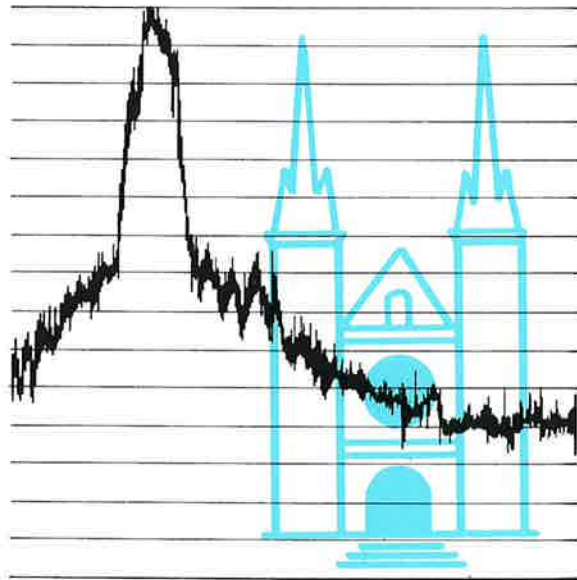


*A. v. Hecke*

GF-HR-01-03

Directoraat-Generaal  
Milieubeheer

Uitbreiding van  
industriegeluid in  
woonwijken met  
betrekking tot  
sanering  
industrielawaai



Onderzoekprogramma  
geluidhinder

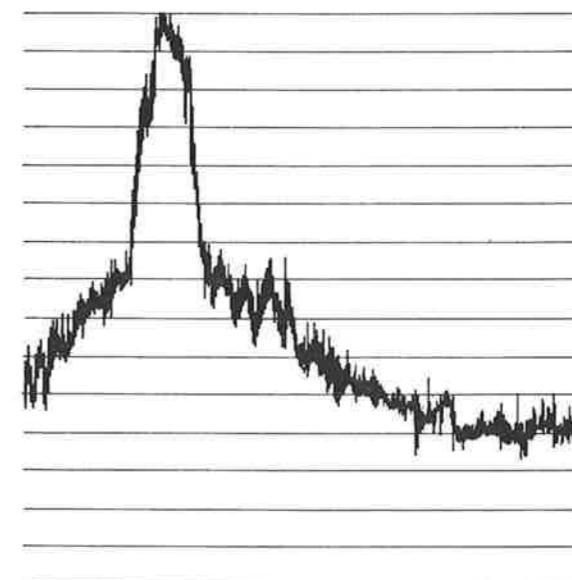
# Beleidsontwikkeling



Ministerie van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

GF-HR-01-03

Uitbreiding van  
industriegeluid in  
woonwijken met  
betrekking tot  
sanering  
industrielawaai  
– berekening van de  
verzwakkingsterm  
 $\Delta$  huis



Ministerie van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

OG

Onderzoekprogramma  
geluidhinder

## Documentbeschrijving

<b>1 Rapport nr.</b> GF-HR-01-03	<b>6 ISBN nummer</b> 90 346 1950 8	
<b>2 Titel rapport</b> Uitbreiding van industriegebied in woonwijken met betrekking tot sanering industrielawaai	<b>7 Distributienummer</b> 90266/5-89	
	<b>8 Datum publicatie</b> Mei 1989	
<b>3 Schrijver(s)/redacteur(s)</b> Dr. G.J. van Blokland en dr. ing. A. von Meier	<b>9 Rapport type en periode</b> Hoofdrapport	
<b>4 Uitvoerend instituut (naam, adres)</b> M+P Raadgevende Ingenieurs b.v.	<b>10 Titel onderzoekproject</b> Geluidsverzwakking in woonwijken in het kader van de sanering industrielawaai	
<b>5 Opdrachtgever(s)</b> Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer		
<b>11 Samenvatting</b> In deze handleiding wordt een beschrijving gegeven van een onderzoek naar de gemiddelde geluidsverzwakking in woonwijken in het kader van de sanering industrielawaai. Het vormt de onderbouwing van de "Handleiding ter berekening van de geluidsverzwakking in woonwijken in het kader van de sanering industrielawaai" (publicatie GF-HR-01-04). Het gaat daarbij om het vaststellen van het "gewogen aantal saneringswoningen" als bedoeld in de Leidraad sanering industrielawaai".		
<b>12 Begeleidingscommissie</b> dr. ing. A. von Meier (M+P) dr. G.J. van Blokland (M+P) ir. H.E.A. Brackenhoff (TPD) ir. P.M. Buis (L&B) ir. A. Moerkerken (VROM) ing. A.G.M. Middendorp (gem. Eindhoven) ing. H. Wolfert (prov. Z-Holland) ing. M.G.M. van Schaik (VROM) ing. M.J. Tennekes (VROM) ing. E.J.L. Niehoff (VROM)	<b>13 Bijbehorende rapporten</b> GF-HR-01-05	
	<b>14 Aantal blz.</b> 48	<b>15 Prijs*</b> f 10,-
Rapporten uit de reeksen van het Onderzoekprogramma Geluidhinder zijn schriftelijk te bestellen bij Staatsuitgeverij/DOP, Postbus 20014, 2500 EA 's-Gravenhage, onder vermelding van bestelnummer of ISBN en een duidelijk afleveringsadres.		

\* prijswijziging voorbehouden

I N H O U D

1. PROBLEEMSTELLING . . . . .	2
2. DEFINITIES EN TOEPASSINGSGEBIED . . . . .	7
2.1 Definitie van een verzwakkingsterm $\Delta_{\text{huis}}$ . . . . .	7
2.2 Afbakening van het toepassingsbereik . . . . .	10
3. BEPALING $\Delta_{\text{huis}}$ . . . . .	12
3.1 Het natuurkundige beeld . . . . .	12
3.2 Bebouwingsparameters . . . . .	13
3.3 De meettechnische bepaling van $\Delta_{\text{huis}}$ , methode 1 . . . . .	14
3.4 De meettechnische bepaling van $\Delta_{\text{huis}}$ , methode 2 . . . . .	16
4. VERBAND TUSSEN $\Delta_{\text{huis}}$ EN RELEVANTE BEBOUWINGSPARAMETERS . . . . .	19
4.1 Meetgegevens . . . . .	19
4.2 Toepassing bebouwingdichtheid correctie . . . . .	23
4.3 Gedrag bij grote karakteristieke lengtes . . . . .	25
4.4 Onderling verband tussen de bebouwingsparameters . . . . .	25
4.5 Konklusie . . . . .	27
5. BEPALING KARAKTERISTIEKE LENGTE . . . . .	28
5.1 Methode . . . . .	28
5.2 Gevoeligheidsanalyse . . . . .	29
6. AFWIJKINGEN VAN HET BEREKENDE IMMISSIENIVO . . . . .	33
6.1 Voorspelbare afwijkingen . . . . .	33
6.2 Niet voorspelbare afwijkingen . . . . .	35
7. AFHANKELIJKHEID VAN $\Delta_{\text{huis}}$ VAN DE FREQUENTIE, DE AFSTAND EN DE ONTVANGERHOOGTE . . . . .	36
7.1 Frequentie-afhankelijkheid . . . . .	36
7.2 Afstand-afhankelijkheid . . . . .	38
7.3 Hoogte-afhankelijkheid . . . . .	38
8. $\Delta_{\text{huis}}$ MET BETREKKING TOT ANDERE DAN ABSORBERENDE BODEMS . . . . .	39
9. BEPALING VAN DE GEVELBELASTING . . . . .	40

Dit rapport bestaat uit 45 bladzijden.

## 1. PROBLEEMSTELLING

Doel van het onderhavig onderzoek is de ontwikkeling van een direkte en eenduidige methode voor de bepaling van de geluidreductie binnen woonbebouwing ten behoeve van de vaststelling van het maximale bronkostenkriterium. Deze methode wordt gehanteerd in aanvulling op de "Handleiding Meten en Rekenen Industriela-waai" [1].

De berekening van de geluidimmissie op een willekeurige afstand van een industriële bron met bekende bronsterkte geschiedt met behulp van diverse overdrachtsverzwakkingstermen. Ter bepaling van deze termen worden in de "Handleiding" rekenregels aangegeven, waarin op analytische wijze de voor de geluidoverdracht belangrijke parameters worden verwerkt.

Zoals bekend, wordt hierbij voor elk van de overdrachtseffekten, zoals geometrische verspreiding, invloed van de bodem, afscherming etc., een aparte term  $D$  gedefinieerd. De verzwakkingstermen zijn additief en worden in een verzamelterm  $\Sigma D$  samengevat.

De geluidimmissie wordt tenslotte bepaald volgens de formule:

$$L_i = L_{WR} - \Sigma D \quad (1)$$

- $L_i$  : het gestandaardiseerde immissienivo bij de ontvanger, zoals bedoeld in [1], dat wil zeggen het equivalente geluidnivo tijdens een bepaalde bedrijfstoestand onder meteoraam omstandigheden op een bepaalde plaats en hoogte
- $L_{WR}$  : de immissierelevante bronsterkte tijdens de betreffende bedrijfstoestand
- $\Sigma D$  : de som van alle verzwakkingstermen bij de geluidoverdracht onder meteoraam omstandigheden.

In de methode C (specialistische methode) van de "Handleiding" zijn de verzwakkingstermen  $D$  zo volledig beschreven, als dat op basis van de stand van kennis op het tijdstip van opstelling (1981) mogelijk was.

Er is daarbij ook rekening gehouden met een verzwakkingsterm  $D_{huis}$ , welke de invloed van bebouwing op de geluiduitbreiding beschrijft.

Deze is als volgt gedefinieerd:

" $D_{huis}$  : afname (van het geluidnivo) door reflecties tegen bebouwing in de buurt van de ontvanger. Ook de invloed van geluidvoortplanting door de bebouwing (reflectie, buiging, verstrooiing) wordt in deze term betrokken."

Er zijn echter geen regels ter bepaling van  $D_{huis}$  aangegeven, omdat deze toentertijd noch voldoende bekend noch beproefd waren. Vandaar dat in de "Handleiding" (klasse C) wordt aangeraden om  $D_{huis}$  per situatie met behulp van metingen te bepalen, of indien de situatie voldoende eenvoudig is, de reflecties en afschermingen ten gevolge van gebouwen individueel te berekenen.

Bij toepassing van de minder uitgebreide klasse B-methoden van de Handleiding wordt geheel geen rekening gehouden met een dempingsterm  $D_{huis}$ .

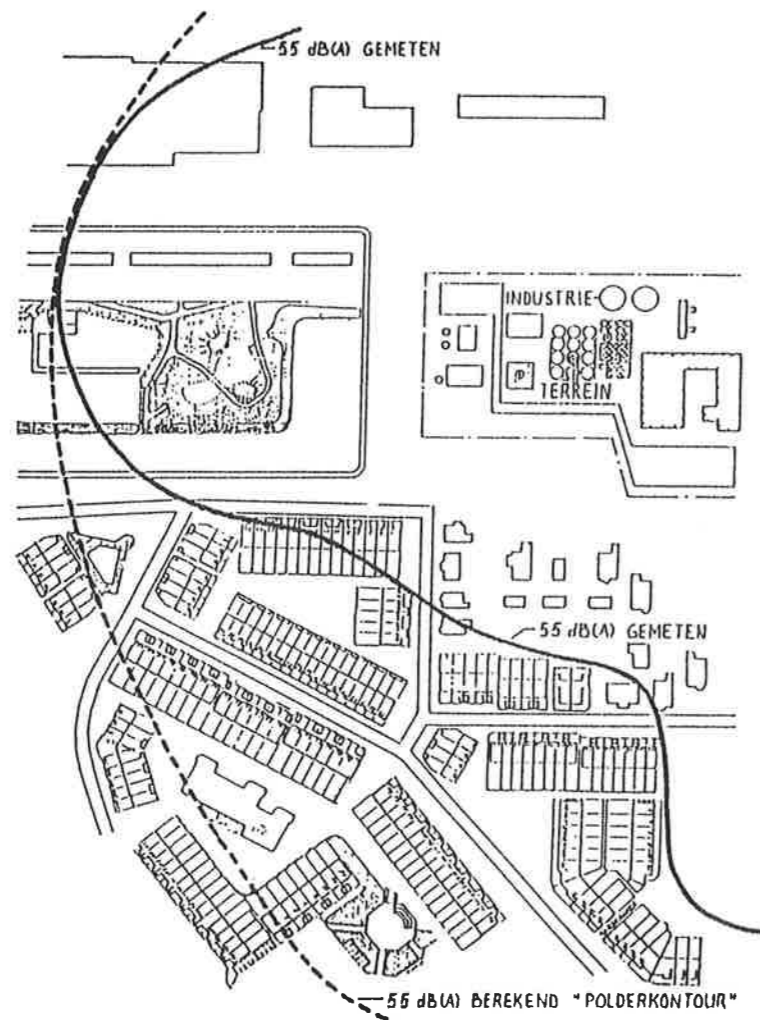
Uit ervaring met het gebruik van de Handleiding is inmiddels gebleken, dat de bepaling van  $D_{huis}$  door meting ter plekke lang niet altijd mogelijk is (in verband met stoorgeluid) of, in die gevallen waar het wel mogelijk is, veel tijd vergt. Voorts is gebleken, dat de bepaling van  $D_{huis}$  door berekening op basis van individuele reflecties en afschermingen niet alleen zeer rekenintensief is maar ook onbetrouwbare resultaten oplevert, met name wanneer meervoudige reflecties en afschermingen een rol spelen.

Echter, juist de meervoudige reflecties en afschermingen zijn kenmerkend voor de akoestische situatie binnen een woonwijk.

Verder leert de ervaring, dat het verwaarlozen van de term  $D_{huis}$ , zoals dit bij gebruik van de klasse B-methoden gebeurt, in het algemeen leidt tot te hoge immissienivo's.

Gekonkludeerd moet dan ook worden, dat met behulp van de bestaande methoden, voor die gevallen waar woonwijken in de invloedssfeer van industrieën liggen, het veelal niet goed mogelijk is, of kosten-intensief is, om de geluidbelasting c.q. geluidkontouren ter plaatse voldoende nauwkeurig te bepalen. Dit maakt het moeilijk, om de in het kader van de Wet geluidhinder voorgeschreven akoestische beoordeling van nieuwbouwwplannen binnen geluidzones op een betrouwbare en eenduidige wijze uit te voeren.

Nog grotere problemen ontstaan bij de uitvoering van de door de Wet geluidhinder geregelde sanering van industrielawaai. De omvang en kosten van de sanering zijn namelijk volgens [2] direkt gekoppeld aan het aantal huizen gelegen binnen de 55 dB(A)-geluidkontour (de "maximale bronkosten"). Op deze problematiek wordt in [3] nader ingegaan. In fig. 1, ontleend aan [3] is geïllustreerd in welke mate een op basis van een "poldersituatie" (geen verzwakking door gebouwen) berekende 55 dB(A) kontour kan verschillen van de gemeten 55 dB(A) kontour (wel verzwakking door gebouwen), en hoe groot het resulterende verschil in aantal huizen is, die binnen de 55 dB(A) kontour zijn gelegen.



Figuur 1: gemeten 55 dB(A) kontour in vergelijking met de zonder  $D_{\text{huis}}$  berekende 55 dB(A) kontour ("polderkontour").

Toepassing van de maximale bronkosten is derhalve slechts mogelijk indien men beschikt over een eenduidige, betrouwbare en voldoende nauwkeurige bepalingsmethode voor de verzwakkingsterm  $D_{\text{huis}}$ .

Het uitwerken van een dergelijke methode is het doel van de onderhavige studie. Als randvoorwaarde is gesteld dat de aan de gebruiker van de methode te stellen eisen met betrekking tot deskundigheid, computerfaciliteiten en tijdsbesteding niet te hoog mogen zijn, teneinde een snelle en brede toepassing in de praktijk mogelijk te maken.

Deze voorwaarden houden noodzakelijkerwijs in, dat hier en daar concessies moeten worden gedaan aan de gedetailleerdheid van de methode, in zo verre dit niet ten koste gaat van de eenduidigheid.

De eis naar eenduidigheid staat dus boven aan. Dit betekent dat de bepaling van  $D_{\text{huis}}$  onafhankelijk moet zijn van persoonlijke inschattingen of interpretaties. Hieraan kan alleen een analytische methode voldoen die gebaseerd is op een set eenduidig te bepalen bebouwingsparameters, welke, ingevoerd in een berekeningsmodel, resulteren in een objectieve vaststelling van de verzwakkingsterm  $D_{\text{huis}}$ .

Het verband tussen de bebouwingsparameters enerzijds en de verzwakkingsterm  $D_{\text{huis}}$  anderzijds wordt experimenteel afgeleid. Hiervoor staan vele immissiemetingen ter beschikking, welke verricht zijn in woonwijken in de nabijheid van industrieën. In sommige wijken, waar betrouwbare immissiemetingen met industrieën als bron niet mogelijk waren, is ook gebruik gemaakt van een hoog opgesteld elektro-akoestische bron.

Er is getracht om een zo groot mogelijke verscheidenheid van typen woonbebouwing bij de metingen te betrekken teneinde een representatief beeld te verkrijgen over de geluiduitbreiding in woonwijken, althans in zoverre het de situatie in Nederland betreft.

De relevante bebouwingsparameters zijn afgeleid uit nauwkeurig kaartmateriaal en door opname ter plaatse.

Bij het opstellen van de hier gepresenteerde methode ter bepaling van  $D_{\text{huis}}$  hebben de auteurs ook dankbaar gebruik kunnen maken van meetgegevens van anderen. Met name zijn genoemd:

- Provinciale Waterstaat Limburg;
- Dienst Centraal Milieubeheer Rijnmond,

die als opdrachtgevers toestemming hebben verleend om de meetresultaten uit [4] en [5] te gebruiken.

Voorts heeft over het onderhavige frequent overleg plaatsgevonden met de mede-auteurs van de Handleiding, de heren P.M. Buis en H.E.A. Brackenhoff en met de namens de opdrachtgever fungerende projektkoördinator, de heer A. Moerkerken. Ook voor hun konstruktieve bijdragen spreken de auteurs hun dank uit.

## 2. DEFINITIES EN TOEPASSINGSGEBIED

### 2.1 Definitie van een verzwakkingsterm $\Delta_{\text{huis}}$

#### Het globale karakter:

Met de grootheid  $\Delta_{\text{huis}}$  zal een verzwakkingsterm worden gedefinieerd met een enigszins globaal karakter. Dit betekent, dat het met behulp van  $\Delta_{\text{huis}}$  berekende immissienivo binnen een woonwijk zo goed mogelijk moet overeenstemmen met het werkelijke nivo, dat zou kunnen worden verkregen door over vele meetplaatsen binnen die woonwijk een gemiddelde waarde te bepalen. Plaatselijke afwijkingen tussen berekende en gemeten immissienivo's zijn dus toegestaan en in het algemeen ook te verwachten (bijvoorbeeld zal het gemeten nivo direkt achter een gebouw steeds lager zijn dan het berekende nivo, en zal op een punt met meer direkt zicht op de bron het gemeten nivo vaak hoger zijn dan het berekende).

#### De positie van de immissiepunten:

Het gemiddelde immissienivo binnen een woonwijk wordt op gespecificeerde ontvangerposities vastgesteld.

De ontvangerhoogte is gelegen op een positie 3 m beneden de gemiddelde nokhoogte. De keuze is als volgt gemotiveerd:

- de nivo's op deze ontvangerhoogte zijn representatief voor de geluidbelasting van de gevel;
- in geval van stapelbouw representeert het hier bepaalde nivo de gemiddelde gevelbelasting van alle woonlagen;
- voor zeer veel situaties, te weten voor laagbouwwoonwijken met een gemiddelde nokhoogte van circa 8 m, komt de gekozen ontvangerhoogte overeen met de standaardmeethoogte van 5 m.

In het horizontale vlak ligt de ontvangerpositie willekeurig verspreid tussen de bebouwingen op een afstand tot de dichtstbijzijnde gevel van tenminste 2 m. Dit om zo ver mogelijk buiten het interferentieveld direkt voor de gevel te blijven.

Definitie van  $\Delta_{\text{huis}}$ :

De verzwakkingsterm  $\Delta_{\text{huis}}$  kan nu als volgt worden gedefinieerd:

$$\Delta_{\text{huis}} = L_{1,\text{polder}} - L_{1,\text{woonwijk}} \quad (2)$$

$L_{1,\text{polder}}$ : het "poldernivo", zijnde het gestandaardiseerd immissienivo op 5 m hoogte bij afwezigheid van enige bebouwing in de omgeving van het immissiepunt en boven absorberende bodem ( $B=1$ )\*

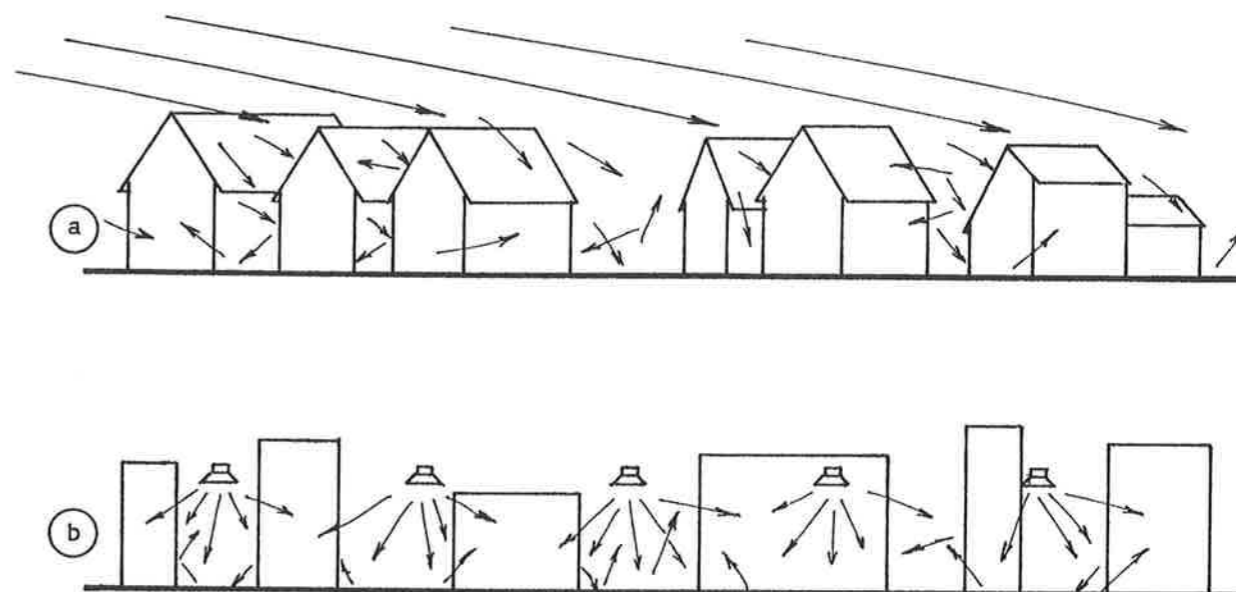
$L_{1,\text{woonwijk}}$ : het gemiddelde gestandaardiseerde immissienivo in de woonwijk ter plaatse van het immissiepunt op een hoogte van 3 m beneden de gemiddelde nokhoogte van de beschouwde wijk.

Het op deze wijze gedefinieerde nivo  $L_{1,\text{woonwijk}}$  wijkt dus enigszins af van de in de Handleiding gegeven definitie van  $L_1$  (zie ook vgl. (1)), omdat  $L_{1,\text{woonwijk}}$  het (rekenkundig) gemiddelde geluidnivo binnen een bepaalde woonwijk voorstelt en niet het geluidnivo op één bepaalde plaats in de woonwijk. Het nivo  $L_{1,\text{woonwijk}}$  is ook niet gelijk aan het volgens de Wet geluidhinder maatgevende nivo, dat gegeven wordt door het op de meest belaste gevel invallend geluid.

Voorts moet men zich realiseren, dat  $L_{1,\text{woonwijk}}$  steeds betrekking heeft op een situatie, waarin het op het immissiepunt invallend geluid wordt bepaald, door twee aandelen:

- het direkte geluid vanaf de bron c.q. het bronterrein, dat via de nokken en/of door straten of gaten in de bebouwing invalt;
- het "strooigeluid" dat als gevolg van buigingen en/of reflecties aan de gebouwen in de omgeving van het immissiepunt, vanuit alle richtingen invalt en waarvan het nivo sterk afhangt van de eigenschappen van de bebouwing.

\*) Definitie  $L_1$  en  $B$  volgens [1]; paragraaf B.5.1.1 en paragraaf C.4.3.7 respectievelijk



Figuur 2: Modelvorming met betrekking tot geluiduitbreiding in woonwijken

- a: direkte instraling via gekromde geluidstralen en opbouw van een strooiveld binnen de bebouwing
- b: modellering van het strooiveld door gelijkmatig verdeelde bronnen tussen de strooilichamen.

Het strooigeluid bevat in het algemeen ook een reflectie tegen de gevel van de woning, waarvoor de geluidbelasting moet worden bepaald.

Het met behulp van  $\Delta_{\text{huis}}$  bepaalde geluidnivo dient dus gecorrigeerd te worden voor de afwijking welke een gevolg is van het hanteren van het gemiddelde geluidnivo binnen de bebouwing in plaats van het gemiddelde van de geluidnivo's voor de meest belaste gevel van de woningen.



Tevens dient om in overeenstemming te blijven met de vigerende rekenregels het nivo  $L_{i, \text{woonwijk}}$  gecorrigeerd te worden voor het aandeel ten gevolge van de eigen reflectie tegen de gevel. Deze laatste korrektieterm wordt aangegeven met  $C_g$ .

De beide korrektietermen worden vervolgens samengenomen en in analogie met  $C_g$  aangeduid met  $C_{g, \text{diff}}$ . Het gemiddelde van de immissienivo's voor de meest belaste gevels binnen de woonwijk ( $L_{i, \text{huis}}$ ) wordt dientengevolge verkregen door:

$$\begin{aligned} L_{i, \text{huis}} &= L_{i, \text{woonwijk}} - C_{g, \text{diffuus}} \\ &= L_{i, \text{polder}} - (\Delta_{\text{huis}} + C_{g, \text{diffuus}}) \end{aligned}$$

De term tussen haakjes wordt nu  $D_{\text{huis}}$ :

$$L_{i, \text{huis}} = L_{i, \text{polder}} - D_{\text{huis}}$$

De hierboven geïntroduceerde term  $C_{g, \text{diff}}$  kan echter op basis van het voor dit onderzoek ter beschikking staande materiaal niet goed worden bepaald. Het lijkt ook niet mogelijk te zijn om in de nabije toekomst te komen tot een betrouwbare kwantitatieve uitspraak over de invloed hiervan, omdat hiervoor relatief diepgaand meettechnisch en theoretisch onderzoek nodig is. In hoofdstuk 9 wordt op dit probleem nader ingegaan.

Dit onderzoek is gericht op een bepaling van  $\Delta_{\text{huis}}$ , zoals gedefinieerd in vgl. (2).

## 2.2 Afbakening van het toepassingsbereik

Een berekeningsmethode voor de verzwakkingsterm  $\Delta_{\text{huis}}$  dient enerzijds een zo breed mogelijk toepassingsgebied te hebben, maar mag anderzijds met het oog op de hanteerbaarheid, niet te algemeen zijn.

Vandaar dat voor de volgende randvoorwaarden voor toepassing is gekozen:

### Overdrachtskonditie

- in overeenstemming met vgl. (1) heeft de te berekenen term  $\Delta_{\text{huis}}$  alleen betrekking op de geluidoverdracht onder **meteo-raamkondities** zoals in [1] gedefinieerd (meewind of temperatuur-inversie);

### Bronpositie

- de **positie** van de bron ten opzichte van de te beschouwen woonwijk dient zodanig te zijn dat de invalsricting in het verticale vlak van de geluidstralen overeenkomen met die van een geluidbron op gelijke hoogte en zeer grote afstand. Als gevolg van de meteoraamkonditie komt dit overeen met een invalshoek van circa 3 à 4° met het horizontale vlak. De methode zal dus niet kunnen voorzien in gevallen van een hooggelegen bron op geringe afstand van de woonwijk, waarbij de invalshoek aanmerkelijk groter is dan 4°, of zeer laag gelegen bronnen vlak voor de bebouwing. In dit geval zal in het algemeen de voorste bebouwingrij als afscherming fungeren, hetgeen leidt tot een aanmerkelijke grotere verzwakkingsterm.

### Immissiepuntpositie

- het **immissiepunt** moet achter de eerste rij huizen of nog dieper in de woonwijk liggen (vanuit de bron gezien). Dus buiten het toepassingsgebied vallen immissiepunten vóór de eerste rij huizen of welke via open gaten direkt zicht op de bron hebben;

### Bebouwingstypen

- er moet binnen de beschreven woonwijk, sprake zijn van een zekere **homogeniteit** qua nokhoogte en onderlinge gebouwenafstanden. Dit is nodig om een statistische aanpak te kunnen realiseren, waarbij de spreiding van de gegevens binnen acceptabele grenzen blijft.

Tevens dienen de afmetingen van de individuele gebouwen binnen de grenzen te liggen, welke kenmerkend zijn voor de in Nederland gebruikelijke woonbebouwing, te weten:

nokhoogte: circa 20 m,  
gebouwendiepte: < 15 m en  
gebouwenlengte: geen beperking.

Dus buiten het toepassingsgebied vallen kantoor- en industriebebouwing met grote gebouwenmassa.

### 3. BEPALING $\Delta_{\text{huis}}$

#### 3.1 Het natuurkundige beeld

Ter bepaling van een analytisch verband tussen  $\Delta_{\text{huis}}$  en bepaalde bebouwingsparameters wordt uitgegaan van het beeld dat in fig. 2 is geschetst.

De instraling van het geluid in de woonwijk vindt hoofdzakelijk van boven plaats via de naar beneden gekromde stralen welke, of direkt of via buiging aan de nok en dakrand tussen de bebouwing invallen. Het geluid verspreidt zich vervolgens binnen de woonwijk via meervoudige reflekties tegen de gevels en via buiging om de gebouwkanten heen. De meervoudige reflekties hebben tot gevolg dat het nivo binnen de wijk verhoogd wordt en dat het geluid vanuit verschillende richtingen op de ontvangerpositie invalt. Het geluidnivo op de ontvangerpositie kan men dientengevolge beschouwen als te zijn opgebouwd uit twee componenten:

1. een direkte component, het nivo hiervan is afhankelijk van de mate van afscherming door de bebouwing;
2. een diffuse component welke bepaald wordt door het proces van meervoudige reflekties en buigingen tussen de bebouwing (ook wel "strooiveld" genoemd).

De kwalitatieve relaties tussen deze componenten en bebouwingsparameters kunnen als volgt nader worden omschreven.

#### Direkte component:

De nivoreduktie ten gevolge van afscherming wordt uitgebreid behandeld in de bestaande literatuur. De bepalende grootte is de geometrische "omweg" van het geluid ten gevolge van het afschermende objekt.

In het onderhavige geval is de ontvangerhoogte vastgelegd op 3 m onder de nok. Dientengevolge wordt de omweg slechts bepaald door de horizontale afstand tussen het afschermende objekt en het waarnemingspunt.

#### Diffuse component (strooiveld):

Het gedrag van deze component is complexer omdat het proces van meervoudige reflekties en buigingen niet meer eenduidig is vast te leggen doch een statistisch georiënteerde benadering vergt.

Deze situatie kan gemodelleerd worden door het direkt ingestraalde geluid te vervangen door een groot aantal bronnen die in het horizontale vlak gelijkwaardig verdeeld over de woonwijk zijn geplaatst en waarvan het vermogen per eenheid oppervlak in een vaste verhouding staat tot de intensiteit van het direkte geluid zonder bebouwing (zie fig. 2b).

De verhouding wordt gegeven door de geometrische projectie van de geluidbundel op het horizontale vlak te zamen met de in-koppeling door buiging langs de nok en dakrand.

Dit model komt in aanpak overeen en vertoont grote gelijkens met het door S. Jovicic ontwikkelde model voor geluiduitbreiding in fabriekshallen bij aanwezigheid van vele bronnen en vele geluidverstrooiende objekten [6]. De enige principiële afwijking van het onderhavige model ten opzichte van een fabriekshal is de afwezigheid van een (gedeeltelijk) reflekerend plafond.

De afwezigheid van een reflekerend plafond heeft tot gevolg dat de bron slechts een keer tegen de bodem gespiegeld wordt. Hierdoor zullen de uitbreidingskonstanten andere waarden kunnen aannemen, maar de voor de bepaling van de geluiduitbreiding relevante parameters blijven dezelfde, namelijk de statistisch bepaalde karakteristieke afmetingen van de strooilichamen i.c. de gebouwen, welke gevat zijn in de term strooi-oppervlakdichtheid.

#### 3.2 Bebouwingsparameters

Op grond van bovenstaande beschouwing kan een keus gemaakt worden voor de bebouwingsparameters waarmee de waarde van  $\Delta_{\text{huis}}$  eenduidig vastgelegd kan worden:

- het direkte veld wordt grotendeels bepaald door de horizontale afstanden. Dientengevolge lijkt de **gemiddelde bebouwingsafstand**, een zinvolle parameter;

- het gedrag van het diffuse veld kan vastgelegd worden met de strooi-oppervlakdichtheid. In het drie-dimensionale geval is dit het strooioppervlak per volume-eenheid. In het onderhavige, meer twee-dimensionale geval, lijkt een geschikte kandidaat, de gevellenge per oppervlakte-eenheid.

Beide parameters zijn niet onafhankelijk van elkaar. Echter hun onderlinge relatie is afhankelijk van de bebouwingsvorm en bebouwingssoort.

In paragraaf 4.4 is dit verband nader onderzocht.

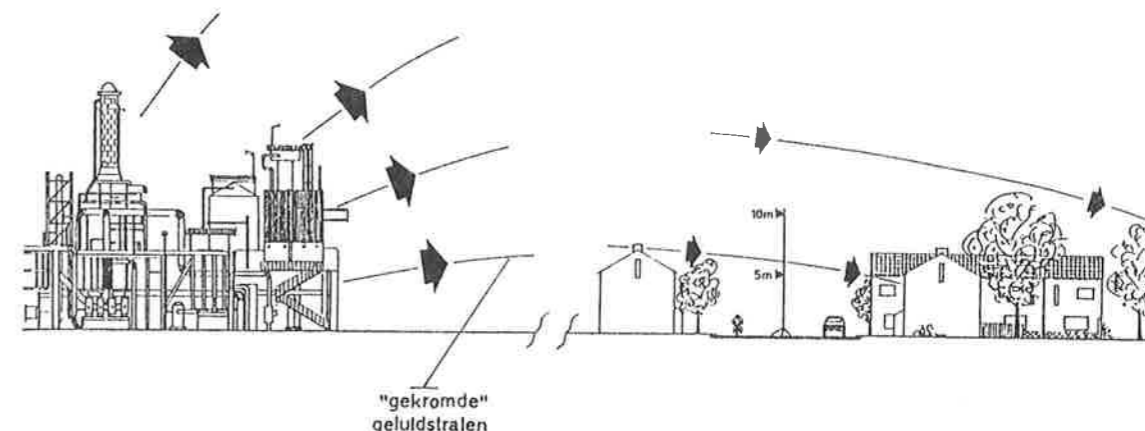
### 3.3 De meettechnische bepaling van $\Delta_{\text{huis}}$ , methode 1

Bij de meettechnische bepaling van  $\Delta_{\text{huis}}$  zijn afhankelijk van de beschikbare informatie en geometrische mogelijkheden twee methoden gebruikt. Methode 1 gaat als volgt:

Op het gekozen meetpunt binnen de woonwijk worden gelijktijdig het gestandaardiseerde immissienivo  $L_{1,\text{woonwijk}}$  op 3 m beneden nokhoogte en het nivo  $L_{1,\text{boven}}$  gemeten op een hoogte van tenminste 2 m boven nokhoogte, maar op een zodanige hoogte dat de microfoon duidelijk boven de daken van de bebouwing uitsteekt. Dit is in figuur 3 geïllustreerd, die ontleend is aan [3].

Voor de vaak voorkomende laagbouwwijken betekent dit dat de meetmicrofoons op een hoogte van 5 m en 10 m kunnen worden geplaatst. Bij hogere bebouwing zijn de vereiste microfoonhoogten overeenkomstig de nokhoogte groter.

Hierbij dient op een representatieve keuze van de meetposities gelet te worden. Niet aan de rand van open gedeelten; achter gaten met uitzicht op de bron of in de direkte "schaduw" van gebouwen.



Figuur 3: methode 1 ter bepaling van  $\Delta_{\text{huis}}$  door vergelijking van de binnen de woonwijk gemeten nivo's  $L_{1,\text{boven}}$  en  $L_{1,\text{woonwijk}}$  op respectievelijk  $\geq 2$  m boven en 3 m beneden nokhoogte (figuur ontleend aan [3]).

De meting van  $L_{1,\text{woonwijk}}$  en  $L_{1,\text{boven}}$  wordt op vele plaatsen in de onderzochte woonwijk herhaald. De term  $\Delta_{\text{huis}}$  wordt vervolgens door middeling bepaald met behulp van de formule:

$$\Delta_{\text{huis}} = L_{1,\text{boven}} - L_{1,\text{woonwijk}} + \Delta D_{\text{bodem}} \quad (3)$$

$L_{1,\text{woonwijk}}$  : zoals bij vgl. (2) gedefinieerd

$L_{1,\text{boven}}$  : gestandaardiseerd immissienivo op hetzelfde immissiepunt maar tenminste 1 m boven nokhoogte toch zoveel hoger, dat de microfoon duidelijk boven de daken van de bebouwing uitsteekt

$\Delta D_{\text{bodem}}$  : het verschil in bodemeffekt bij de ontvanger tussen 5 m hoogte boven absorberende bodem zonder bebouwing en 10 m hoogte binnen de woonwijk

De waarde voor  $\Delta D_{\text{bodem}}$  is experimenteel bepaald door gelijktijdige meting van  $L_1$ , afkomstig van een industrie, op twee niet ver van elkaar verwijderde meetposities, waarvan één op 10 m hoogte (boven de daken van een laagbouw woonwijk) en de andere op 5 m hoogte boven absorberende grond in een niet bebouwde omgeving. Hiervoor zijn de metingen uit [4] en enkele indicatieve metingen uit [7] gebruikt. De resulterende gemiddelde waarde bedraagt:

$$\Delta D_{\text{bodem}} = 0,5 \text{ dB.}$$

Het nivo boven de daken van bebouwing is dus enigszins lager dan boven absorberende bodem.

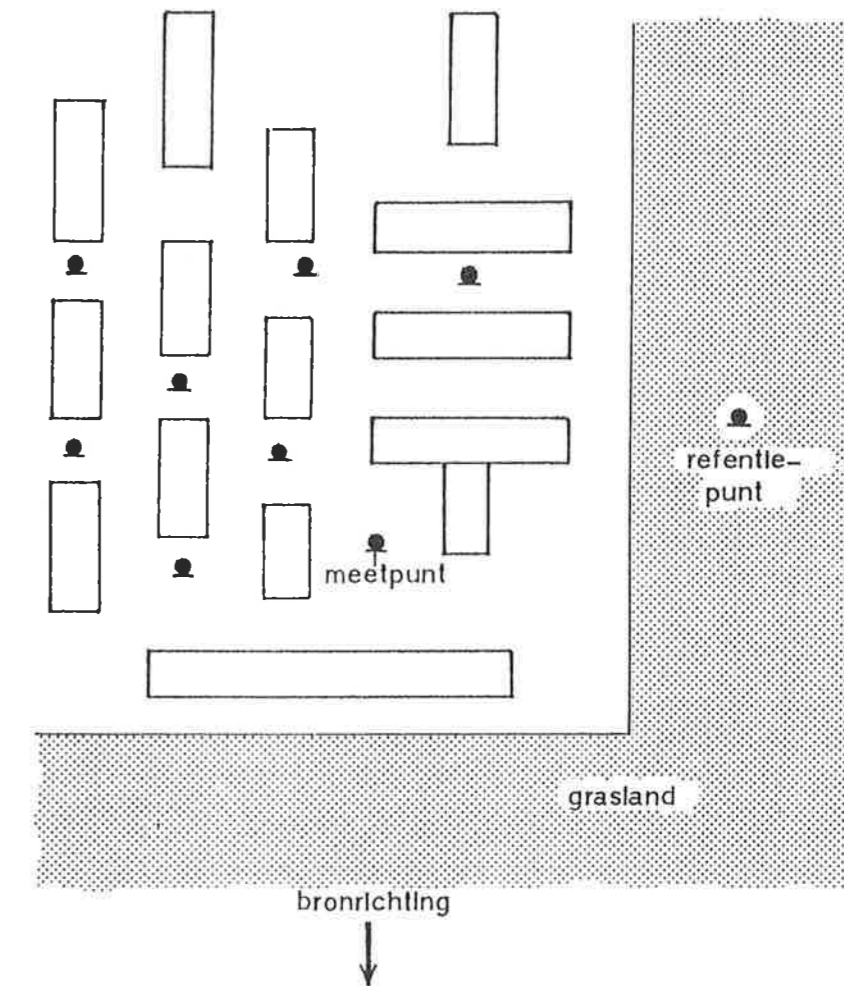
De mogelijkheid bestaat, dat bij woonwijken met een dichtere bebouwing de waarde van  $\Delta D_{\text{bodem}}$  enigszins kleiner wordt (naar verwachting enkele tiende dB's); dit als gevolg van een nivo-verhoging door reflecties tegen de daken. Een bevestiging hiervan op basis van de tot op heden ter beschikking staande meetgegevens kan echter nog niet worden gegeven.

Ter bepaling van  $\Delta_{\text{huis}}$  volgens methode 1 wordt daarom (vooral nog) voor alle situaties aangehouden:

$$\Delta_{\text{huis}} = L_{1,\text{boven}} - L_{1,\text{woonwijk}} + 0,5 \text{ dB} \quad (4)$$

### 3.4 De meettechnische bepaling van $\Delta_{\text{huis}}$ , methode 2

Bij deze methode wordt  $L_1$  op twee verschillende plaatsen gelijktijdig gemeten, en wel één keer op het gekozen immissiepunt binnen de woonwijk op 3 m beneden nokhoogte en de andere keer op een referentiepunt op 5 m hoogte buiten de woonwijk boven absorberende bodem, maar zo dicht mogelijk bij het immissiepunt. De laatstgenoemde meting dient als referentie met betrekking tot het "poldernivo". Het referentiemeetpunt kan of vóór de woonwijk (gezien vanuit de bron) of naast de woonwijk liggen. De mogelijke situering van meetpunten bij toepassing van deze methode is in figuur 4 geschetst.



Figuur 4: methode 2 ter bepaling van  $\Delta_{\text{huis}}$  door vergelijking van immissiemetingen binnen een woonwijk met een meting op een referentiepunt.

Indien het immissiepunt en het referentiepunt niet op dezelfde afstand van de bron liggen - dit is steeds het geval als het referentiepunt vóór de woonwijk ligt - moet voor de geometrische verzwakking en, zij het in mindere mate, voor absorptie in de lucht worden gecorrigeerd. Hierbij zijn de extrapolatiemethoden uit [1] (methode B1 en C1) van toepassing. In sommige gevallen is bij het onderzoek een referentiemeting boven harde of gedeeltelijk harde bodem verricht. In dit geval werd het referentienivo gecorrigeerd naar absorberende bodem (zie paragraaf 8 tabel VII).

Bij toepassing van deze methode wordt  $\Delta_{\text{huis}}$  direkt volgens de definitie van vgl. (2) berekend, maar steeds als gemiddelde waarde over meerdere metingen in de betrokken woonwijk:

$$\Delta_{\text{huis}} = L_{1,\text{polder}} - L_{1,\text{woonwijk}} \quad (5)$$

Hoewel deze methode voor alle typen bebouwing toepasbaar is (geen onzekerheden met betrekking tot invloed van reflekties tegen daken en geen praktische beperking met betrekking tot de vereiste mikrofoonhoogte, zoals bij methode 1), is in de praktijk gebleken, dat het zeer moeilijk is om een meetlokatie te vinden, waar men zowel een geschikt immissie- en referentiepunt kan kiezen, als ook een voldoende laag stoorgeluidnivo aantreft.

Bij de keuze van het referentiepunt vòòr de woonwijk dient tevens erop gelet te worden dat het middengebied in het overdrachtstrajekt niet reflektierend is. Indien dit namelijk wel het geval is (bijvoorbeeld waterpartijen) kan dit tot een nivo-verhoging van  $L_{1,\text{polder}}$  van tot 3 dB leiden (zie Handleiding, paragraaf C4.3.7), terwijl  $L_{1,\text{woonwijk}}$ , gemeten verderop in de woonwijk, niet of nauwelijks verhoogd wordt.

Zoals reeds is vermeld, wordt bij uitvoering van het onderhavige onderzoek ook gebruik gemaakt van metingen door anderen [4], [5] en [7]. Deze metingen zijn verricht met soms enigszins afwijkende doelstellingen en meetomstandigheden en komen niet altijd overeen met de hierboven omschreven methode 1 of 2. Vandaar dat een selectie moet worden toegepast.

De specifieke criteria voor de selectie van geschikte metingen ter bepaling van  $\Delta_{\text{huis}}$  zijn:

- is de situering van de meetpunten zodanig, dat aan de voorwaarden voor metingen volgens methode 1 of methode 2 wordt voldaan?
- is ter plaatse van de meetpunten de invloed van stoorgeluid te verwaarlozen?
- zijn de meetpunten binnen de woonwijk zodanig geplaatst, dat het gemiddelde nivo  $L_{1,\text{woonwijk}}$  representatief is voor die wijk met zijn kenmerkende bebouwingsparameters? (voorbeeld van niet representatief gekozen meetpunten zijn indien deze voornamelijk direkt achter de gevels zijn geplaatst, of voornamelijk in bebouwingsgaten met direkt zicht op de bron, of voornamelijk op grote open plaatsen binnen de bebouwing).

Toepassing van deze criteria is uiteraard niet altijd geheel vrij van persoonlijke beoordelingen.

#### 4. VERBAND TUSSEN $\Delta_{\text{huis}}$ EN RELEVANTE BEBOUWINGSPARAMETERS

##### 4.1 Meetgegevens

Een verband tussen  $\Delta_{\text{huis}}$  en de bebouwingsparameters is vastgesteld op grond van een aantal geluidmetingen in woonwijken. Zoveel mogelijk is daarbij gebruik gemaakt van bestaand materiaal [4], [5] en [7]. Ontbrekende gegevens zijn aangevuld met eigen metingen, welke ten behoeve van dit onderzoek zijn verricht.

De gehanteerde waarde van het geluidnivo is de gemiddelde waarde van de nivo's welke op diverse posities binnen de wijk waargenomen zijn.

In tabel I is een overzicht gegeven van de meetlokaties.

Tabel I: Omschrijving meetlokatie en methode

Lokatie	Wijktype	nummer	meetmethode <sup>1</sup>	bron <sup>2</sup>
DSM Lindenbeuvel	tuinstedelijk, 2/1 kap en rijbebouwing	1	1	PWS Limburg
DSM Stein	idem	2	1	PWS Limburg
DSM Geleen	idem	3	1	PWS Limburg
Zaanstad	tuinstedelijk, rijtjes huizen	4	2	TNO-TPD
Vlaardingen 1	kombinatie laag- en hoogbouw stedelijke bebouwing	5	1/2	DCMR/M + P
Vlaardingen 2	idem	6	1/2	DCMR/M + P
Vlaardingen 3	idem	7	1/2	DCMR/M + P
Delft	parkachtige opzet, 2/1 en 4/1 kap	8	2	LBP
Aalsmeer, Oranjewijk	tuinstedelijke bebouwing, rijtjeswoningen	9	2	LBP
Velzen Zuid	tuinstedelijke-stedelijke bebouwing	10	2	LBP
Vrolikstraat, Amsterdam	19e eeuwse stedelijke bebouwing	11	1	M + P
Rechtboomsloot, Amsterdam	binnenstedelijke bebouwing	12	1	M + P
Feyenoord, Rotterdam	stedelijke bebouwing	13	1	LBP

1. Zie paragraaf 3.3 en 3.4

2. PWS: Provinciale Waterstaat Limburg, zonering DSM te Geleen

TPD-TNO: Technische Fysische Dienst TNO Delft

DCMR: Dienst Centraal Milieubeheer Rijnmond, zoneringsonderzoek Rijnmond, deelgebied Pernis

LBP: Lichtveld Buis en Partners, Utrecht

Per meetlokatie is aangegeven de plaats, het type bebouwing, de methode waarmee  $\Delta_{huis}$  bepaald is en de bron van de gegevens.

De bebouwing is gekarakteriseerd met de volgende grootheden:

- percentage bebouwd oppervlak
- gemiddelde nokhoogte
- gemiddelde gevellengte per oppervlak
- gemiddelde bebouwingsafstand

In tabel II zijn deze bebouwingsgegevens weergegeven per meetlokatie.

Tabel II: bebouwingsparameters van de individuele meetlokaties

lokatienummer	percentage bebouwd oppervlak (%)	gemiddelde nokhoogte (m)	gemiddelde gevellengte/m <sup>2</sup> (0,01 m <sup>-1</sup> )	gemiddelde bebouwingsafstand (m)
1	10	8	4,3	77
2	16	8	5,1	47
3	14	8	4,0	66
4	15	8	4,0	96
5	25	11	10,2	28
6	25	11	10,3	30
7	25	11	7,1	37
8	20	6	8,5	30
9	17	8	4,9	50
10	20	7	4,5	67
11	30	15	7,0	40
12	60	12	6,0	40
13	40	13	7,8	37

Voor elke lokatie is de waarde van  $\Delta_{huis}$  berekend door middeling van de individuele meetgegevens en is de gemiddelde kwadratische afwijking hiervan bepaald.

In figuur 5 en 6 zijn per lokatie de resultaten hiervan weergegeven als functie van respectievelijk de gevellengte per oppervlak en de gemiddelde bebouwingsafstand. In figuur 5 is tevens de spreiding rond het gemiddelde aangegeven. De fout in het gemiddelde wordt verkregen door de spreiding te delen door de wortel van het aantal meetpunten.

Door de meetpunten is, op basis van de kleinste kwadraten methode de best passende functie bepaald van de vorm:

$$y = a + b \log x$$

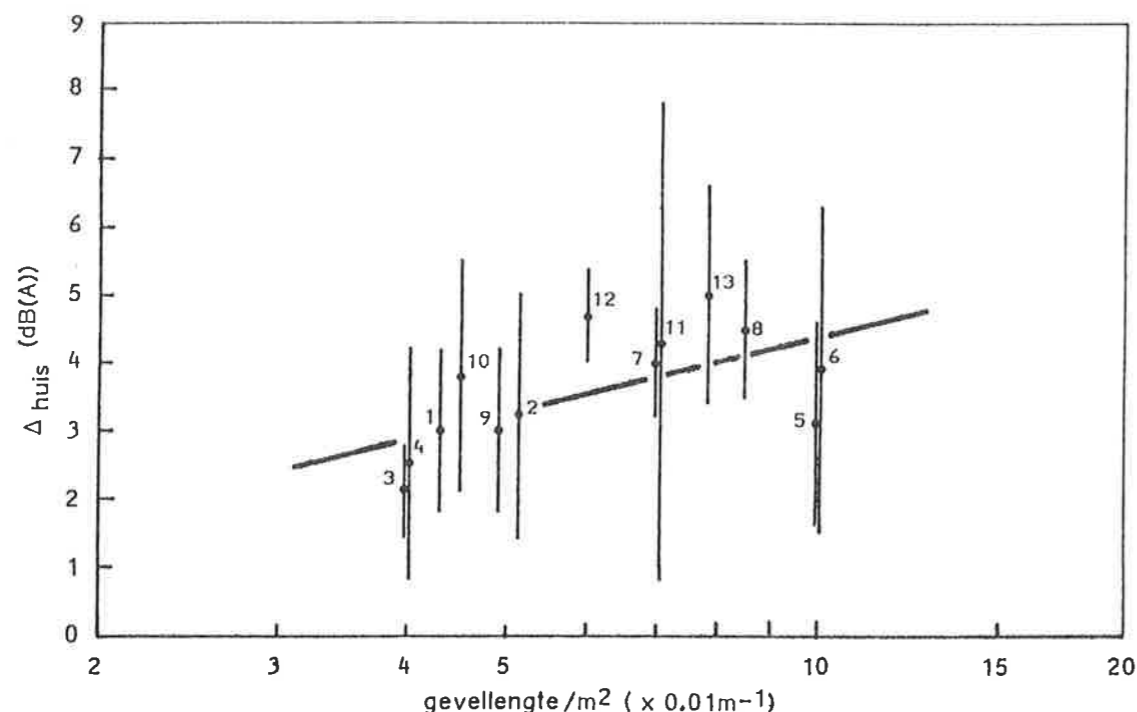
waarbij voor x een zo eenvoudig mogelijke functie van de bebouwingsparameters is gekozen.

Deze functie is eveneens in de grafiek aangegeven.

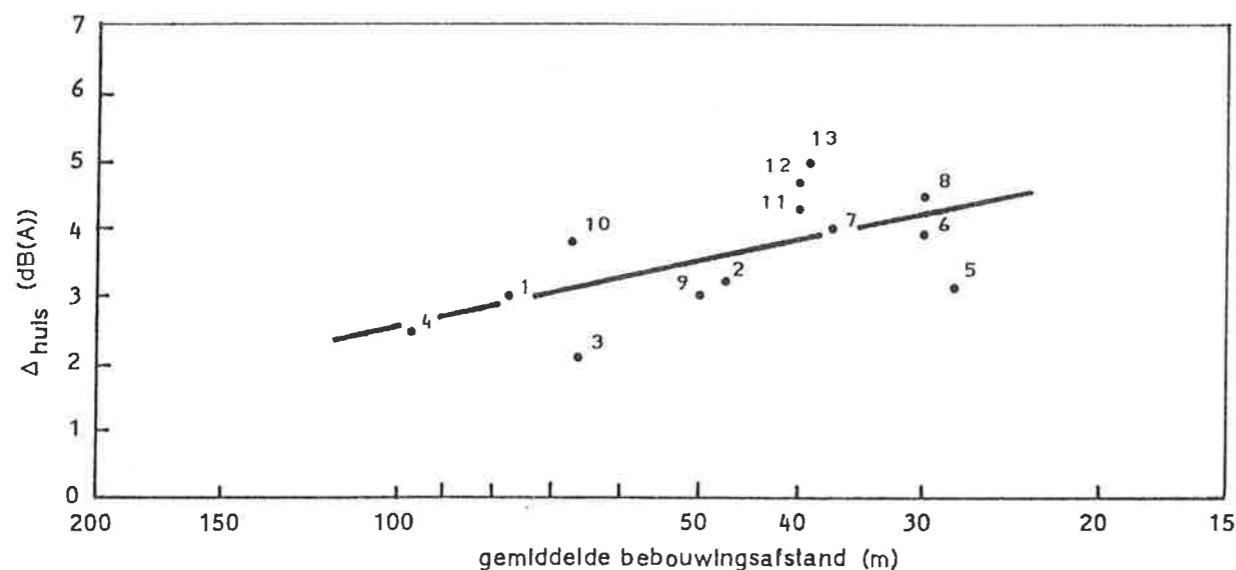
De resultaten van de aanpassing, te weten de parameters a en b, de korrelatie koëfficiënt en de variantie zijn in tabel III gegeven (de variantie is de gemiddelde kwadratische afstand van het meetpunt tot de berekende lijn).

Tabel III: resultaten van de kleinste kwadratenaanpassing van de in figuur 5 en 6 gepresenteerde meetpunten aan de functie  $y = a + b \log x$ . x is respectievelijk  $100 \cdot \text{gevellengte/m}^2$  en  $100/\text{bebouwingsafstand}$ .

	figuur 5 (gevellengte/m <sup>2</sup> )	figuur 6 (reciproke bebouwingsafstand)
a	0,8	2,6
b	3,6	3,1
korrelatie koëfficiënt	0,60	0,60
variantie	0,50	0,60



**Figuur 5:** individuele  $\Delta_{huis}$ -waarden als functie van de gevellengte per oppervlak. De rechte lijn geeft de best passende functie van de vorm  $y = a + b \log x$ . De lijnelementen geven de spreiding in de individuele meetgegevens aan.



**Figuur 6:**  $\Delta_{huis}$  als functie van de gemiddelde bebouwingsafstand. De rechte lijn geeft de best passende functie van de vorm  $y = a + b \log (1/x)$

#### 4.2 Toepassing bebouwingsdichtheid correctie

Een nadere analyse van de meetgegevens leert dat systematische afwijkingen ontstaan bij hoge bebouwingsdichtheden. Deze zijn deels terug te voeren op de volgende zaken:

- door clustering neemt bij toenemende bebouwingsdichtheid, de gevellengte per oppervlak af;
- bij dicht op elkaar staande bebouwing is de afmeting van het gebouw niet meer verwaarloosbaar ten opzichte van de bebouwingsafstand.

De bebouwingsparameters worden daarom als volgt gecorrigeerd voor de bebouwingsdichtheid:

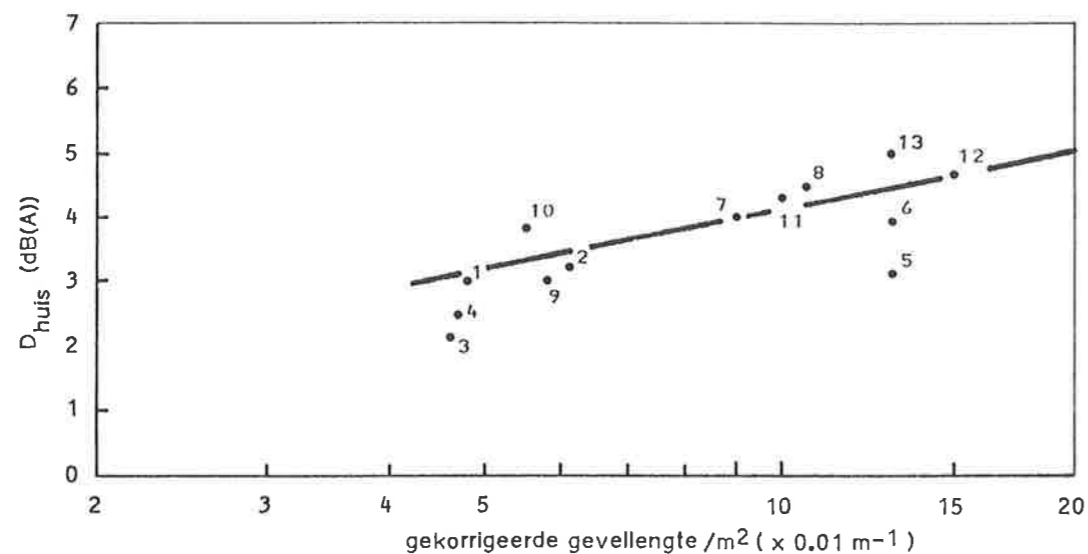
- de gevellengte per oppervlak wordt gedeeld door het aandeel onbebouwd oppervlak (uitgedrukt in de fractie tussen 0 en 1) van de beschouwde wijk;
- de bebouwingsafstand wordt vermenigvuldigd met het aandeel onbebouwd oppervlak.

In figuur 7 en 8 zijn de waarden van  $\Delta_{huis}$  als functie van deze gecorrigeerde bebouwingsparameters gegeven.

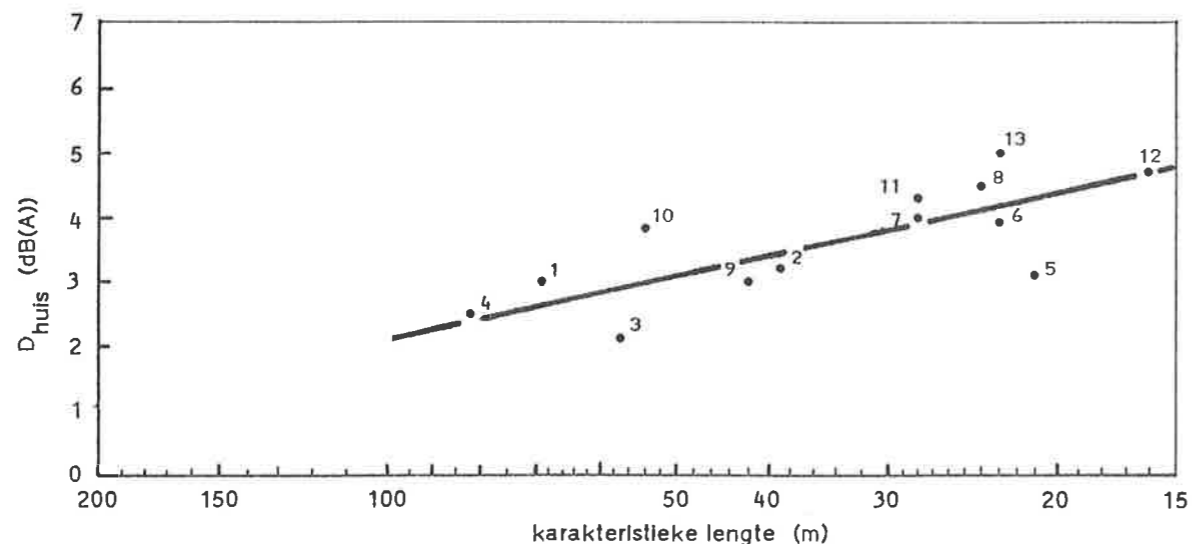
In tabel IV zijn de resultaten van de kleinste kwadraten aanpassing gegeven. Hieruit blijkt een aanzienlijke verbetering van de correlatie coëfficiënt en van de variantie ten opzichte van de resultaten met niet gecorrigeerde bebouwingsparameters.

**Tabel IV:** als tabel III echter met correctie voor bebouwingsdichtheid

	figuur 7 (gevellengte/m <sup>2</sup> )	figuur 8 (reciproke bebouwingsafstand)
a	0,44	2,2
b	3,51	3,0
korrelatie coëfficiënt	0,77	0,79
variantie	0,30	0,30



Figuur 7: individuele  $\Delta_{\text{huis}}$ -waarden als functie van de gevellengte per oppervlak. Gekorrigeerd voor de bebouwingsdichtheid



Figuur 8: Individuele  $\Delta_{\text{huis}}$ -waarden als functie van de bebouwingsafstand. Gekorrigeerd voor de bebouwingsdichtheid (karakteristieke lengte).

#### 4.3 Gedrag bij grote karakteristieke lengtes

Bij grote karakteristieke lengtes ( $> 100$  m) zijn te weinig meetgegevens beschikbaar om een gedrag op te kunnen baseren. Echter op analytische gronden kan men wel een verloop van  $\Delta_{\text{huis}}$  vaststellen.

Bij toename van de karakteristieke lengte  $L$  zal de bijdrage van het diffuse veld afnemen als gevolg van de verlaging van de strooilichaamdichtheid en de toename van de kans dat het geluid tussen de bebouwing vandaan verstrooid wordt.

De bijdrage van het directe veld daarentegen zal sterk toenemen als gevolg van de afnemende schermwerking (al bij een afstand van 50 m achter een scherm ligt een waarnemingspunt met een hoogte van 3 m onder de bovenkant van het scherm in de directe geluidstraal in het gekromde stralenmodel).

Bij een afstand van 100 m achter de bebouwing zal de schermwerking nul zijn.

Gezien de in de praktijk optredende spreiding in bebouwingsafstand en het feit, dat de bebouwingsafstand in willekeurige richtingen bepaald wordt, zal de waarde van  $\Delta_{\text{huis}}$  in het interval van 125 m tot 175 m karakteristieke lengte naar nul gaan.

Dit gedrag is aangegeven in figuur 10 (zie bladzijde 27).

#### 4.4 Onderling verband tussen de bebouwingsparameters

Uit onderlinge vergelijking van de figuren en tabellen blijkt de relatie tussen  $\Delta_{\text{huis}}$  en de beide bebouwingsparameters kwalitatief gelijkwaardig zijn.

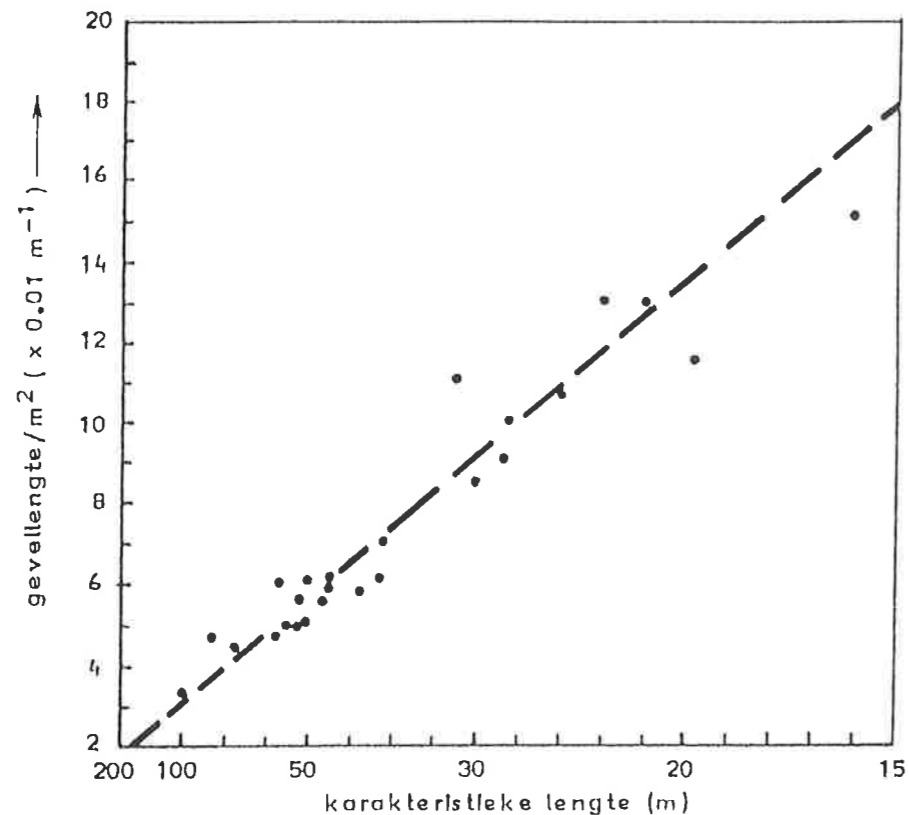
Dit vindt zijn oorsprong in het feit dat de beide parameters niet geheel onafhankelijk zijn van elkaar.

Men kan afleiden dat voor een (theoretische) bebouwing met vierkante elementen van dezelfde grootte de volgende relatie geldt:

$$\text{gevellengte/oppervlak} * \text{gemiddelde bebouwingsafstand} = 4$$

In de praktijk echter bestaat er variatie in afmeting en vorm van de gebouwen ten opzichte van dit hypothetische geval.





Figuur 9: Empirisch verband tussen de karakteristieke lengte en de gekorrigeerde gevallengte/m<sup>2</sup>

In figuur 9 zijn voor een groot aantal bebouwde gebieden deze parameters tegen elkaar uitgezet. Door de punten is vervolgens een best passende lijn berekend. Daaruit blijkt de volgende relatie:

$$\text{gecorrigeerde (gevellengte/oppervlak)} * \text{karakteristieke lengte} = 2,8$$

met een korrelatie koëfficiënt van 0,97 waaruit een zeer sterk onderling verband blijkt.

#### 4.5 Konklusie

Uit het voorafgaande kan gekonkludeerd worden dat de waarde van  $\Delta_{\text{huis}}$  goed te bepalen is op grond van één enkele bebouwingsparameter. Uit het onderzoek bleek dat de gekorrigeerde bebouwingsafstand een eenvoudige en snel te bepalen grootheid is. Voorgesteld wordt om deze grootheid als relevante parameter te kiezen. Deze zal vervolgens worden aangeduid met karakteristieke lengte L.

In hoofdstuk 5 wordt dieper ingegaan op de methode van bepaling van L en is de gevoeligheid voor eigen interpretatie nader onderzocht.

De relatie tussen  $\Delta_{\text{huis}}$  en de karakteristieke lengte L (L < 125 m) kan op grond van de beschikbare gegevens berekend worden als:

$$\Delta_{\text{huis}} = 2,2 + 3,0 \log (100/L) \text{ [dB]} \quad (6a)$$

In het gebied tussen L = 125 m en L = 175 m gaat  $\Delta_{\text{huis}}$  naar nul volgens:

$$\Delta_{\text{huis}} = 3,2 + 13,1 \log (100/L) \text{ [dB]} \quad (6b)$$

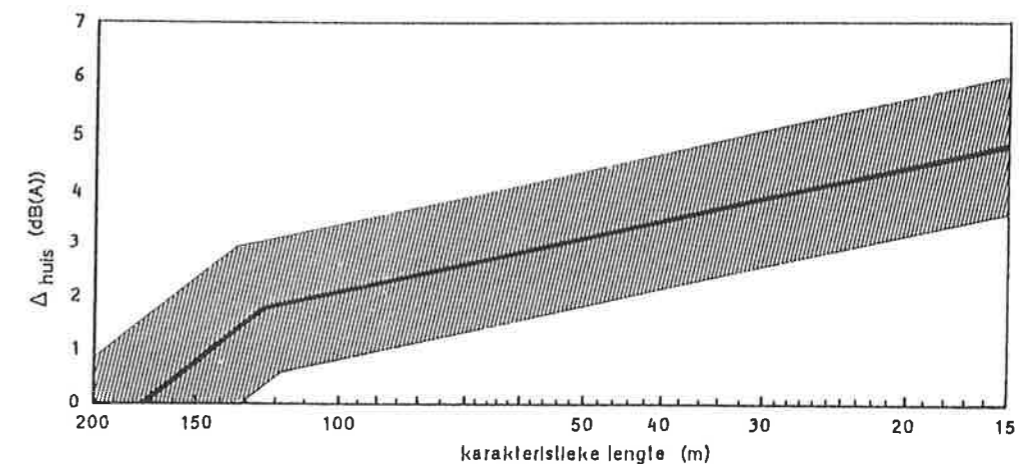
Dit ingevuld in vgl. 2 geeft vervolgens (L < 125 m).

$$L_{i,\text{woonwijk}} = L_{i,0} - (2,2 + 3,0 \log (100/L)) \text{ [dB(A)]} \quad (7a)$$

en voor 125 m < L < 175 m:

$$L_{i,\text{woonwijk}} = L_{i,0} - (3,2 + 13,1 \log (100/L)) \text{ [dB(A)]} \quad (7b)$$

Vgl. (6) is in figuur 10 grafisch weergegeven.



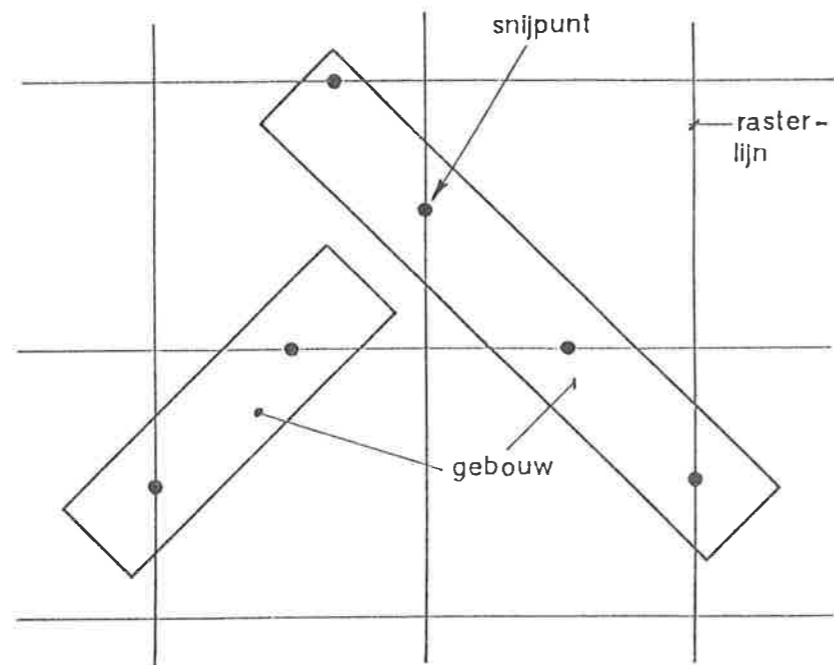
Figuur 10: het verband tussen  $\Delta_{\text{huis}}$  en de karakteristieke lengte, zoals bepaald in vgl. (6). De arcering geeft de geschatte gemiddelde kwadratische afstand in de individuele geluidnivo's.

## 5. BEPALING KARAKTERISTIEKE LENGTE

### 5.1 Methode

#### Gemiddelde bebouwingsafstand

De gemiddelde bebouwingsafstand wordt als volgt bepaald: Over de plattegrond van de woonwijk wordt een raster gelegd met een op de bebouwing afgestemde maaswijdte. De rasterlijnen zullen in het algemeen diverse keren de bebouwing snijden. Het aantal doorsnijdingen wordt geteld. In figuur 11 is dit in detail aangegeven.



Figuur 11: Doorsnijding van woonbebouwing door rasterlijnen

Vervolgens wordt de totale lengte van de rasterlijnen bepaald. De gemiddelde bebouwingsafstand wordt verkregen door de totale lengte te delen door het aantal doorsnijdingen.

#### Aandeel onbebouwd oppervlak

In veel gevallen zal van de betreffende woonwijk het percentage bebouwd oppervlak bekend zijn. Hieruit volgt direkt het percentage onbebouwd oppervlak volgens:

$$\text{percentage onbebouwd} = 100 - \text{percentage bebouwd}$$

(Het aandeel onbebouwd wordt verkregen door het percentagegetal te delen door 100).

Indien dit niet bekend is wordt het aandeel onbebouwd oppervlak bepaald met behulp van kaartmateriaal. De vereiste nauwkeurigheid bedraagt circa 5%. Gebouwen met een hoogte  $\leq 3$  m worden niet meegerekend.

### 5.2 Gevoeligheidsanalyse

Men dient aan de bepaling van de karakteristieke lengte de eis te stellen dat de resultaten niet significant mogen afhangen van variaties in toepassing van de methode zoals rasteroriëntatie, rasterfijnheid, gebiedskeuze en dergelijke.

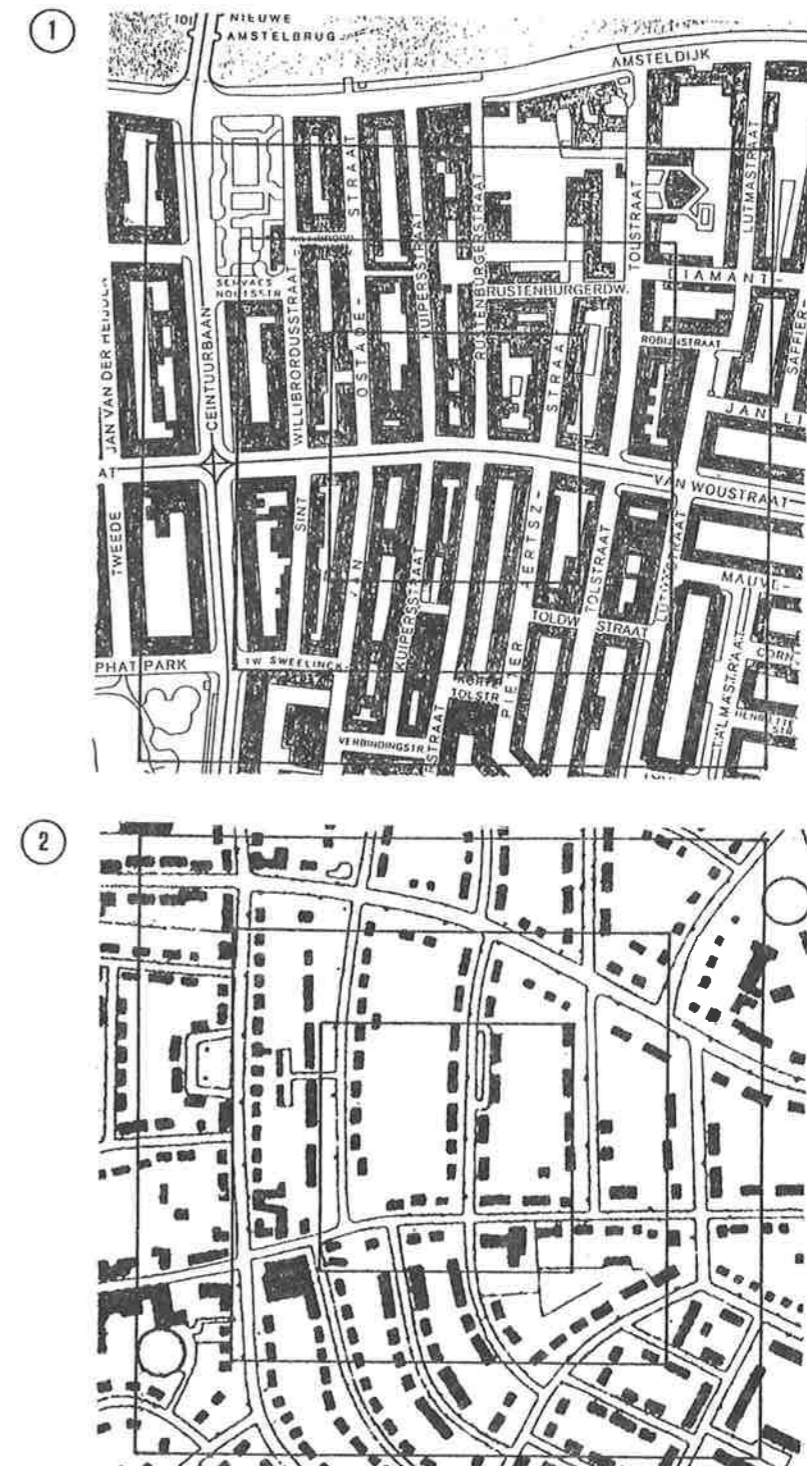
De gevoeligheid voor deze parameters is onderzocht door voor twee gebieden - een stedelijk en een tuinstedelijk - een aantal malen de karakteristieke lengte te bepalen, waarbij steeds één van de parameters gevarieerd is.

Bij elk gebied zijn drie rasters toegepast. De maaswijdte bedroeg 35, 50 en 75 m. Het raster met een 50 m maaswijdte is toegepast bij vier oriëntaties ten opzichte van de in fig. 13 getekende vierkanten, te weten  $0^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$  en  $67.5^\circ$ . De gebiedsgrootte bedroeg in deze gevallen een vierkant van  $(350 \text{ m})^2$ . Tevens is een bepaling verricht bij een gebiedsgrootte van  $(200 \text{ m})^2$  en  $(500 \text{ m})^2$ .

De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel V. De gebieden zijn aangegeven in figuren 12.1 en 2.

Tabel V: resultaten van de gevoeligheidsanalyse van de karakteristieke lengte-bepaling

rastergrootte (m)	oriëntatie (°)	gebiedgrootte (m <sup>2</sup> )	karakteristieke lengte (m)	
			gebied 1	gebied 2
35	45	350 <sup>2</sup>	26	57
50	45	350 <sup>2</sup>	26	53
75	45	350 <sup>2</sup>	27	59
50	0	350 <sup>2</sup>	32	49
50	22,5	350 <sup>2</sup>	27	59
50	67,5	350 <sup>2</sup>	30	55
50	45	200 <sup>2</sup>	23	59
50	45	500 <sup>2</sup>	30	58
		gemiddelde spreiding	28 2,6	56 3,4



Figuur 12: woongebieden waarop de gevoeligheidsanalyse is toegepast.  
 gebied 1: stedelijke hoogbouw  
 gebied 2: buitenstedelijke laagbouw

Uit tabel V kan afgeleid worden dat de bepaling van de karakteristieke lengte voldoende ongevoelig is voor de manier van toepassen van de methode. De spreiding in de verkregen karakteristieke lengten bedraagt voor gebied 1 en 2 respektievelijk 2,6 en 3,4 m. Dit komt volgens de grafiek in figuur 10 overeen met een spreiding in  $\Delta_{\text{huis}}$  van circa 0,2 dB(A).

Een minder eenvoudig te bepalen faktor is het aandeel onbebouwd oppervlak. Enerzijds is een nauwkeurige bepaling op basis van kaartmateriaal in het algemeen zeer tijdrovend, anderzijds vertonen oppervlakkige schattingen sterke inter-individuele verschillen.

Echter, een variatie in deze parameter werkt zeer weinig door in de waarde van  $\Delta_{\text{huis}}$ . Immers, in het algemeen is dit aandeel 0,75 of meer. Een afwijking van 50% hiervan resulteert in een relatieve fout van minder dan 16% in de karakteristieke lengte. Dit resulteert eveneens in een spreiding van circa 0,2 dB(A) bij de vaststelling van  $\Delta_{\text{huis}}$ . Doorgaans zal een op het oog bepaald aandeel onbebouwd dus voldoende nauwkeurig zijn.

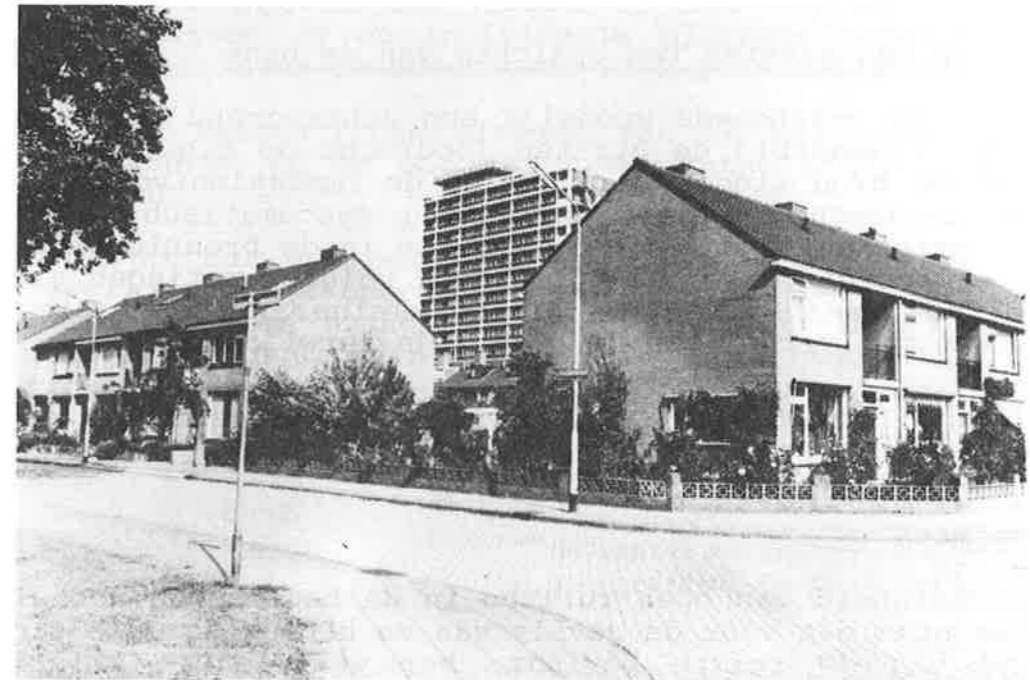
## 6. AFWIJINGEN VAN HET BEREKENDE IMMISSIENIVO

### 6.1 Voorspelbare afwijkingen

#### Incidentele hoogbouw in laagbouwwijken

Zoals reeds eerder werd uitgelegd is de berekende verzwakkings-term  $\Delta_{\text{huis}}$  kenmerkend voor een bepaalde woonwijk, in die zin dat hiermee het gemiddelde immissienivo wordt bepaald. Plaatselijke afwijkingen van dit gemiddelde nivo zijn dus te verwachten. Echter voor sommige situaties is de grootte van dergelijke afwijkingen voorspelbaar. Hiertoe behoort de in de praktijk vaak voorkomende situatie, waar binnen een laagbouwwijk enkele hoge flatgebouwen zijn geplaatst, zoals bijvoorbeeld in fig. 13 is getoond.

De immissienivo's zullen vanuit de bron gezien vòòr het flatgebouw hoger en achter het flatgebouw lager komen te liggen dan volgens vgl. (7) berekend.



Figuur 14: incidentele hoogbouw in laagbouwwijk

De juiste waarde van  $L_{i, \text{woonwijk}}$  op deze punten kan bij benadering als volgt worden berekend.

Bepaal het in vgl. (1) gedefinieerde nivo  $L_i$  op een hoogte van circa 1 m boven de gemiddelde nokhoogte van de - het flatgebouw omringende - bebouwing (bij laagbouwwijken is dit meestal een hoogte van 9 m à 10 m) voor absorberende bodem in het ontvan-gergebied.

Hierbij wordt  $\Delta_{\text{huis}}$  nog buiten beschouwing gelaten, maar gebruik wordt gemaakt van onder meer de verzwakkingsterm  $D_{\text{scherm}}$  en  $D_{\text{refl}}$ , welke berekend zijn voor de in het overdrachtstrajekt staande objecten i.c. het flatgebouw. Bereken vervolgens  $L_{i, \text{woonwijk}}$  met behulp van de volgende formule:

$$L_{i, \text{woonwijk}} = L_i - \Delta_{\text{huis}} \quad (8)$$

waarbij pas nu voor  $\Delta_{\text{huis}}$  de hiervoor volgens vgl. (6) berekende waarden worden ingevuld.

Met betrekking tot de boven de bebouwing uitstekende delen van de flat, geldt vanzelfsprekend dat  $\Delta_{\text{huis}}$  gelijk is aan nul.

#### Oriëntatie van straten ten opzichte van de bron

Indien in de beschouwde woonwijk een achtergrond straatpatroon aanwezig is, waarbij de straten loodrecht op c.q. in de richting van de bron liggen, dan zullen de immis-sienivo's  $L$  in de straten loodrecht op de bronrichting systematisch lager zijn dan de immis-sienivo's  $L$  in de straten in de bronrichting. De te verwachten verschillen bedragen volgens metingen uit [4] circa 2 dB, waarbij de verschillen kleiner worden naarmate de immis-siepunten verder van de bron zijn verwijderd.

#### Open ruimten

Bij aanwezigheid van open ruimten in de beschouwde woonwijk is te verwachten dat vòòr de gevels van de bebouwing, die zich aan de rand van de ruimte bevindt, het werkelijke immis-sienivo afwijkt van het berekende in zo verre er sprake is van een direkte instraling vanuit de bron in het plein.

Dit is bij benadering het geval indien de afstand in de richting van de geluidbron (of loodrecht op de geluidkontour) groter wordt dan 100 m.

De term  $\Delta_{\text{huis}}$  gaat dan naar nul.

#### 6.2 Niet voorspelbare afwijkingen

Omdat de berekeningen van  $\Delta_{\text{huis}}$  volgens vgl. (6) is gebaseerd enerzijds op een over vele meetplaatsen gemiddelde waarde van het immis-sienivo en anderzijds op een statistisch bepaalde functie van de karakteristieke lengte  $L$  zijn afwijkingen tussen het berekende en het werkelijke immis-sienivo ter plaatse steeds mogelijk.

De grootte van de afwijkingen is in principe niet voorspelbaar, maar er kunnen zekere verwachtingen worden afgeleid uit de voor dit onderzoek ter beschikking staande metingen.

Figuur 5 en 10 geven een indicatie van de te verwachten verschillen tussen de op individuele plaatsen gemeten immis-sienivo's en het over de beschouwde wijk gemiddelde nivo.

De gemiddelde kwadratische afstand van de meetpunten tot de gemiddelde waarde in de ons ter beschikking staande metingen bedroeg 1,7 dB.

Hieruit blijkt dat een enkele individuele meting in een woon-wijk nauwelijks enige betrouwbaarheids-waarde heeft. Het aantal individuele metingen binnen een woonwijk dient derhalve nooit kleiner te zijn dan 6, maar bij voorkeur veel hoger.

Hiervoor kan de volgende regel worden aangehouden:

$$n \geq 2 s^2 \quad (10)$$

n: aantal metingen  
s: spreiding in dB

Tenslotte geeft fig. 8 en tabel IV een indicatie van de te verwachten afwijkingen van het werkelijke door middeling over vele immis-siepunte bepaalde  $\Delta_{\text{huis}}$  van de volgens vgl. (6) berekende waarde. Deze bedragen gemiddeld 0,5 dB. Ook deze afwijkingen zijn inherent aan de hier gekozen methode.

7. AFHANKELIJKHEID VAN  $\Delta_{huiss}$  VAN DE FREQUENTIE, DE AFSTAND EN DE ONTVANGERHOOGTE

7.1 Frequentie-afhankelijkheid

In de voorafgaande hoofdstukken is reeds impliciet ervan uitgegaan dat de verzwakkingsterm  $\Delta_{huiss}$  niet afhankelijk is van de frequentie. Dit is onderzocht door uit de ons ter beschikking staande meetgegevens de frequentie afhankelijkheid van de bebouwingdemping te bepalen. Per A-nivo-bepalende oktaafband is berekend de ratio van de demping (in dB) in de betreffende oktaafband  $D_j$  en de demping  $D_A$  met betrekking tot het A-nivo:

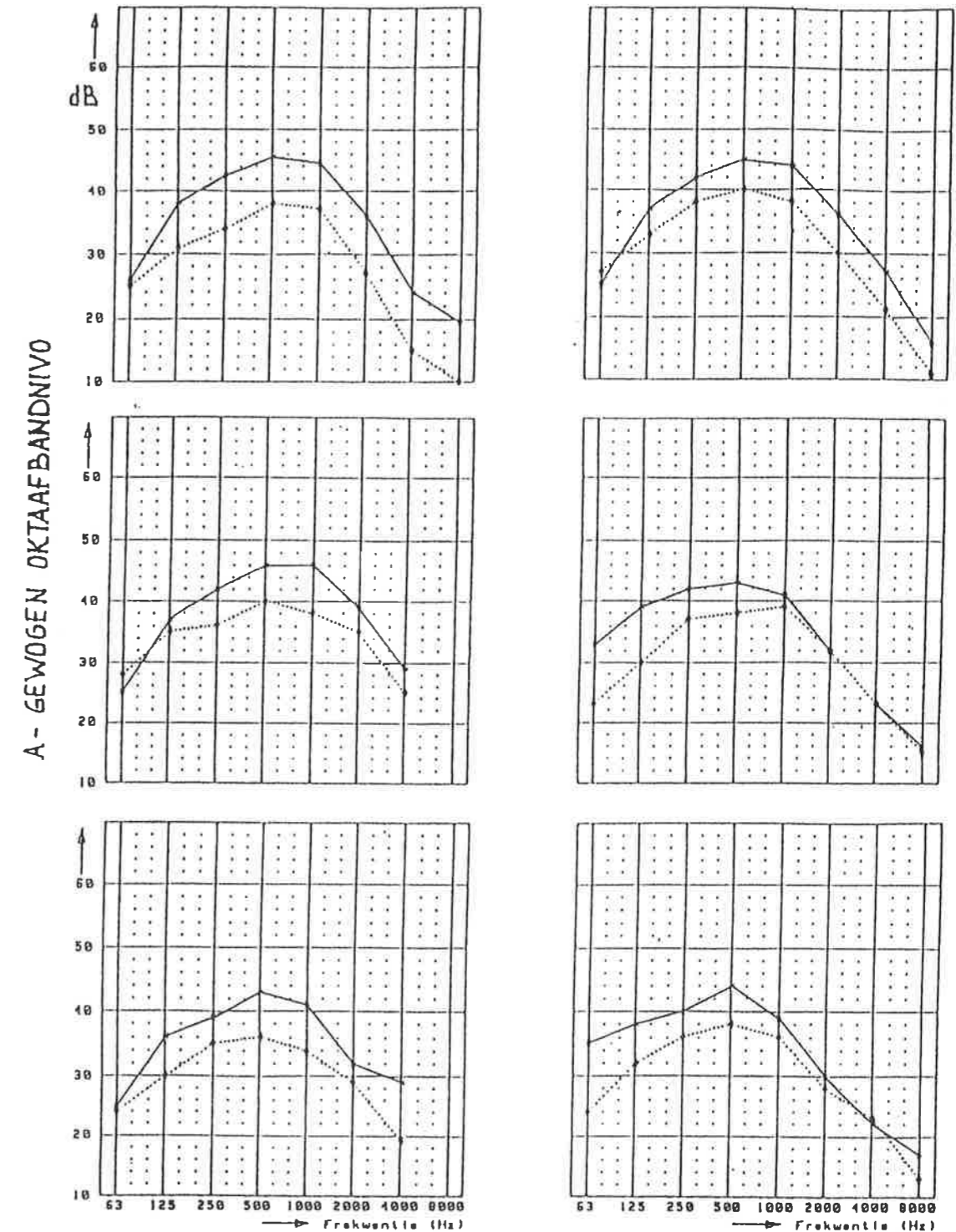
$$D_j/D_A$$

De resultaten zijn weergegeven in tabel VI.

Tabel VI: frequentie afhankelijkheid van de bebouwingdemping

Frequentieband	125	250	500	1000
$D_j/D_A$	0,9	1,0	1,0	1,1

Daaruit blijkt dat de waarde (in dB) van  $\Delta_{huiss}$  bij 125 Hz slechts circa 10% lager is dan de  $\Delta_{huiss}$  met betrekking tot het A-nivo. Bij 1000 Hz ligt de waarde slechts circa 10% hoger. Enkele voorbeelden van de gemeten oktaafbandspektra uit [7] zijn in figuur 14 weergegeven. Gekonkludeerd kan worden, dat met betrekking tot normale industriegeluidspektra met niet te sterke laagfrequente componenten  $\Delta_{huiss}$  kan worden gebruikt als zijnde de reductie van het A-gewogen immisnienivo.



Figuur 14: frequentie-afhankelijkheid van  $\Delta_{huiss}$  (volgens [7])  
 — referentiemeting  
 .....meting binnen woonwijk

### 7.2 Afstand-afhankelijkheid

Met betrekking tot de afhankelijkheid van  $\Delta_{\text{huis}}$  van de afstand tot de bron, c.q. van de lengte van het overdrachtstrajekt binnen de woonwijk wijzen alle bij dit onderzoek betrokken metingen uit, dat  $\Delta_{\text{huis}}$  onafhankelijk is van de afstand. Dit gedrag bevestigt de juistheid van het in paragraaf 3.1 omschreven natuurkundige beeld, waar op alle verder van de bron verwijderde immissiepunten telkens weer directe instraling van boven plaatsvindt via de gekromde geluidstralen (Zie figuur 2 en 3).

Hierbij moet worden benadrukt, dat dit gedrag alleen is waar te nemen indien aan de in paragraaf 2.2 omschreven voorwaarde wordt voldaan.

### 7.3 Hoogte-afhankelijkheid

Als standaardmeethoogte voor de bepaling van  $\Delta_{\text{huis}}$  wordt gekozen voor 3 m beneden de gemiddelde nokhoogte. Er zijn echter ook immissiemetingen verricht op andere hoogten, waaruit een indicatie kan worden verkregen hoe het immissienivo c.q.  $\Delta_{\text{huis}}$  met de ontvangerhoogte verandert:

Uit de in tabel I aangehaalde metingen 5, 6, 7, 12 en 13 is het gemiddeld verschil berekend tussen de  $\Delta_{\text{huis}}$  op 3 m onder de nok waarbij de mikrofoonpositie op circa 9 tot 12 m hoogte bevond, en een  $\Delta_{\text{huis}}$  met een mikrofoonpositie op 5 m hoogte.

Daaruit blijkt een gemiddeld verschil van circa 0,9 dB(A) welke neerkomt op een toename van  $\Delta_{\text{huis}}$  met circa 20%. Een dergelijke geringe toename kan begrepen worden uit de relatief belangrijke bijdrage van het diffuse veld. Immers  $\Delta_{\text{huis}}$  is veel lager als alleen op grond van afscherming verwacht kan worden. Het is dan aannemelijk ook in andere gevallen een kleine afhankelijkheid van  $\Delta_{\text{huis}}$  van de hoogte te veronderstellen.

Men kan dus stellen dat de volgens de hier voorgestelde methode bepaalde verzwakkingsterm  $\Delta_{\text{huis}}$  geschikt is om de immissienivo's c.q. de gevelbelasting (zie hoofdstuk 9) op alle verdiepingen te bepalen.

### 8. $\Delta_{\text{huis}}$ MET BETREKKING TOT ANDERE DAN ABSORBERENDE BODEMS

Volgens vgl. (2) is  $\Delta_{\text{huis}}$  bepaald als zijnde de gemiddelde nivoreduktie ten opzichte van het "poldernivo"  $L_{i,\text{polder}}$  boven absorberende bodem (bodemfaktor  $B=1$ ). In voorkomende gevallen kan het wenselijk zijn, om  $\Delta_{\text{huis}}$  te kunnen bepalen met betrekking tot een referentienivo  $L_{i,0}$  boven een harde bodem ( $B=0$ ) of boven een niet volledig absorberende bodem ( $0 < B < 1$ ). Hiervoor geeft tabel VII een korrektieterm aan, waarmee de waarde van  $\Delta_{\text{huis}}$ , zoals bepaald in de vorige paragrafen, wordt verhoogd.

Tabel VII: Verhoging van  $\Delta_{\text{huis}}$  indien het poldernivo  $L_{i,\text{polder}}$  uit vgl. (2) betrekking heeft op een andere dan een absorberende bodem

Bodemfaktor B	1	0,6	0,3	0
verhoging	0 dB	0,5 dB	0,7 dB	1,0 dB

Deze tabel is van toepassing op de meest voorkomende industrielaawaaispektra zonder sterke laagfrequente componenten. De waarden zijn berekend volgens methode C8 van de Handleiding en zijn dan ook alleen van toepassing daar waar de geluidimmissie met behulp van methode C wordt berekend.

Indien het poldernivo  $L_{i,0}$  volgens methode B van de handleiding is bepaald geldt bij overgang van een absorberende naar een harde bodem:

$$\text{verhoging } \Delta_{\text{huis}} = 1 \text{ dB}$$

(methode B kent geen tussenstappen van absorberende naar harde bodem).

Algemeen kan dus worden gesteld:

Met betrekking tot harde bodem is de verzwakkingsterm  $\Delta_{\text{huis}}$  1 dB hoger dan met betrekking tot absorberende bodem.

## 9. BEPALING VAN DE GEVELBELASTING

Voor de toepassing van het reeds genoemde "maximale bronkostenkriterium" bij de sanering industrielawaai [2] en bij de beoordeling van nieuwbouwplannen binnen geluidzones is niet het gestandaardiseerde immissienivo maar de "gevelbelasting van de gevel van een woning" de bepalende grootte.

In paragraaf 2.1 is reeds de problematiek rond de bepaling van de "gevelbelasting" in woonwijken geschetst. Zoals hierin reeds is gesteld, moet ter bepaling van de gevelbelasting de ons inziens niet eenduidig gedefinieerde invloed van de "eigen gevelreflektie" op het nivo  $L_{i, \text{woonwijk}}$  bekend zijn. Een dergelijke correctie is door de aangepaste gevelreflektie-term  $C_{g, \text{diff}}$  in rekening gebracht. De grootte van  $C_{g, \text{diff}}$  is naar verwachting afhankelijk van de aard van de bebouwing in die zin, dat een dichtere bebouwing een hogere waarde tot gevolg heeft dan een minder dichte bebouwing.

De waarde van de gevelcorrectie-term ligt naar verwachting tussen  $0 < C_{g, \text{diff}} < 3$  dB, waarbij de lage waarden van  $C_{g, \text{diff}}$  behoren tot woonwijken met open en lage bebouwing. De waarden zullen oplopen bij woonwijken met dichte en hoge bebouwing, maar zullen duidelijk beneden 3 dB blijven. Hiervan uitgaande wordt de gevelcorrectie-term als volgt vastgesteld:

$$C_{g, \text{diff}} = 0,5 + 1,5 \log (100/L) \quad (9)$$

L: karakteristieke lengte in m zoals in hoofdstuk 5 is gedefinieerd

Deze vaststelling is gebaseerd op een inschatting van een te verwachten effect, maar, zoals reeds is gezegd, niet op een onderbouwend onderzoek van enige omvang.

Bij de berekening van de gevelbelasting wordt dus, in overeenstemming met de in de Handleiding [1] omschreven procedure (zie bijvoorbeeld de overzichten op bladzijde 2A4 en 2B8) eerst het nivo  $L_{i, \text{woonwijk}}$  berekend, met behulp van vgl. (7).

Daarna wordt, nadat alle andere correctie-termen zijn verwerkt, de gevelcorrectie-term  $C_{g, \text{diff}}$  afgetrokken:

$$B_i = L_{i, \text{woonwijk}} - C_m - C_b - (C_{g, \text{diff}}) \quad (10)$$

$B_i$  : gevelbelasting ten behoeve van zoning en sanering

$C_m$  : meteocorrectie-term volgens [1]

$C_b$  : bedrijfsduurcorrectie-term volgens [1]

Indien nu  $L_{i, \text{woonwijk}}$  in vgl. (10) wordt vervangen door vgl. (7) en  $C_{g, \text{diff}}$  door vgl. (9) kan  $B_i$  als functie van de karakteristieke lengte L worden berekend ( $L < 125$  m):

$$B_i = L_{i, 0} - C_m - C_b - 4,5 \log (100/L) - 2,7 \text{ dB} \quad (11)$$

voor  $125 \text{ m} < L < 175 \text{ m}$ :

$$B_i = L_{i, 0} - C_m - C_b - 14,6 \log (100/L) - 3,7 \text{ dB} \quad (12)$$

  
Dr. ing. A. von Meier

  
Dr. G.J. van Blokland



## LITERATUURLIJST

- [1] Brackenhoff, H.E.A.  
Buis, P.M.  
Von Meier, A. Handleiding Meten en Rekenen  
Industrielawaai, ICG-rapport  
IL-HR-13-01 (1981)
- [2] N.N. Leidraad sanering industrie-  
lawaai, publikatie nr. 18 van  
de reeks Milieubeheer, Minis-  
terie VROM, oktober 1986
- [3] Wolfert, H.  
Nierop Azn, C.A. Afscherming van industriela-  
waaï in woonwijken, Geluid en  
Omgeving, juni 1987
- [4] TEBODIN raadgevende  
ingenieurs Geluidmetingen DSM-terrein  
TEBODIN-rapport (1984) in  
opdracht van Provinciale Wa-  
terstaat Limburg
- [5] Nierop Azn., C.A. Zoneringsonderzoek Rijnmond,  
M + P rapport DCMR.83.2.3  
(1984) en DCMR.83.2.11 (1984)  
in opdracht van de Dienst Cen-  
traal Milieubeheer Rijnmond
- [6] Von Meier, A.  
Jovicic, S. Geluiduitbreiding in fabrieks-  
hallen, NAG-publikatie nr. 37  
(1976), 30 ff
- [7] Buis, P.M. Studie van D<sub>huis</sub> en D<sub>terrein</sub>  
in een aantal praktijksitua-  
ties, LBP-rapport 69.039  
(1985)

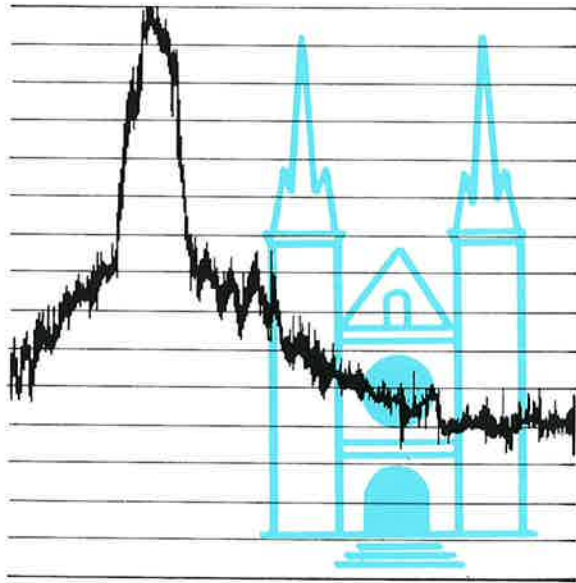
Opmerking: de referenties [4], [5] en [7] zijn (nog) niet gepu-  
bliceerde onderzoeken.

*J. v. Hecke*

GF-HR-01-03

Directoraat-Generaal  
Milieubeheer

Uitbreiding van  
industriegeluid in  
woonwijken met  
betrekking tot  
sanering  
industrielawaai



Onderzoekprogramma  
geluidhinder

# Beleidsontwikkeling



Ministerie van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer