt de luidheid gereduceerd tot nul, dan is er sprake van totale maskering. (In het vervolg kan 'maskering' zowel partiële als totale maskering aanduiden).

De Zwicker-sone biedt aanknopingspunten om ook de luidheid van gemaskeerde geluiden te bepalen. In dit hoofdstuk wordt daarom het model waarop de Zwicker-sone is gebaseerd toegelicht (4.1). Daarna wordt het model algemener geformuleerd, zodat het ook van toepassing is op gemaskeerde geluiden (4.2). In een derde paragraaf (4.3) wordt een alternatieve methode om gemaskeerd geluid te karakteriseren uiteengezet en besproken. Ook worden daar punten voor nader onderzoek met betrekking tot het model van Zwicker aangegeven. Ten slotte wordt in (4.4) besproken hoe de voor afzonderlijke momenten bepaalde sonewaarden samengevat kunnen worden in een luidheidsindex voor een bepaalde periode.

#### Overzicht van enkele in dit hoofdstuk en de bijlage gebruikte symbolen

$L$	:	het geluid(druk)niveau (in dB) van een willekeurig geluid.
$L_T$	:	het geluidniveau (in dB) van een juist hoorbare zuivere toon T.
$a_v$	:	het verschil (in dB) tussen het kritischebandniveau van een ruis met in alle kritische banden een gelijk niveau en het geluidniveau van een daarbij juist hoorbare zuivere toon. De waarde van $a_v$ is afhankelijk van de frequentie van de toon.
$L_E$	:	het excitatieniveau (in dB) van een objectgeluid in een bepaalde kritische band, gedefinieerd door $L_E = L_T + a_v$ . Hierbij is de frequentie van T gelijk aan de midden-frequentie van de kritische band en

wordt de waarnemingsdrempel van T bepaald door het objectgeluid. In principe moet voor  $a_v$  de waarde worden genomen die bij de frequentie van T hoort. In het vervolg wordt echter voor de definitie van  $L_E a_v$  op 3 dB gesteld.

- $L_M$  : het excitatieniveau (in dB) van een achtergrondgeluid in een bepaalde kritische band, gedefinieerd door  $L_M = L_T + a_v$ . Hierbij is de frequentie van T gelijk aan de midden-frequentie van de kritische band en wordt de waarnemingsdrempel van T bepaald door het uitwendige achtergrondgeluid. In principe moet voor  $a_v$  de waarde worden genomen die bij de frequentie van T hoort. In het vervolg wordt echter voor de definitie van  $L_M a_v$  op 3 dB gesteld.
- $L_{GR}$  : het excitatieniveau (in dB) van de inwendige (achtergrond) ruis in een bepaalde kritische band, gedefinieerd door  $L_{GR} = L_T + a_v$ . Hierbij is de frequentie van T gelijk aan de middenfrequentie van de kritische band en wordt de waarnemingsdrempel van T bepaald door de inwendige achtergrondruis. In principe moet voor  $a_v$  de waarde worden genomen die bij de frequentie van T hoort. In het vervolg wordt echter voor de definitie van  $L_{GR} a_v$  op 3 dB gesteld.
- $E/E_0$  : de mate van excitatie gedefinieerd door  $E/E_0 = 10^{L_E/10}$ .
- $E_m/E_0$  : de mate van excitatie gedefinieerd door  $E_m/E_0 = 10^{L_M/10}$ .
- $E_{gr}/E_0$  : de mate van excitatie gedefinieerd door  $E_{gr}/E_0 = 10^{L_{GR}/10}$ .
- $N'$  : ongemaskeerde specifieke luidheid (in sone/Bark) bij een bepaalde kritische band berekend volgens vergelijking (21).
- $N$  : ongemaskeerde luidheid (in sone).
- $N'_{mask}$  : gemaskeerde specifieke luidheid (in sone/Bark), gedefinieerd als  $\text{fact}(L_M, L_E - L_M) \cdot N'_*$ . Hierbij is

fact( $L_M$ ,  $L_E - L_M$ ) een volgens (28) gedefinieerde tussenwaarde en  $N_x'$  een volgens (26) gedefinieerde tussenwaarde.

$N_{\text{mask}}$  : gemaskeerde luidheid (in sone).

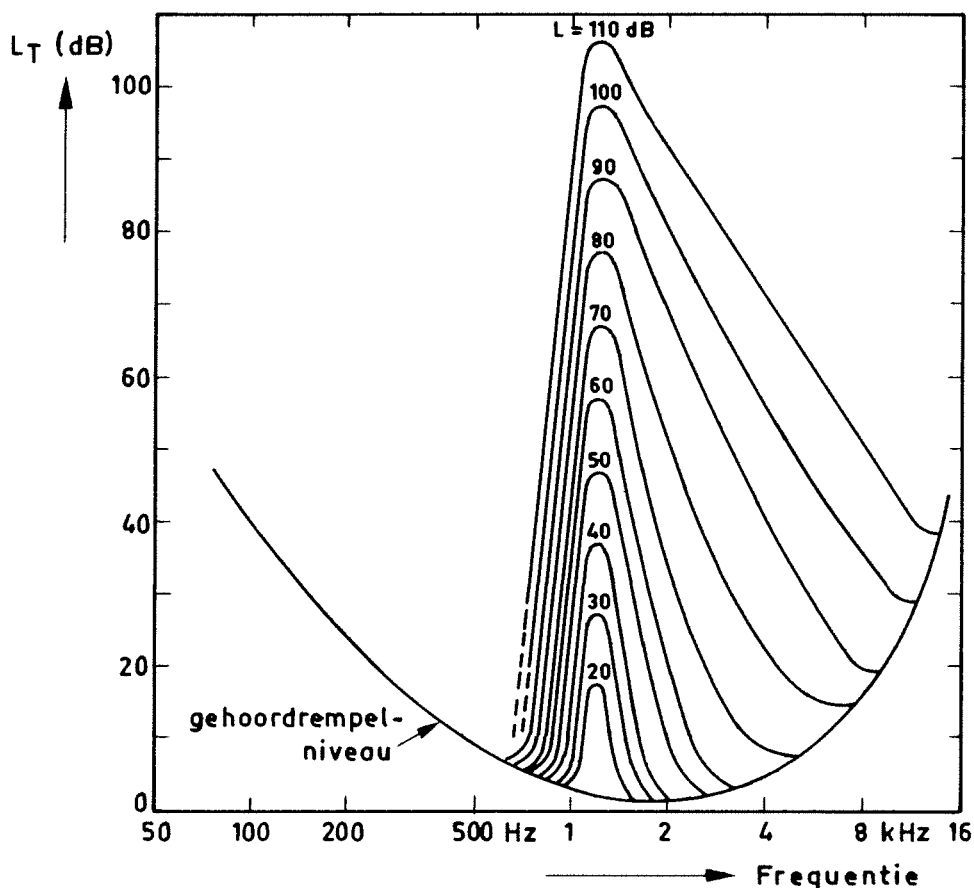
#### 4.1 Luidheidbepaling volgens het model van Zwicker

Belangrijk voor het Zwicker-model zijn de zogenaamde maskeercurven. Een maskeercurve voor een bepaald geluid wordt verkregen door bij de aanwezigheid van dit geluid de drempelniveaus voor zuivere tonen over het gehele hoorbare frequentiespectrum te bepalen. Maiwald definieert de maskeercurve als "... den Schalldruckpegel  $L_T$ <sup>1)</sup> des gerade hörbaren Testtones in Abhängigkeit von der Frequenz  $f_T$  dieses Testtones bei gleichzeitiger Anwesenheit eines verdeckenden Schalles ...". (Maiwald, 1967: 70). In Figuur 7 is een aantal maskeercurven weergegeven. Het maskerende geluid is hier een smalle ruisband rond 1200 Hz.

Uit een maskeercurve (met gecorrigeerde geluidniveaus van de testtonen) kan een zogenaamde excitatieniveaucurve voor de maskeerder worden bepaald. Dit wordt gedaan door de maskeercurve 3 dB 'omhoog' te schuiven:  $L_E = L_T + 3$ , met  $L_T$  het niveau van een in de maskeerder juist hoorbare testtoon. De reden van deze verschuiving is dat het niveau van een juist hoorbare testtoon onder dat van zijn maskeerder ligt. Neem bijvoorbeeld de situatie waarin de maskeerder een ruis is met in alle kritische banden een gelijk niveau. Een toon die in deze ruis wordt aangeboden is reeds hoorbaar als het niveau van de toon nog onder het kritischebandniveau van de ruis ligt. Bij lage frequen-

---

1) Een geluiddruk of een geluidniveau dient te worden gecorrigeerd voor de frequentie-afhankelijke transmissie, die wordt bepaald door de vorm van het menselijk hoofd, de gehoorgang en het middenoor. De transmissiekarakteristiek is verschillend voor de vrije-veldconditie en de diffuse-veldconditie. Als bij de bespreking van Zwickers model over geluiddruk of geluidniveau wordt gesproken, wordt telkens aangenomen dat de transmissiecorrectie is aangebracht, tenzij het tegendeel wordt vermeld. In de definitie van Maiwald wordt met  $L_T$  het ongecorrigeerde geluidniveau bedoeld. Ook in de illustratie, Figuur 7, zijn gehoordrempel(geluid)niveau en  $L_T$  niet gecorrigeerd.



Figuur 7. Het maskerend effect van een smalle ruisband rond 1200 Hz.  $L_T$  is het geluidniveau van een juist hoorbare testtoon bij aanwezigheid van een dergelijke ruisband. Parameter  $L$  is het niveau van de ruisband. (Naar Zwicker, 1958).

ties ligt het niveau van een juist hoorbare testtoon 2 dB onder het kritischebandniveau. Het verschil tussen het kritischebandniveau van de ruis en het niveau van een juist hoorbare testtoon ( $a_v$ ) is bij 1000 Hz 3 dB en loopt bij hogere frequenties op tot 6 dB. De verschuiving van de maskeercurve, die wordt uitgevoerd om de excitatieniveaucurve van de maskeerder te verkrijgen, is gebaseerd op het verschil tussen het testtoonniveau en kritische bandniveau van genoemde maskerende ruis bij 1000 Hz.

Het effect van de verschuiving van 3 dB om een excitatieniveaucurve te verkrijgen uit een maskeercurve kan worden toegelicht aan de hand van Figuur 7. In deze figuur is te zien dat de toppen van de maskeer-

curven onder het niveau van de maskerende ruisband liggen. Door een verschuiving omhoog van 3 dB ontstaan curven waarvan het excitatieniveau bij de top (ongeveer) overeenkomt met het gemeten geluidniveau van de maskeerder.

Een interpretatie van excitatieniveaucurven is dat ze corresponderen met de door het maskerende geluid teweeggebrachte excitatie in het Orgaan van Corti (Zwicker en Scharf, 1965: 6). Opvallend is, in termen van deze interpretatie, de spreiding van de excitatie over de frequentie. De in Figuur 7 weergegeven curven zijn samengesteld aan de hand van experimenten met een smalle ruisband als maskeerder. De door deze ruis opgewekte excitatie spreidt zich ook uit over de frequentiegebieden buiten de smalle frequentieband van de ruis. In het bijzonder vindt ook excitatie plaats in de aan de band grenzende hogere frequenties.

Voor het gebruik van excitatieniveaucurven bij de luidheidbepaling wordt de frequentieschaal omgezet van Hz in Bark (naar de Duitse akoesticus Barkhausen). De Bark-schaal is zo gekozen dat een Bark overeenkomt met de breedte van een kritische band. De indeling van het frequentiespectrum in kritische banden wordt ingegeven door eigenschappen van het gehoor (zie bijvoorbeeld Zwicker, Flottorp en Stevens, 1957; Zwicker, 1961). De breedte van de verschillende kritische banden is af te lezen uit Tabel 1\*). In een excitatieniveaucurve zoals bij de luidheidbepaling wordt gebruikt is dus het excitatieniveau  $L_E$ , in dB, uitgezet als functie van een van de frequentie afgeleide maat  $z$ , in Bark.

De in het vervolg gebruikte aanduiding van de mate van excitatie  $E/E_0$  is gedefinieerd door  $E/E_0 = 10^{1/10} L_E$ . Hierbij kan  $E$  worden opgevat als excitatie in het Orgaan van Corti, uitgedrukt in een onbekende eenheid, en  $E_0$  als een referentie-excitatie. De referentie-excitatie is de excitatie die wordt opgewekt door een 1000 Hz toon van  $10^{-16}$  watt/centimeter<sup>2</sup> (= de geluidintensiteit die bij 1000 Hz juist waarneembaar is).

---

\*) Een formule voor  $z$  in Bark als functie van  $f$  in kHz is (Zwicker, 1982: 67):  $z = 13 \arctan (0,76 \cdot f) + 3,5 \arctan (0,13 \cdot f)^2$ .

Tabel 1 De middenfrequentie, grensfrequentie en bandbreedte voor de kritische banden.

Kritische bandnummer	middenfrequentie Hz	grensfrequentie Hz	bandbreedte Hz
1	50	20	80
2	150	100	100
3	250	200	100
4	350	300	100
5	450	400	110
6	570	510	120
7	700	630	140
8	840	770	150
9	1000	920	160
10	1170	1080	190
11	1370	1270	210
12	1600	1480	240
13	1850	1720	280
14	2150	2000	320
15	2500	2320	380
16	2900	2700	450
17	3400	3150	550
18	4000	3700	700
19	4800	4400	900
20	5800	5300	1100
21	7000	6400	1300
22	8500	7700	1800
23	10500	9500	2500
24	13500	12000	3500
		15500	

Om de luidheid uit excitatieniveaucurven af te leiden is het noodzakelijk de relatie tussen luidheid en excitatie te kennen. Uitgangspunt is hierbij de algemene wet van Stevens (Stevens, 1957), volgens welke gelijke relatieve intensiteitstoename resulteren in gelijke relatieve toename van waargenomen sterktes. Geformuleerd voor de luidheid betekent dit:

$$\frac{\Delta N}{N} = k' \frac{\Delta E}{E} \quad (11)$$

Hierin staat  $N$  voor luidheid (in sone) en  $E$  voor de excitatie van een geluid.

De bovenstaande relatie geldt voor de excitatie binnen een kritische band: "The critical band or Bark provides a constant unit over which the excitation can be converted to loudness by means of a single equation". (Zwicker en Scharf, 1965: 9). Deze luidheid per kritische band krijgt in het model een aparte naam - specifieke luidheid - en een apart symbool  $N'$ , en wordt uitgedrukt in sone/Bark. Vergelijking (11) gaat hiermee over in:

$$\frac{\Delta N'}{N'} = k \frac{\Delta E}{E} \quad (12)$$

Bij de gehoordrempel is de luidheid per definitie 0; om vergelijking (12) ook in het gebied direct boven de drempel te laten gelden moet er aan de beide noemers een constante worden toegevoegd. Conceptueel kan een fysiologische achtergrondruis verondersteld worden, die de excitatie  $E_{gr}$  teweegbrengt;  $E_{gr}$  correspondeert dan met  $N'_{gr}$ . Vergelijking (12) wordt:

$$\frac{\Delta N'}{N' + N'_{gr}} = k \frac{\Delta E}{E + E_{gr}} \quad (13)$$

Vergelijking (13) is op te vatten als een differentiaalvergelijking; integreren levert:

$$\lg (N' + N'_{gr}) = k \lg (E + E_{gr}) + C \quad (14a)$$

ofwel:

$$N' + N'_{gr} = C (E + E_{gr})^k \quad (14b)$$

Dus, de wet van Stevens impliceert in de gecorrigeerde vorm ((13)) dat  $N' + N'_{gr}$  een machtsfunctie is van  $E + E_{gr}$ .

De plausibele veronderstelling  $N' = 0$  als  $E$  zeer klein is leidt voor de integratieconstante  $C$  tot:



$$N'_{gr} = C (E_{gr})^k \quad (15a)$$

zodat

$$C = \frac{N'_{gr}}{(E_{gr})^k} \quad (15b)$$

Als ervan uitgegaan wordt dat de (fysiologische) achtergrondruis het gehoordrempelniveau bepaalt door een maskerende werking, kan het niveau van deze ruis ten opzichte van het gehoordrempelniveau van tonen uitgedrukt worden. Eerder is namelijk aangegeven dat tussen maskeerder en gemaskeerde 2 tot 6 dB verschil in niveau bestaat. In het vervolg wordt voor dit verschil één waarde gehanteerd, namelijk de bij 1000 Hz horende waarde van 3 dB. Dan geldt dus dat:

$$L_{GR} = L_T + 3 \quad (16)$$

waarin  $L_T$  het gehoordrempelniveau is van een zuivere toon.

Substitutie van (15) in (14b) geeft:

$$N' = N'_{gr} \left[ \left( \frac{E}{E_{gr}} + 1 \right)^k - 1 \right] \quad (17)$$

Om nu  $N'_{gr}$  als functie van  $E_{gr}/E_0$  uit te kunnen drukken wordt  $N'_{gr_0}$  geïntroduceerd. Gebruikmakend van (15) levert dat:

$$\frac{N'_{gr}}{N'_{gr_0}} = \frac{C (E_{gr})^k}{C (E_0)^k} = \left( \frac{E_{gr}}{E_0} \right)^k$$

zodat:

$$N'_{gr} = N'_{gr_0} \cdot \left( \frac{E_{gr}}{E_0} \right)^k \quad (18)$$

Vergelijking (17) kan nu herschreven worden als:

$$N' = N'_{gr_0} \left(\frac{E}{E_0}\right)^k \cdot \left[\left(\frac{E}{E_{gr}} + 1\right)^k - 1\right] \quad (19)$$

$N'_{gr_0}$  is hierin een arbitraire constante die de eenheden bepaalt waarin de specifieke luidheid  $N'$  wordt gemeten.

De totale luidheid van een bepaald geluid,  $N$ , wordt nu berekend door de bij dit geluid behorende specifieke luidheden te vermenigvuldigen met de breedte van de bijbehorende kritische banden (= 1 Bark), en het resultaat te sommeren over alle kritische banden:

$$N = \sum_{z=1}^{24} N'_z \quad \text{sone} \quad (20)$$

Voor de luidheidbeoordeling van geluiden van zeer verschillende spectrale samenstelling leverde  $k = 0,23$  de beste 'fit'. De arbitraire constante  $N'_{gr_0}$  wordt zodanig gekozen dat een 1000Hz-toon bij 40 dB een luidheid van 1 sone oplevert.

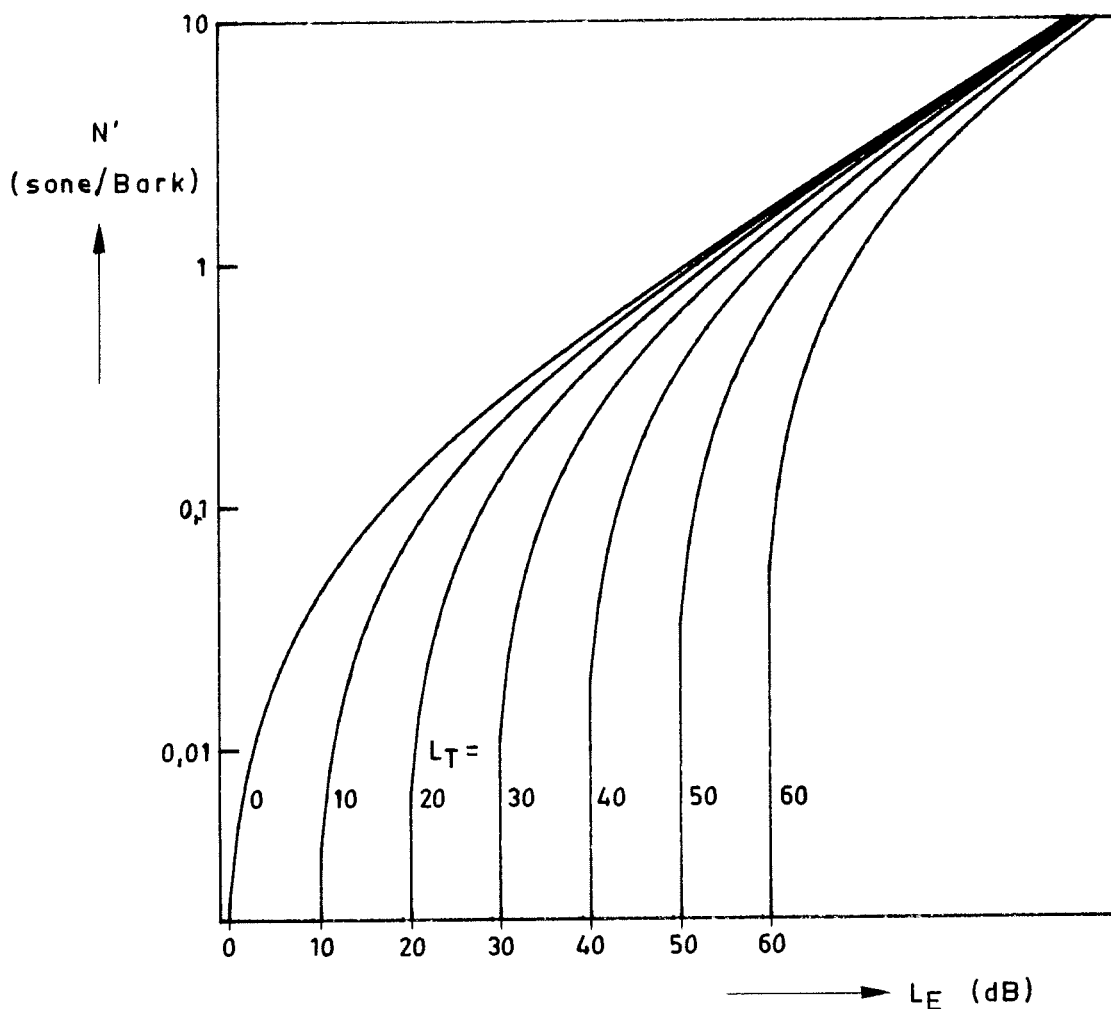
De uiteindelijke vergelijking voor de specifieke luidheid wordt hiermee:

$$N' = 0,068 \left(\frac{E}{E_0}\right)^{0,23} \cdot \left[\left(\frac{E}{E_{gr}} + \frac{1}{2}\right)^{0,23} - 1\right] * \text{sone/Bark} \quad (21)$$

---

\* Hierin is  $\left(\frac{E}{E_{gr}} + 1\right)$  vervangen door  $\left(\frac{E}{E_{gr}} + \frac{1}{2}\right)$  om  $N' = 0$  te laten zijn als  $E$  de gehoordrempelwaarde nadert, dus als  $L_E = L_{GR} - 3$  ofwel als  $E = \frac{1}{2}E_{gr}$ .

In de onderstaande figuur zijn voor een aantal waarden van  $L_T$ , dit is het geluidniveau bij de gehoordrempel, de curven van de specifieke luidheid als functie van het excitatieniveau  $L_E$  gegeven.



Figuur 8. De specifieke luidheid  $N'$  als functie van het excitatieniveau volgens vergelijking (11). Parameter is het gehoordrempelniveau.

Met behulp van het hierboven geschetste model kan de luidheid (in sone) van ieder op zichzelf voorkomend geluid bepaald worden. Startpunt van de berekening is de excitatieniveaucurve van het geluid. Dit kan - zoals hierboven uiteengezet - uit de door het beschouwde geluid teweeggebrachte maskeercurve afgeleid worden. In de praktijk zou het echter nogal omslachtig zijn om eerst voor ieder geluid het maskeerpatroon experimenteel vast te stellen.

In plaats daarvan kan het maskeerpatroon vastgesteld worden aan de hand van een beperkt aantal (standaard)maskeercurven (als in Figuur 7). Als standaardmaskeercurven worden maskeercurven van zuivere tonen of smalbandruisen genomen. (Als de frequentie van een toon gelijk is aan de middenfrequentie van een smalbandruis en als bovendien de geluidniveaus gelijk zijn, zijn de maskeercurven vrijwel identiek). De vorm van de maskeercurven van smalbandruisen is afhankelijk van het geluidniveau en de middenfrequentie van de ruis. De vorm van de curven verandert echter zo geleidelijk als functie van deze twee variabelen, dat met een beperkt aantal standaardcurven alle mogelijke curven voor smalbandruisen goed gerepresenteerd worden.

Het maskeerpatroon van een willekeurig geluid kan nu vastgesteld worden door als eerste stap de geluidniveaus, in dB, per kritische band vast te stellen. Vervolgens wordt telkens voor het niveau in een kritische band en de middenfrequentie van de beschouwde band de bijbehorende standaardmaskeercurve gezocht. Deze procedure levert dus voor iedere kritische band een maskeercurve op. Voor één kritische band zijn zodoende meer geluidniveaus voorhanden: dat van de standaardcurve horend bij de betreffende band en die van de (flanken van) de standaardcurven horend bij de omringende banden. Door nu voor iedere kritische band deze verschillende geluidniveaus (energetisch) te sommeren wordt het geluidniveau van het totale geluid in de betreffende kritische band verkregen. De totaalniveaus per kritische band tezamen definiëren het maskeerpatroon van het totale geluid.

Uit het maskeerpatroon is op eenvoudige, eerder beschreven wijze door 'verschuiving' het excitatieniveaupatroon vast te stellen. Aan de hand van het excitatieniveaupatroon kunnen met behulp van vergelijking (21) de specifieke luidheden voor de afzonderlijke kritische banden bepaald worden. Sommatie van deze specifieke luidheden volgens (20) geeft de luidheid van het geluid.

Door Paulus en Zwicker (1972) is een FORTRAN-IV-programma gepubliceerd waarmee de bepaling van sone-waarden geautomatiseerd uitgevoerd kan worden. De invoer voor dit programma bestaat uit de kritischebandniveaus van het geluid waarvan de luidheid bepaald moet worden.

Ook is er een versie die werkt met de tertsbandsniveaus. De reden hiervoor is dat kritischebandfilters niet algemeen beschikbaar zijn. De uitvoer van het programma is een sone-waarde.

Over het algemeen kan gesteld worden dat het model redelijk tot goed met de subjectieve metingen overeenstemt (zie bijvoorbeeld Zwicker, 1966; Scharf en Hellman, 1978; Van Wyk, 1981). Zelf stelt Zwicker: "Given the difficulty of the loudness judgements and the many steps in the loudness calculation in this complex situation, the model fares well, not only in the qualitative analysis, but also in the quantitative calculations". (Zwicker en Scharf, 1965: 19).

#### 4.2 Bepaling van gemaskeerde luidheid: een algemenere formulering van Zwickers model

Het in de vorige paragraaf beschreven model voor de luidheidbepaling is van toepassing op afzonderlijk voorkomende geluiden. Als er meer geluiden tegelijk aanwezig zijn, is het model, in het algemeen gesproken, niet toepasbaar. De reden hiervoor is dat het model de invloed van achtergrondgeluid op een objectgeluid niet beschrijft. Deze invloed kan bestaan uit een reductie in de luidheid van het objectgeluid, in het extreme geval tot luidheid nul. In deze paragraaf zal getracht worden het reeds geschetste model zo uit te breiden dat de invloed van achtergrondgeluid op de luidheid van een objectgeluid verdisconteerd wordt.

Voor de vergelijking voor de specifieke (ongemaskeerde) luidheid (21) was een aangepaste vorm van de wet van Stevens (13) het uitgangspunt. In deze aanpassing wordt de invloed van een inwendige, fysiologische ruis op de specifieke luidheid verwerkt. De aanwezigheid van deze ruis wordt als oorzaak gezien van het niet hoorbaar zijn van geluiden beneden de gehoordrempel. De ruis maskeert als het ware geluiden beneden de gehoordrempel. Het is nu op voorhand niet onredelijk te veronderstellen dat een (uitwendig) achtergrondgeluid op vergelijkbare wijze een bovendrempelig objectgeluid beïnvloedt. Immers, kwalitatief wordt zowel de invloed van een inwendige ruis als de invloed van een uitwendig achtergrondgeluid beschreven als maskering.

Een eerste poging om de invloed van achtergrondgeluid in het model voor de luidheidbepaling in te brengen kan bestaan uit het vervangen van geven van de variabele  $E_{gr}/E_0$  in (21) door het maximum van  $E_{gr}/E_0$  en  $E_m/E_0$ . Hierbij staat  $E_{gr}/E_0$  voor de mate van excitatie die voor de desbetreffende kritische band afgeleid kan worden uit het gehoordrempelniveau.  $E_m/E_0$  staat voor de waarde die uit de maskeercurve van een maskerend (achtergrond)geluid voor de betreffende band afgeleid kan worden. De voorgestelde uitbreiding van het model wordt ingegeven door het idee dat de maskeercurve voor een uitwendig geluid is, wat de gehoordrempelcurve voor de inwendige ruis is.

De aangegeven handelwijze wordt ondersteund door de constatering dat zowel wanneer een geluid juist boven externe ruis uitkomt als wanneer een geluid boven een interne ruis uitkomt de luidheidstoename gekenmerkt wordt door 'recruitment' (Hellman en Zwislocki, 1964; Lochner en Burger, 1961; Stevens, 1965; Stevens en Guirao, 1967). Recruitment is hier het fenomeen dat de luidheidstoename van een geluid dat boven de detectiedrempel komt steiler verloopt naarmate de detectiedrempel hoger ligt. Dit fenomeen treedt zowel op als de drempel door een interne ruis bepaald wordt, als ook wanneer een externe maskeerder de waarnemingsdrempel bepaalt.

De boven uiteengezette wijziging geeft een model dat toegepast kan worden om de luidheid van ieder geluid, ongeacht het al dan niet aanwezig zijn van verdere geluiden, te bepalen. De enige wijziging ten opzichte van het oorspronkelijke model is dat de mate van excitatie die in (21) op de plaats van  $E_{gr}/E_0$  komt te staan nu óf uit het gehoordrempelniveau óf uit het niveau van de maskeercurve van het achtergrondgeluid in de betreffende kritische band wordt afgeleid. Uit de grootste van deze twee niveaus wordt de in te vullen mate van excitatie bepaald. De verdere bepaling van de specifieke luidheden en de luidheid van het al dan niet gemaskeerde objectgeluid gebeurt ongewijzigd.

Bij het testen van het model voor het nieuwe toepassingsgebied bleek dat de luidheid van gedeeltelijk gemaskeerde geluiden met dit model onderschat wordt (Zwicker, 1963: Bild 21; Scharf, 1964: 22). De specifieke-luidheid curven blijken steiler te zijn als de maskerende

excitatie afkomstig is van een uitwendig achtergrondgeluid. Aan de hand van empirische gegevens heeft Zwicker een stel curven samengesteld die in situaties met (gedeeltelijke) maskering in plaats van de in Figuur 8 gegeven curven gebruikt moeten worden (Zwicker, 1963: Bild 23). Een nieuwe formule voor specifieke luidheid geeft hij echter niet. De vergelijking voor de ongemaskeerde specifieke luidheid (21) was afgeleid van de wet van Stevens. Een dergelijke afleiding zou voor de gemaskeerde specifieke luidheid niet mogelijk zijn "... zumal offenbar eine Abhängigkeit des Verlaufs der Lautheitskurven vom Pegel des gedrosselten Geräusches vorhanden ist" (Zwicker, 1963: 209).

De bijgestelde curven worden hier niet afgebeeld. In de, op het IMG-TNO ontwikkelde, aangepaste versie van het programma van Paulus en Zwicker (1972) om de luidheid te bepalen zijn de curven wel verwerkt.

In de Bijlage wordt ingegaan op de belangrijkste verschillen van de aangepaste versie ten opzichte van de originele versie van het programma om luidheid te bepalen. De aangepaste versie neemt de tertsbandniveaus van een geluid en, als het om een gemaskeerd geluid gaat, de tertsbandniveaus van de maskeerder als invoer. De uitvoer is een luidheidswaarde. Bij de bepaling hiervan wordt, indien gewenst, rekening gehouden met de invloed van het achtergrondgeluid op de luidheid van het geluid in kwestie.

#### 4.3 Bepaling van gemaskeerde luidheid: de benadering van Stevens/Powell

De stelling dat perceptuele grootheden als helderheid en luidheid door middel van een machtsfunctie gerelateerd zijn aan de bijbehorende fysische continua staat bekend als (een implicatie van) de wet van Stevens. De wet van Stevens is een belangrijk element van het reeds beschreven model van Zwicker voor de luidheid. Zwicker gaat er in zijn model van uit dat de wet van Stevens alleen geldig is voor de (specifieke) luidheid in relatie tot de excitatie in een kritische band. Stevens zelf echter acht de wet geldig voor de relatie tussen het totale geluidniveau en de luidheid. In 1955 publiceerde hij een machtsfunctie voor een 1000Hz-toon (Stevens, 1955). Deze functie is

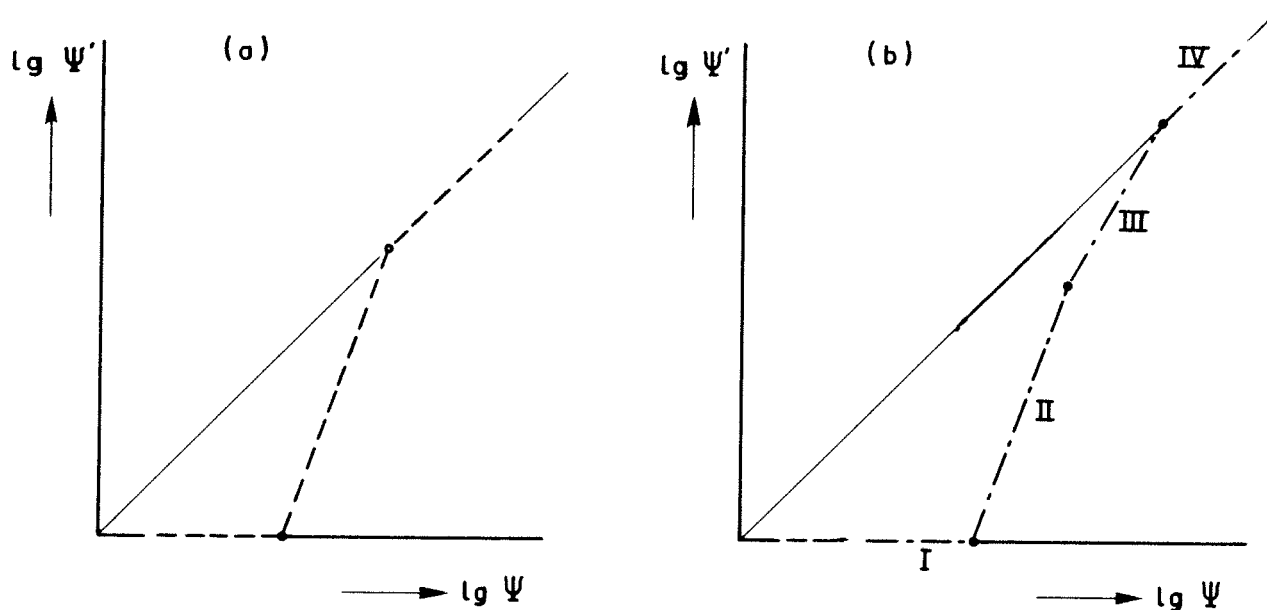
later, met een kleine aanpassing, vastgelegd in een ISO-norm (ISO R131, 1959). Uit de in 1955 gepubliceerde gegevens blijkt echter direct al dat deze machtsfunctie alleen voor 1000 Hz-tonen opgaat. Voor geluiden met andere spectrale samenstelling (tonen met andere frequentie, breedbandige geluiden) moeten de parameters, zo er al sprake is van een machtsfunctie, op andere waarden worden gesteld (zie ook Stevens, 1965). Een probleem dat zich onmiddellijk voordoet bij het specificeren van de parameterwaarden voor de verschillende typen geluid, is een manier te vinden om typen geluid te omschrijven.

Dit probleem is hier aangestipt omdat het eveneens optreedt bij de luidheidbepaling van (gedeeltelijk) gemaskeerde geluiden volgens Stevens en, op diens werk voortbouwend, volgens Powell (Stevens, 1965; Powell, 1979b). Zij stellen namelijk dat de luidheid van een objectgeluid door een combinatie van machtsfuncties aan het geluidniveau van het objectgeluid gerelateerd is.

Volgens Stevens is de groei van de luidheid bij een toeneming van het geluidniveau goed weer te geven door de geluidniveaus van het objectgeluid in drie segmenten in te delen. Bij de laagste niveaus is het geluid onhoorbaar (totaal gemaskeerd). Bij de hoogste niveaus geldt dezelfde machtsfunctie als wanneer geen achtergrondgeluid aanwezig is. En bij de middenniveaus geldt een aparte machtsfunctie (zie Figuur 9a). Powell deelt de geluidniveaus in vier in plaats van in drie delen in en veronderstelt een machtsfunctie extra (zie Figuur 9b).

Het boven aangestipte probleem met betrekking tot de specificatie van de machtsfuncties geldt bij deze voorstellen in twee- respectievelijk drievoud: voor ieder type geluid ziet een machtsrelatie tussen geluidniveau en luidheid er anders uit. De behandeling van het probleem bij elk van beide modellen is onbevredigend: er wordt overheengestapt. Powell gaat zelfs zo ver dat hij niet alleen veronderstelt dat bepaalde machtsfuncties de (gemaskeerde) luidheid specificeren voor momentane geluidniveaus van alle typen omgevingsgeluid, maar tevens voor de  $L_{eq}$ -niveaus van vaak qua geluidniveau fluctuerende omgevingsbronnen.





Figuur 9. In (a) is de benadering van Stevens geïllustreerd.  $\psi$  is de luidheid van een geluid bij afwezigheid van een maskeerder en  $\psi'$  is de luidheid van het overigens zelfde geluid bij aanwezigheid van een maskeerder. Aangezien  $\psi$  en  $\psi'$  machtsfuncties zijn van het geluidniveau (voor  $\psi'$  geldt dit per geluidniveausegment) is  $\psi'$  een machtsfunctie van  $\psi$  (per segment van  $\psi$ ). Bij lage niveaus van  $\psi$  wordt het gemaskeerde geluid onhoorbaar, bij hoge niveaus wordt de luidheid niet beïnvloed door de maskeerder. In (b) is de benadering van Powell geïllustreerd. De verschillende segmenten zijn genummerd.

De methode van Stevens is te weinig uitgewerkt om te kunnen worden toegepast. Hij volstaat met te tonen dat de data uit de verschillende experimenten met curven als in Figuur 9a weer te geven zijn. Het verloop van de segmenten uit de curven blijkt afhankelijk te zijn van het niveau van het achtergrondgeluid en van de typen geluid waarmee geëxperimenteerd wordt.

Powell doet algemene uitspraken over het verloop van de curven.

De bezwaren die tegen de methode van Powell zijn genoemd zijn echter reden om van het gebruik van de methode af te zien. De conclusie hier is dezelfde als die waar Scharf toe komt: "... if the prime purpose is to analyse possible interactions within the auditory system or to predict loudness under masking and for narrow band signals, then Zwicker's system is better" (Scharf, 1978: 227).

Het moet echter worden vermeld dat bepaalde aspecten van Zwickers systeem voor toepassing op gemaskeerd geluid nader onderzocht dienen te worden. In volgorde van belangrijkheid zijn vier punten voor nader onderzoek:

- Het testen van het model bij toepassing op breedbandige geluiden die gemaskeerd worden door breedbandig geluid. De specifieke luidheidcurven voor situaties met maskering zijn ontwikkeld aan de hand van gegevens over gedeeltelijk gemaskeerde 1000Hz-tonen (Zwicker, 1963: 207-208). Toegepast bij de bepaling van gedeeltelijk gemaskeerde tonen leidt het gebruik van deze curven tot een bevredigend resultaat (Gleiss en Zwicker, 1963). Bij toepassing op een breedbandige geluid die gedeeltelijk gemaskeerd is door een breedbandige ruis is nader onderzoek gewenst omdat in een dergelijk geval vrijmaking van maskering eerder schijnt plaats te vinden dan voorspeld wordt met de (aangepaste) curven voor specifieke luidheid (Zwicker, 1963: 209).
  
- Het nagaan of de luidheid van signalen ook bij hoge niveaus van een maskeerder asymptotisch de luidheid van ongemaskeerde signalen nadert. Er zijn aanwijzingen dat de luidheid van het signaal bij hoge maskeerdersniveaus altijd onder de ongemaskeerde luidheid ligt, ook als het signaalniveau hoog is ten opzichte van dat van de maskeerder (Scharf, 1978: 212; Stevens en Guirao, 1967, fig. 7 en 8; Zwicker, 1963: Bild 13). Het niet asymptotisch naderen tot de ongemaskeerde luidheid kan betekenen dat de

specifieke luidheidcurven voor gemaskeerde geluiden bijgesteld moeten worden.

- Het verwerken in het luidheidmodel van de relatie tussen  $a_v$  en de frequentie (zie Zwicker, 1963: 196; Zwicker, 1982: Abb. 13.6; Zwislocki, 1978: 292 vergelijking (11)). De eerder voorgestelde manier om het excitatieniveaupatroon te verkrijgen, namelijk door het maskeerpatroon over het gehele frequentiebereik 3 dB omhoog te schuiven zou vervangen kunnen worden door een verschuiving per kritische band ter grootte van bij die band behorende  $a_v$ -waarde.
- Het bepalen van het verloop van de aangepaste specifieke luidheidcurven aan de hand van gemaskeerde tonen met een andere frequentie dan 1000 Hz. Het kan dan vastgesteld worden in hoeverre deze curven afhankelijk zijn van de frequentie van de toon waarmee ze bepaald zijn.

De volgorde van de vier punten voor nader onderzoek is afgestemd op het verwachte belang voor toepassing van het model op omgevingsgeluid.

#### 4.4 Indexen op basis van de Zwicker-sone

In de voorgaande paragrafen is besproken hoe de luidheid van geluid gekarakteriseerd kan worden. Een methode is het bepalen van de sone-waarde. In het geval dat geluid afkomstig is van een omgevingsbron zal de sone-waarde vaak van moment tot moment veranderen. Om de blootstelling van bewoners aan een omgevingsbron over een langere periode te typeren moeten de afzonderlijke sone-waarden samengevat worden in een index. Standaardindexen om dB(A)-waarden samen te vatten zijn bijvoorbeeld  $L_{Aeq}$  of  $L_{A90}$ , beide vastgesteld voor een gespecificeerde periode. Voor sone-waarden zijn geen standaardindexen beschikbaar. In deze paragraaf zullen enige indexen voorgesteld worden, waarmee sone-waarden samengevat kunnen worden.

Een eerste index zal worden aangeduid als  $L_{Seq}$ . Het  $L_{Seq}$  wordt als volgt bepaald. Met behulp van de inverse van de specifieke luidheidsfunctie (zie (21)) worden sone-waarden omgezet in  $E/E_0$ -waarden. Voor  $E_{gr}/E_0$  wordt hierbij de waarde genomen die behoort bij de kritische band rond de 1000 Hz. De zo voor de relevante periode verkregen  $E/E_0$ -waarden worden daarna gemiddeld. Het resultaat van deze middeling wordt ingevoerd in vergelijking (21). De  $E_{gr}/E_0$ -waarde is weer de bij 1000 Hz behorende waarde. De zo verkregen (specifieke) luidheidswaarde wordt hier aangeduid met  $L_{Seq}$ .

Een ander type index is wat hier aangeduid zal worden als  $L_{S10}$ . Dit wordt gedefinieerd als het sone-niveau dat, in de relevante periode, 10% van de tijd overschreden wordt. Analoog hieraan kunnen ook  $L_{S90}$ ,  $L_{S50}$  enzovoort, worden gedefinieerd.

Een index die gebruikt kan worden als het omgevingsgeluid uit duidelijk onderscheiden gebeurtenissen bestaat, is het  $L_{Smax}$ : het maximum (in sone) dat tijdens een bepaalde periode bereikt wordt.

De bovengenoemde indexen kunnen zowel bepaald worden aan de hand van sone-waarden voor ongemaskeerde geluiden als voor sone-waarden voor gemaskeerde geluiden. Voor een illustratie van het gebruik van genoemde indexen wordt verwezen naar een rapport betreffende de hinder van tram- en wegverkeersgeluid dat in 1985 zal verschijnen (Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Geluidonderzoekreeks, rapport GA-HR-07-01).

5. GERAADPLEEGDE LITERATUUR

1. Åhrlin, U. and R. Rylander  
Annoyance caused by different environmental noises.  
Journal of Sound and Vibration 66 (1979) 3, p. 459-462.
2. Aubree, D.  
La gene due au bruit des trains.  
C.S.T.B., Division Sciences Humaines, Nantes, 1975.
3. Bottom, C.G.  
Letter to the editor. A social survey into annoyance caused by  
the interaction of aircraft noise and traffic noise.  
Journal of Sound and Vibration 19 (1971) 4, p. 473-476.
4. Banks, W.P.  
Signal detection theory and human memory.  
Psychological Bulletin 74 (1970) 2, p. 81-99.
5. Berg van den, M.  
Taking account of cumulative aspects in noise abatement policy-  
some preliminary remarks.  
In: Rossi, G. Noise as a public health problem. Proceedings of  
the fourth International congress, volume I, p. 325-328, Milaan,  
1983.
6. Berglund, B.  
Quantitative approaches in environmental studies.  
International Journal of Psychology 12 (1977) 2, p. 111-123.
7. Berglund, B., U. Berglund, M. Goldstein et al.  
Loudness (or annoyance) summation of combined community noises.  
The Journal of the Acoustical Society of America 70 (1981) 6,  
p. 1628-1634.

8. Berglund, B., U. Berglund, Th. Lindvall  
Scaling loudness, noisiness and annoyance of aircraft noise.  
The Journal of the Acoustical Society of America 57 (1975) 4,  
p. 930-934.
9. Berglund, B., U. Berglund, Th. Lindvall  
Scaling loudness noisiness, and annoyance of community noises.  
The Journal of the Acoustical Society of America 60 (1975) 5,  
p. 1119-1125.
10. Berry, B.F.  
Annoyance due to railway noise and road traffic noise: a further  
comparison.  
Journal of Sound and Vibration 88 (1983) 2, p. 275-281.
11. Buchta, E., C. Buchta, L. Koslowsky, P. Rohland  
Lästigkeit von Schiesslärm; Forschungsbericht 82-105 01314,  
UBA-TB 82-129, Berlijn, Umweltbundesamt, 1982.
12. Clarke, F.R., T.G. Birdsall, W.P. Tanner  
Two types of ROC curves and definitions of parameters.  
The Journal of the Acoustical Society of America 31 (1959),  
p. 629-630.
13. Coombs, C.H., R.M. Dawes, A. Tversky  
Mathematical psychology. An elementary introduction.  
New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1970.
14. Cooper, P.J., I.D. Diamond, C.G. Rice and J.G. Walker.  
Influence of background noise on annoyance responses to aircraft  
noise. Proceedings of the Institute of Acoustics, 1984.
15. Van Dongen, J.E.F.  
De "Wet van behoud van ellende" en de geluidhinder.  
Bouw 13 (1983), p. 51-54.

16. Elliot, P.B.  
Tables of  $d'$ .  
In: Swets, J.A. (Ed.). Signal detection and recognition by human observers, New York, Wiley, 1964.
17. Evans, G.W., S.V. Jacobs, N.B. Frager  
Adaptation to air pollution.  
Journal of Environmental Psychology 2 (1982) 2, p. 99-108.
18. Fastl, H.  
Methodenvergleich zur Lautheitsbeurteilung.  
In: Schick, A. (ed.) Akustik zwischen Physik und Psychologie.  
Klett-Cotta, Stuttgart, 1981, p. 103-109.
19. Fidell, S.  
Nationwide urban noise survey.  
The Journal of the Acoustical Society of America 64 (1978) 1,  
p. 198-206.
20. Fidell, S., R. Horonjeff, S. Teffeteller and K. Pearsons  
Community sensitivity to changes in aircraft noise exposure.  
Bolt, Beranek and Newman inc., 1981.
21. Fields, J.M., J.G. Walker  
Comparison reactions to transportation noises from different surveys: a railway noise vs. aircraft and road traffic comparison.  
Proceedings of the third international congress on noise as a public health problem. ASHA reports 10, p. 580-587, Rockville, Maryland, 1980.
22. Fields, J.M., J.G. Walker  
Comparing the relationships between noise level and annoyance in different surveys: a railway noise vs. aircraft and road traffic comparison.  
Journal of Sound and Vibration 81 (1982), p. 51-80.

23. Finke, H.O., R. Ruski, B. Rohrman et al.  
Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. Bericht über eine interdisziplinäre Untersuchung; Forschungsbericht 80-10501301 (Band 1 + 2), Berlin, Umweltbundesamt, 1980.
24. Gleiss, N., E. Zwicker  
Loudness function in the presence of masking noise.  
The Journal of the Acoustical Society of America, 36 (1964) 2, p. 393-394.
25. Gourevitch, V., E.A. Galanter  
Significance test for one parameter isosensitivity function.  
Psychometrika, 32 (1967), p. 25-33.
26. Graf, P., R. Müller, H.P. Meier  
Sozio-psychologische Fluglärmuntersuchung im Gebiet der drei Schweizer Flughäfen Zürich, Genf, Basel.  
Bern, Arbeitsgemeinschaft für sozio-psychologische Fluglärmuntersuchungen, 1973.
27. Grandjean, E., P. Graf, A. Lauber, H.P. Meier, R. Müller  
A survey of aircraft noise in Switzerland. International Congress on Noise as a Public Health Question. EPA rep. 550/9-73-008.  
Washington, U.S. Environmental Protection Agency, 1973.
28. Green, D.M.  
General predictions relating yes-no and forced choice results.  
The Journal of the Acoustical Society of America 35 (1964), p. 1042.
29. Green, D.M., J.A. Swets  
Signal detection theory and psycho-physics.  
New York, Wiley, 1966.



30. Hall, F.L., S.E. Birnie, S.M. Taylor, J.E. Palmer  
Direct comparison of community response to road traffic noise and to aircraft noise.  
The Journal of the Acoustical Society of America, 70 (1981) 6, p. 1690-1698.
31. Hede, A.J., R.B. Bullen  
Aircraft noise in Australia: a survey of community reactions; N.A.L. report no. 88.  
Canberra, Australian Government Publishing Service, 1982.
32. Heintz, P., A. Meyer, R. Ortega  
Zur Begrenzung der Lärmbelastung. Sozio-psychologische Untersuchungen zur Begrenzung von Eisenbahn-, Strassen- und Rangierlärm. Vergleich der Störwirkungen von Eisenbahn- und Strassenlärm unter konstanten Bedingungen. Zusammenfassender Schlussbericht.  
Zürich, Soziologisches Institut der Universität, 1980.
33. Hellman, R.P., J. Zwislocki  
Loudness function of a 1000 cps tone in the presence of a masking noise.  
The Journal of the Acoustical Society of America, 36 (1964) 9, p. 1618-1627.
34. International Organization for Standardization  
Expression of the physical and subjective magnitudes of sound.  
ISO/R 131-1959 (E).
35. International Organization for Standardization  
Acoustics - Method for calculating loudness level.  
ISO 532-1975 (E).
36. De Jong, R.G.  
Some developments in community response research since the second international workshop on railway and tracked transit system noise in 1978.  
Journal of Sound and Vibration 87 (1983) 2, p. 297-309.

37. Johnston, G.W., A.A. Haasz  
The influence of background noise level and signal duration on the judged annoyance of aircraft noise; report nr. 228.  
Toronto, Institute of Aerospace Studies, 1978.
38. Johnston, G.W., A.A. Haasz  
Traffic background level and signal duration effects on aircraft noise judgement.  
Journal of Sound and Vibration, 63 (1979) 4, p. 543-560.
39. Jurriëns, A.A.  
Implicaties van een keuze van  $L_{NP}$  als beoordelingsmaatstaf; memorandum 73 IG/GL 39.  
Delft, IMG-TNO, 1973.
40. Ko, N.W.M.  
Responses of firemen to aircraft and traffic noise.  
Journal of Sound and Vibration 40 (1975) 2, p. 287-292.
41. Ko, N.W.M. A.S.H. Kwan, W.T. Chan  
Further investigation in the responses of firemen to noise.  
Journal of Sound and Vibration 49 (1976) 4, p. 575-591.
42. Kryter, K.D.  
Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise.  
The Journal of the Acoustical Society of America, 72 (1982) 4, p. 1222-1242.
43. Kryter, K.D.  
Response of K.D. Kryter to modified comments by T.J. Schultz on K.D. Kryter's paper "Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise".  
The Journal of the Acoustical Society of America, 73 (1983) 3, p. 1066-1068.

44. Labiale, G.  
Laboratory study of the influence of noise level and vehicle number on annoyance.  
Journal of Sound and Vibration 90 (1983) 3, p. 361-371.
45. Lee, W.  
Relationship between Thurstone category scaling and signal detection theory.  
Psychological Bulletin 71 (1969), p. 101-107.
46. Lochner, J.P.A. en J.F. Burger  
Form of the loudness function in the presence of masking noise.  
The Journal of the Acoustical Society of America 33 (1961) 12, p. 1705-1707.
47. Van Meurs, G.F.J. en H.M.E. Miedema  
Luidheidbepaling van ongemaskeerd en gemaskeerd geluid; rapport D 87.  
Delft, IMG-TNO, 1984.
48. McKennell, A.C.  
Aircraft noise annoyance around London (Heathrow) airport (+ Appendices).  
Central Office of Information, 1963.
49. Michon, J.A., E.G.J. Eijkman, L.F.W. de Klerk  
Handboek der Psychonomie.  
Deventer, Van Loghum Slaterus, 1976.
50. Mil Research Ltd.  
Second survey of aircraft noise annoyance around London (Heathrow) airport.  
Londen, Her Majesty's stationary office, 1971.
51. Murdock, B.B.  
Signal detection theory and short-term memory.  
Journal of Experimental Psychology 70 (1965), p. 443-447.

52. Nelson, P.M.  
The combination of noise from separate time varying sources.  
Applied Acoustics, 6 (1973), p. 1-17.
53. Ogilvie, J.C., C.D. Creelman  
Maximum-likelihood estimation of receiver operating characteristics curve parameters.  
Journal of Mathematical Psychology 5 (1968), p. 377-391.
54. Ollerhead, J.B.  
Accounting for time of day and mixed source effects in the assessment of community noise exposure.  
Proceedings of the third international congress on noise as a public health problem; ASHA reports 10, p. 556-561.  
Rockville, Maryland, 1980.
55. Ollerhead, J.B.  
Predicting public reaction to noise from mixed sources.  
Inter-Noise 78; p. 579-584.
56. Parks, T.E.  
Signal detectability theory of recognition-memory performance.  
Psychological Review 73 (1966), p. 44-58.
57. Paulus, E. en E. Zwicker  
Programme zur automatischen Bestimmung der Lautheit aus Terzpegeln oder Frequenzgruppenpegeln.  
Acustica 27 (27) 5, p. 253-266.
58. Peeters, A.L., R.G. de Jong, J.P. Kaper, J.C. Tukker  
Hinder door spoorweggeluid in de woonomgeving; rapport nr. RL-HR-03-03.  
Leidschendam, Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, 1982.

58. Pollack, L., L.R. Decker  
Confidence ratings, message reception, and the receiver operating characteristics.  
The Journal of the Acoustical Society of America 30 (1958), p. 286-292.
59. Pollack, L., R. Hsieh  
Sampling variability of the area under the ROC curve and of  $d'_e$ .  
Psychological Bulletin 71 (1969), p. 161-173.
60. Powell, C.A.  
Laboratory study of annoyance to combined airplane and road-traffic noise; NASA Technical Paper, 1478.  
NASA, 1979a.
61. Powell, C.A.  
A summation and inhibition model of annoyance response to multiple community noise sources; NASA Technical Paper 1479.  
NASA, 1979b.
62. Powell, C.A.  
Judgements of aircraft noise in a traffic noise background.  
Journal of Sound and Vibration 38 (1975) 1, p. 39-50.
63. Rice, C.G.  
Investigation of the trade-off effects of aircraft noise and number.  
Journal of Sound and Vibration 52 (1977a) 3, p. 325-344.
64. Rice, C.G.  
Development of cumulative noise measure for the prediction of general annoyance in an average population.  
Journal of Sound and Vibration 52 (1977b) 3, p. 345-364.
65. Rice, C.G., K. Izumi  
Annoyance due to combinations of noises. Proceedings of the Institute of Acoustics, 1984.

66. Richards, R.L., J.C. Freitag  
A method of assessing community noise impact from independent time-varying sources.  
Noise control Engineering 3 (1974) 2, p. 71-76.
67. Ritterstädt, U. and J. Kastka  
On the difference in annoyance between road traffic noise and industrial plant noise.  
In: V.M.A. Peutz en A. de Bruijn (eds.). Proceedings of Inter-noise 81, volume 2, p. 817-820, Delft, 1981.
68. Robinson, D.W.  
Towards a unified system of noise assessment.  
Journal of Sound and Vibration 14 (1971) 3, p. 279-298.
69. Rylander, R., M. Björkman, U. Åhrlin, S. Sörenson  
Tramway noise in city traffic.  
Journal of Sound and Vibration 51 (1977) 3, p. 353-358.
70. Rylander, R.  
Traffic noise exposure and annoyance reactions.  
Journal of Sound and Vibration 47 (1976) 2, 237-242.
71. Scharf, B. and R. Hellman  
How best to predict human response to noise on the basis of acoustic variables.  
In: Tobias, J.V., G. Jansen and W. Dixon Ward (eds.). Proceedings of the Third International Congress of Noise. ASA Public Health Problem; ASHA Reports 10. The American Speech Language Hearing Association, Rockville, 1978.
72. Scharf, B.  
Partial Masking.  
Acustica 14 (1964) 1, p. 16-23.

73. Scharf, B.  
Loudness.  
In: Carterette, E.C. en M.P. Friedman. Handbook of Perception,  
Volume IV, Chapter 6.  
Academic Press, 1978.
74. Schultz, Th.J.  
Synthesis of social surveys on noise annoyance.  
The Journal of The Acoustical Society of America 64 (1978) 2,  
p. 377-405.
75. Schultz, Th.J.  
Comments on K.D. Kryter's, "Community annoyance from aircraft  
and ground vehicle noise".  
The Journal of the Acoustical Society of America 72 (1982) 4,  
p. 1243-1252.
76. Schultz, Th.J.  
Community noise rating, second edition.  
Essex, Applied Science Publishers, 1982.
77. Schümer-Kohrs, A., R. Schümer, V. Knall, W. Kasubek  
Vergleich der Lästigkeit von Schienen- und Strassenverkehrslärm  
in Städtlichen und ländlichen Regionen.  
Zeitschrift für Lärmbekämpfung 28 (1981), p. 123-130.
78. Schümer, R., A. Schümer-Kohrs, W. Kasubek et al.  
Interdisziplinäre Feldstudie II über die Besonderheiten des  
Schienenverkehrslärms gegenüber dem Strassenverkehrslärm (er-  
weiterte Untersuchung) (Band I en Band II).  
München, Planungsbüro Obermeyer, 1983.
79. Stevens, S.S.  
The measurements of loudness.  
The Journal of the Acoustical Society of America 27 (1955) 5,  
p. 815-829.

80. Stevens, S.S.  
Power-Group transformations under glare, masking, and recruitment.  
The Journal of the Acoustical Society of America 39 (1966) 4,  
p. 725-735.
81. Stevens, S.S.  
Perceived level of noise by Mark VII and Decibels (E).  
The Journal of the Acoustical Society of America 51 (1972) 2,  
p. 575-601.
82. Stevens, S.S., M. Guirao  
Loudness functions under inhibition.  
Perception and Psychophysics 2 (1967) 10, p. 459-465.
83. Swets, J.A.  
Is there a sensory threshold?  
Science 134 (1961), p. 168-177.
84. Swets, J.A., W.P. Tanner, T.G. Birdsall  
Decision processes in perception.  
Psychological Review 68 (1961), p. 301-340.
85. Taylor, S.M.  
A comparison of models to predict annoyance reactions to noise  
from mixed sources.  
Journal of Sound and Vibration 81 (1982) 1, p. 123-138.
86. Taylor, S.M., F.L. Hall, S.E. Birnie  
Effect of background levels on community responses to aircraft  
noise.  
Journal of Sound and Vibration 71 (1980) 2, p. 261-270.
87. Torgerson, W.S.  
Theory and methods of scaling.  
New York, John Wiley and Sons Inc., 1958.