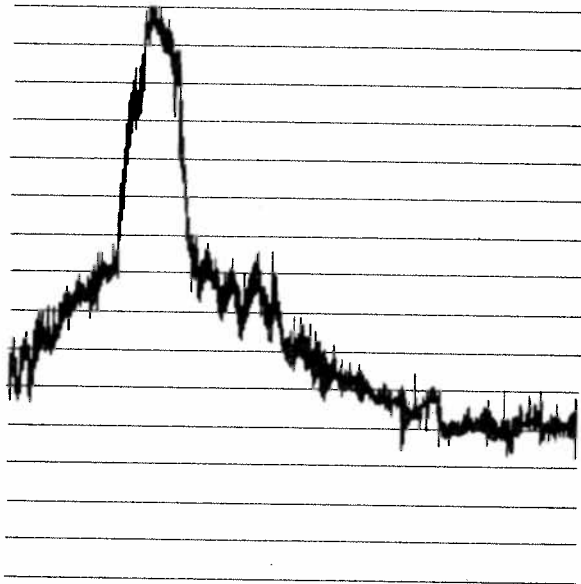


GA-HR-08-02

- Hinder door geluid van tram- en wegverkeer
- Noise nuisance caused by trams and road traffic;



**Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**

OG

**Onderzoekprogramma
geluidhinder**



Documentbeschrijving

1 Rapport nr. GA-HR-08-02	6 ISBN nummer 90 346 0615 5
2 Titel Rapport Hinder door geluid van Tram- en wegverkeer	7 Distributienummer 85822/10-85
3 Schrijver(s)/redacteur(s) drs. H. Miedema, ing. R. van den Berg	8 Datum publicatie okt. 1985
4 Uitvoerend instituut Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg ITNO	9 Rapport type en periode okt. 1982 - juni 1985
5 Opdrachtgever(s) Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer	10 Titel onderzoekproject
11 Samenvatting	
12 Begeleidingscommissie ir. M. van den Berg ir. L.J.M. Jacobs drs. R. Braakenburg van Backum C.Th. Mors drs. A. Peeters ir. J. Bergs ir. C. van Ruiten ir. Kijlstra H.H. Boender ir. de Haan	13 Bijbehorende rapporten 14 Aantal blz. 90 + bijlagen
DGMH DGMH DGV RPD Universiteit van Utrecht DGVH TPD-TNO RET HTM GVB	15 Prijs * f 30,-

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

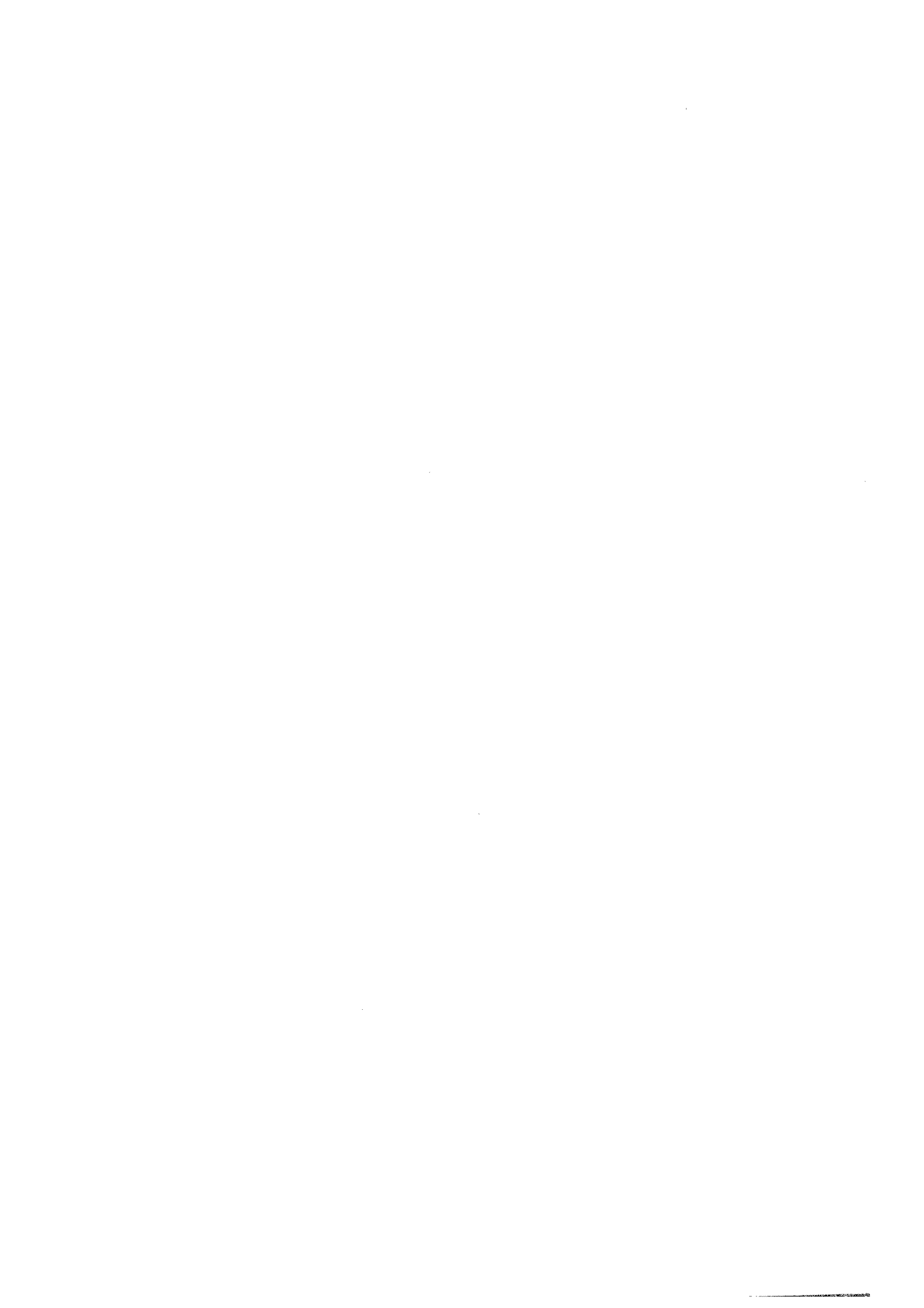


H.M.E. Miedema, R. van den Berg

HINDER DOOR GELUID VAN TRAM- EN WEGVERKEER

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

Juni 1985, NIPG-TNO



SAMENVATTING

In Rotterdam, Den Haag en Amsterdam zijn op 35 lokaties met 798 mensen vraaggesprekken gevoerd. De gebruikte vragenlijst had in het bijzonder betrekking op geluidhinder van tramverkeer. Daarnaast kwam onder andere ook de hinder van wegverkeersgeluid en van de totale geluidssituatie aan de orde. De onderzoeklokaties zijn te onderscheiden in boog, halte, kruising, vrije baan en remise-traject situaties. Verdeeld over 30 lokaties zijn op 70 plaatsen geluidmetingen uitgevoerd. Op 5 lokaties zijn geen metingen verricht omdat de geluidssituatie sinds de enquête was gewijzigd of omdat het aantal respondenten daar zeer klein was.

Voor bogen en kruisingen enerzijds, en voor vrije banen anderzijds zijn verschillende relaties gevonden tussen het equivalente A-gewogen 24-uurs niveau en de niet-specifieke hinder. Ook voor de specifieke hinder (Bitter-index) zijn verschillende relaties gevonden. De hinder in boog/kruising situaties is bij eenzelfde geluidsniveau hoger dan in een vrije baan situatie.

De geluidsniveaus voor trams vertoonden op de in het onderzoek betrokken remise-trajecten een zeer geringe spreiding. Bij overeenkomstige equivalente 24-uurs niveaus bleek de hinder op remise-trajecten hoger dan in boog/kruising situaties.

Voor haltesituaties werd geen verband gevonden tussen geluidhinder van trams en geluidsdosisindexen.

De niet-specifieke en specifieke hinder zijn ook gerelateerd aan de etmaalwaarde. Ook bij een bepaalde etmaalwaarde blijkt de hinder bij bogen/kruisingen groter dan bij vrije banen. Het verschil van remise-trajecten ten opzichte van bogen/kruisingen vervalst als de hinder wordt uitgezet tegen de etmaalwaarde.

Voor wegverkeer is een relatie vastgesteld tussen (niet-specifieke) hinder en het equivalente A-gewogen 24-uurs niveau.

Ook is de hinder in verband gebracht met de etmaalwaarde voor het wegverkeer.

Maskering van tramgeluid door wegverkeersgeluid speelt op de in het onderzoek betrokken lokaties een ondergeschikte rol bij de voorspelling van de hinder van tramgeluid.

ABSTRACT

Noise nuisance caused by trams and road traffic.

In Rotterdam, The Hague and Amsterdam 798 persons at locations answered a questionnaire on the subject of noise nuisance. The questionnaire was particularly concerned with trams, but also included questions on road traffic noise and overall noise nuisance. The research was carried out in the following categories of locations - bends, stops, crossings, reserved tracks and depot areas. Acoustic measurements were carried out at 70 points at 30 of the locations. At 5 locations no measurements were carried out due to the acoustic situation having changed subsequent to the completion of the questionnaire, or because the number of respondents there was very small.

The relationship between the equivalent A-weighted 24 hour level and non-specific noise nuisance was found to vary in the case of both bends/crossings and reserved tracks. The same was found to apply to specific noise nuisance (Bitter scale). The perceived nuisance at bend/crossing locations was greater than in the case of reserved track locations even where the actual noise levels were the same. There were only minor differences in the tram noise levels of the depot areas covered by the questionnaire. In the case of corresponding equivalent 24 hour levels more nuisance was experienced in depot areas than at bend/crossing locations. No connection was found to exist between tram noise nuisance and sound dose indices at stops. Non-specific and specific noise nuisance were also related to "natural day"¹⁾ values. With a given natural day value, the nuisance perceived from bends/crossings can exceed that perceived from reserved tracks.

1) The - legal - natural day value is the highest of the following three values:

The LAeq day (07.00-19.00);

The LAeq evening + 5 dB(A) (19.00-23.00);

The LAeq night + 10 dB(A) (23.00-07.00).

The discrepancy between depot areas and bends/crossings is eliminated when the nuisance is plotted against the natural day value. In the case of road traffic a correlation was established between non-specific nuisance and the equivalent A-weighted 24 hour values, and the relationship between nuisance and the natural day value for road traffic was ascertained. The masking of tram noise by general road traffic noise at the locations covered by the questionnaire plays only a minor role in the prediction of tram noise nuisance levels.

INHOUD

	<u>Blz.</u>
0. ONDERZOEK EN RESULTATEN IN HET KORT BESCHREVEN	1
1. INLEIDING	6
1.1. Vraagstellingen voor het onderzoek	6
1.2. Vooraf beschikbare informatie over de eerste vraagstelling	7
1.3. Indeling van het rapport	10
2. SELECTIE VAN LOKATIES EN VAN RESPONDENTEN	11
2.1. Selectie van lokaties	11
2.2. Selectie van respondenten	17
3. GEGEVENSVERZAMELING: DE GELUIDMETINGEN	18
3.1. lokaties waar metingen zijn verricht	18
3.2. Variabelen die de belasting door tramgeluid bepalen	18
3.2.1. Type tram	20
3.2.2. Gevolgde baan	22
3.2.3. Aantal passages	22
3.2.4. Weersinvloeden	24
3.2.5. Wijze van passeren	24
3.3. Meetmethode	25
3.3.1. Meetplaats	26
3.3.2. Signaal/stoorverhouding	26
3.3.3. Waarnemingsperiode en aantal bemeten passages	26
3.3.4. Waarschuwingssignalen	27
3.3.5. Weersomstandigheden	27
3.3.6. IJking	27
3.3.7. Dynamiek	27
3.3.8. Microfoonopstelling	28
3.4. Apparatuur	28

	<u>Blz.</u>
4. GELUIDDATA	32
4.1. Wegverkeersgeluid	32
4.1.1. Analyse van de geluidopnames	33
4.1.2. Het verloop van indexen over een etmaal	34
4.1.3. Standaardspectrum	37
4.1.4. Indexen voor diverse etmaalperiodes	40
4.2. Tramverkeersgeluid	41
4.2.1. Indexen die passages karakteriseren	42
4.2.2. Indexen voor diverse etmaalperiodes	45
4.3. Bepaling van indexwaarden per respondent	48
4.4. Gevelisolatie	48
4.5. Nauwkeurigheid van de geluiddata	51
5. GEGEVENSVERZAMELING: DE ENQUÊTE	55
5.1. Opbouw van de vragenlijst	55
5.2. Non-respons en samenstelling van de steekproef	56
6. ENQUÊTE-DATA	59
6.1. Respondentvariabelen	59
6.2. Data met betrekking tot respondentvariabelen	60
7. DOSIS-EFFECT RELATIES VOOR TRAM- EN WEGVERKEER	65
7.1. Selectie van de geluidindexen	65
7.2. Relatie tussen geluidhinder en geluidindexen	70
7.2.1. Relaties voor tramverkeer	71
7.2.2. Relaties voor wegverkeer	74
7.3. Beïnvloeding van de hindergevoeligheid	79
7.4. Hindervoorspelling met een combinatie van variabelen	80
8. HINDER VAN DE TOTALE GELUIDSITUATIE	85
LITERATUUR	88

BIJLAGE 0: Toelichting bij de aanduidingen voor
geluidindexen

BIJLAGE 1: Lokatiegegevens

BIJLAGE 2: Figuren

BIJLAGE 3: Tabellen

BIJLAGE 4: De vragenlijst met de antwoordverdelingen
per vraag

0. ONDERZOEK EN RESULTATEN IN HET KORT BESCHREVEN

Het onderzoek was gericht op drie vraagstellingen:

1. Welke relaties bestaan er tussen kenmerken van tramgeluid en hinder van dit geluid in de woonomgeving.
2. Welke relaties bestaan er tussen kenmerken van wegverkeersgeluid en hinder van dit geluid in de woonomgeving.
3. Wat is in de woonomgeving de hinder van het totale geluid bij het blootstaan aan tram- en wegverkeersgeluid.

Gericht op deze vraagstellingen is een veldonderzoek uitgevoerd waarbij in Rotterdam, Den Haag en Amsterdam op 35 lokaties met 798 mensen vraaggesprekken zijn gevoerd. De gebruikte vragenlijst had in het bijzonder betrekking op geluidhinder van tramverkeer. Daarnaast kwam onder andere ook de hinder van wegverkeersgeluid en van de totale geluidssituatie aan de orde. De onderzoeklokaties zijn te onderscheiden in boog, halte, kruising, vrije baan en remise-traject situaties. Verdeeld over 30 lokaties zijn op 70 plaatsen geluidmetingen uitgevoerd. Op 5 lokaties zijn geen metingen verricht omdat de geluidssituatie sinds de enquête was gewijzigd of omdat het aantal respondenten daar zeer klein was. Aan de hand van de geluidmetingen is de belasting van ondervraagde personen door tramgeluid en door wegverkeersgeluid vastgesteld. Voor beide typen geluid zijn onder meer het equivalente A-gewogen 24-uurs niveau en de etmaalwaarde ¹⁾ vastgesteld²⁾. Voor tramgeluid is daarnaast bijzondere aandacht geschonken aan maskering door wegverkeersgeluid. Er is gebruik gemaakt van een model dat aangeeft hoe groot de daling van waargenomen geluid-

¹⁾ De etmaalwaarde is het maximum van het equivalente A-gewogen niveau voor de dag, voor de avond verhoogd met 5 dB(A) en voor de nacht verhoogd met 10 dB(A).

²⁾ Voor tramverkeer worden deze geluidindexen aangeduid met L_{Aeq} (24h) respectievelijk L_{etm} , voor wegverkeer met $W:L_{Aeq}$ (24h) respectievelijk $W:L_{etm}$.

sterkte is onder invloed van een maskeerder. Dit model is toegepast om te kunnen kwantificeren wat de invloed van wegverkeersgeluid is op de door ondervraagde personen waargenomen sterkte van tramgeluid.

Uit de enquête zijn de vragen naar de totale geluidhinder, de hinder van tramgeluid en hinder van wegverkeersgeluid het belangrijkste. Bij elk van deze vragen kon uit vijf antwoorden variërend van 'niet hinderlijk' tot 'erg hinderlijk' worden gekozen.

Tramverkeer

Voor tramverkeer en wegverkeer zijn de relaties tussen geluidbelasting en de mate van hinder afzonderlijk onderzocht. Bij tramverkeer is verder onderscheid gemaakt tussen de verschillende typen situaties. Voor haltes bleek er geen relatie te bestaan tussen het percentage (erg) gehinderden en $L_{Aeq}(24h)$ of L_{etm} . Voor bogen en kruisingen samengenomen en voor rechte vrije banen bleken er wel relaties te bestaan. Voor de twee in het onderzoek betrokken remisetrajecten was de spreiding in geluidbelasting te gering om een relatie te kunnen onderzoeken.

Voor vrije baan situaties neemt het percentage (erg) gehinderden bij L_{etm} -waarden rond 61 dB(A) toe van een vrij laag niveau (< 10%) tot een betrekkelijk hoog niveau (ruim 20%). Voor bogen/kruisingen vindt een dergelijke toename reeds plaats bij L_{etm} -waarden rond 48 dB(A). Voor bogen/kruisingen bereikt het percentage (erg) gehinderden bij een L_{etm} -waarde van 70 dB(A) een niveau van ruim 60%. Voor vrije baan situaties stijgt het percentage (erg) gehinderden nergens boven de 45%.

Bogen/kruisingen blijken dus bij een zelfde L_{etm} -waarde meer hinder te veroorzaken dan rechte vrije banen. De oorzaak hiervan is het voorkomen van bijzondere geluiden bij de in het onderzoek betrokken bogen/kruisingen: piepen, knerpen, rammelen, bonken en mogelijk ook betrekkelijk veel bellen.

Als wordt uitgegaan van de vrije baan situatie en aan bogen/kruisingen een straffactor moet worden toegekend ten opzichte van de vrije baan situatie bedraagt deze in termen van L_{etm} minimaal 7 dB(A). Dus, de L_{etm} -waarde die bij bogen/kruisingen een bepaalde mate van hinder oplevert is minimaal 7 dB(A) lager dan de L_{etm} -waarde die bij rechte vrije banen dezelfde mate van hinder veroorzaakt.

Deze straffactor geldt alleen als bogen/kruisingen genoemde bijzondere geluiden veroorzaken. Het is de verwachting dat de straffactor vervalt bij bogen/kruisingen waar het geluid weinig of geen tonale componenten of impulsen bevat.

Voor remisetrajekten is in het onderhavige onderzoek bij één L_{etm} -waarde het percentage (erg) gehinderden vastgesteld. Dit punt valt samen met de relaties tussen L_{etm} en het percentage (erg) gehinderden voor bogen/kruisingen.

Voor de remisetrajekten ligt het $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$ ruim 10 dB(A) lager dan L_{etm} . Dit wordt veroorzaakt doordat het equivalente A-gewogen niveau in de nachtperiode hoger is dan in de dag- of avondperiode. Als het percentage (erg) gehinderden in relatie tot het $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$ wordt bekeken, blijkt dat dit percentage voor remisetrajekten aanzienlijk hoger is dan voor bogen/kruisingen bij dezelfde $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$ -waarde. Zoals opgemerkt heft de straffactor die in de etmaalwaarde wordt toegepast vanwege het feit dat bij de remisetrajekten de geluidproductie in de nacht het hoogst is, dit verschil op. Dit is een aanwijzing voor de juistheid van een toeslag van 10 dB(A) op de nachtwaarde bij de bepaling van L_{etm} .

De mate waarin tramgeluid door wegverkeersgeluid wordt gemaskeerd bleek geen of weinig invloed te hebben op de hinder van het tramgeluid. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de maskering nergens sterk genoeg was om een duidelijke invloed op de hinder te hebben. Aangezien bij weinig combinaties van omgevingsbronnen de maskering sterker zal zijn dan voor tramverkeer met wegverkeer lijkt maskering in relatie tot geluidhinder van omgevingsbronnen een ondergeschikt verschijnsel.

Wegverkeer

Ook voor wegverkeer is de relatie van het percentage (erg) gehinderden met $W:L_{Aeq}(24h)$ en $W:L_{etm}$ onderzocht. Het wegverkeer in kwestie is stadsverkeer. De resultaten met betrekking tot dit type wegverkeer zijn vergeleken met resultaten die betrekking hebben op snelwegverkeer. Er zijn geen aanwijzingen dat voor $W:L_{Aeq}$ -waarden tot circa 60 dB(A) de geluidhinder van wegverkeer in de stad kleiner is dan van snelwegverkeer. Bij niveaus hoger dan 60 dB(A) schommelt het percentage (erg) gehinderden voor wegverkeer in de stad rond de 40% terwijl voor snelwegverkeer een toename plaatsvindt tot boven de 60%. Er is dus boven de 60 dB(A) een verschil tussen geluidhinder van wegverkeer in de stad en van snelwegverkeer, maar voor beide typen wegverkeer is de hinder bij die L_{Aeq} -waarden zeer hoog.

De totale situatie

Resultaten van de vraag naar hinder van de totale geluidssituatie zijn moeilijk interpreteerbaar. De antwoorden zijn in drie groepen te verdelen. Er zijn mensen die een totale hinder rapporteren die hoger is dan de hinder van elk van beide bronnen (tram- en wegverkeer) afzonderlijk beoordeeld (I:18%). Daarnaast zijn er mensen die een totale hinder rapporteren die gelijk is aan de hinder van de bron waarvan zij de meeste hinder zeggen te ondervinden (II:52%). Maar er zijn ook mensen die een totale hinder rapporteren die lager is dan de hinder van een of beide bronnen apart beoordeeld (III:31%).

Van de verschillende manieren om de totale hinder in verband te brengen met de hinder die wordt vermeld bij vragen voor afzonderlijke bronnen voldoet de dominantiehypothese het best. Volgens deze hypothese is de totale hinder gelijk aan de hinder van de bron waarvan de meeste hinder wordt ondervonden. Als deze hypothese perfect op zou gaan, zou het percentage in groep II dus, afgezien van de invloed van toevalsfactoren, 100% zijn. Dat het

voor groep II gevonden percentage aanzienlijk lager is (52%) wijst er op dat de resultaten ook met de dominantiehypothese niet bevredigend verklaard zijn.

In het laatste onderdeel van dit korte overzicht volgen enkele overwegingen naar aanleiding van het onbevredigende resultaat bij het relateren van totale hinder aan hinder van afzonderlijke bronnen.

Het feit dat het percentage in groep III aanzienlijk groter is dan 0 kan niet worden opgevat als aanwijzing dat de hinder van de totale situatie voor een aantal mensen kleiner is dan de hinder van een deel van de situatie. Het resultaat moet worden toegeschreven aan een artefact in de methode waarmee hinder wordt vastgesteld. Hierover kunnen echter slechts veronderstellingen worden geformuleerd. Een veronderstelling is dat de positie van de vraag naar de totale hinder het antwoord beïnvloedt. Deze vraag gaat in de gebruikte vragenlijst vooraf aan de vragen voor de afzonderlijke bronnen. Als deze volgorde omgekeerd was zou het percentage in groep III waarschijnlijk kleiner zijn. De mogelijkheid bestaat echter dat dit een gevolg zou zijn van een ongewenst effect. Mensen zouden het antwoord op de vraag naar totale hinder kunnen 'afleiden' uit hun eerdere antwoorden. Gewenst is echter dat men zich baseert op ervaringen in de desbetreffende geluidssituatie als geheel.

Een andere veronderstelling die het meest plausibel lijkt, houdt in dat voor de beoordeling van hinder van een afzonderlijke bron en van een totale situatie een verschillend criterium wordt gebruikt. Als mensen bij de vraag naar totale hinder eenzelfde criterium voor hinderlijkheid zouden hanteren als bij de geluidhinder-vraag voor afzonderlijke bronnen, zou het percentage in groep III 0% zijn en in groep I zeer waarschijnlijk groter dan 18%.

1. INLEIDING

1.1. Vraagstellingen voor het onderzoek

De Wet geluidhinder biedt de mogelijkheid om een zoneringsstelsel in te voeren voor de omgeving van tramwegen (artikel 106). Om te kunnen beoordelen of de invoering van een zoneringsstelsel voor trams zinvol is en om eventueel een dergelijk stelsel te kunnen ontwerpen heeft het Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO ¹⁾ opdracht gegeven tot het uitvoeren van onderzoek naar de hinder van tramverkeersgeluid in de woonomgeving. De eerste vraagstelling voor het onderzoek kan als volgt worden geformuleerd: welke relaties bestaan er tussen kenmerken van tramgeluid en hinder van dit geluid in de woonomgeving?

Het feit dat trams in veel gevallen temidden van het wegverkeer rijden heeft een tweede vraagstelling met zich meegebracht: wat is de totale geluidhinder bij het blootstaan aan tram- en wegverkeersgeluid in de woonomgeving? Deze vraagstelling is interessant omdat de Wet Geluidhinder door middel van artikel 157 de mogelijkheid biedt om voor situaties met meer geluidbronnen regelingen te treffen die de regels voor de afzonderlijke bronnen aanvullen.

Omdat de in de eerste vraagstelling genoemde relaties mogelijk worden beïnvloed door het wegverkeersgeluid was het gewenst om met betrekking tot dit geluid metingen te verrichten. Dergelijke geluidmetingen waren eveneens gewenst in verband met de tweede vraagstelling. Het beschikken over geluidgegevens voor het wegverkeer betekende dat een derde vraagstelling zonder veel extra

¹⁾ De met het onderzoek in kwestie belaste medewerkers maken sinds 1 januari 1985 deel uit van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO.

inspanning te beantwoorden zou zijn. Deze vraagstelling luidt: welke relaties bestaan er tussen kenmerken van wegverkeersgeluid en hinder van dit geluid in de woonomgeving? Omdat op het moment van aanvang van het onderzoek alleen trams reden in Amsterdam, Den Haag en Rotterdam is deze vraagstelling alleen onderzocht voor stadswegverkeer. Inzicht in deze relaties is interessant in verband met het in de Wet Geluidhinder gemaakte onderscheid tussen stedelijke en buitenstedelijke situaties. Een vergelijking van gegevens uit het onderhavige onderzoek met gegevens uit studies naar hinder van wegverkeer in buitenstedelijke gebieden kan de basis vormen voor een beoordeling van dit onderscheid.

1.2. Vooraf beschikbare informatie over de eerste vraagstelling

Uit een onderzoek naar geluidhinder in Nederland blijkt dat 3,8% van de bevolking van 16 jaar of ouder in de woning of directe omgeving daarvan soms of vaak geluid van trams hoort (De Jong, 1981; Schema 9). Dit percentage is zeer hoog als in aanmerking wordt genomen dat ten tijde van het onderzoek (1977) in de drie steden waar de trams reden te zamen 14 à 15% van Nederlands bevolking van 16 jaar en ouder woonde. Dit betekent dat in die drie steden ongeveer 1 op de 4 personen uit de betrokken categorie soms of vaak trams hoort. Men kan op basis hiervan vermoeden dat vrijwel iedereen die aan of in de buurt van een tramlijn woont de trams soms of vaak hoort. Uit het onderzoek blijkt verder dat 21% van de mensen die het geluid van trams soms of vaak horen dit geluid hinderlijk of erg hinderlijk vinden (De Jong, 1981: Tabel 57).

Door Schreurs (1977, 1980) is onderzoek verricht naar hinder van verkeersgeluid in Amsterdam. Van zijn steekproef van mensen van 18 jaar of ouder noemde 27% tramgeluid naar aanleiding van een open vraag naar geluiden van buiten die in de woning werden gehoord (Schreurs, 1977: Figuur 2). Dit percentage is zeer hoog als

in aanmerking wordt genomen dat slechts op 19% van de lokaties waar interviews werden gehouden trams passeerden (Schreurs, 1977: 4). Ook als wordt verondersteld dat het aantal interviews op deze 19% van de lokaties bijvoorbeeld tweemaal zo groot was dan elders, blijft het percentage mensen dat trams hoort bijzonder hoog. Dit betekent dan namelijk dat 85% van de mensen die aan een tramlijn wonen bij de open vraag naar het horen van geluiden trams noemen. Van de mensen die tramgeluid in de woning horen ondervindt 41% hinder van dit geluid (Schreurs, 1977; Figuur 2). Verder wordt vermeld dat het ondervinden van hinder van tramgeluid een hoge correlatie heeft met het aantal trams dat gemiddeld per uur passeert (Schreurs, 1977: 12, zie ook Tabel 7-10). Aan dit resultaat kan echter weinig waarde worden gehecht aangezien de hoge correlatie voor een belangrijk deel te wijten is aan het feit dat mensen die niet in de buurt van een tramlijn wonen in hun woning geen hinder van trams ondervinden.

In Göteborg, Zweden, is door Rylander e.a. (1977) onderzoek gedaan naar de hinder van tramgeluid. In dit onderzoek werd geen relatie gevonden tussen het percentage ondervraagden dat erg werd gehinderd door tramgeluid en het L_{Aeq} voor tramgeluid bepaald in de middag voor een periode van een uur (Rylander e.a.: Figuur 2). Ook bleek het percentage erg gehinderden niet eenduidig gerelateerd te zijn aan het aantal trampassages per etmaal (Rylander e.a.: Figuur 4). Evenmin bleek er een relatie te bestaan tussen het gemiddelde van de maximale dB(A)-waarden voor trampassages en het percentage erg gehinderden (Rylander e.a.: Tabel 1 en Tabel 2). Tenslotte kan worden vermeld dat op de lokatie waar het tramgeluid de meeste hinder veroorzaakte het frequentie-tijdspectrum voor de trampassages afweek van dit spectrum voor andere lokaties. Afwijkend waren in het bijzonder de sterke, snelle fluctuaties tijdens een passage van de niveaus in de octaafbanden rond 4 en 8 kHz.

In het onderzoek van Schümer e.a. (1983) naar de hinderlijkheid van railverkeersgeluid in vergelijking met de hinderlijkheid van wegverkeersgeluid waren twee lokaties opgenomen waar bewoners

blootstonden aan geluid van trams (één in Hamburg en één in Gräfelfing). De laatstgenoemde lokatie kan gekenmerkt worden als buitenstedelijk. Uit het onderzoek blijkt geen duidelijk verschil tussen de niet-specifieke hinder (variabele BEL) of specifieke hinder (variabele RT) van trein- en tramgeluid (Schümer, e.a.: Band II, A 8.2.2.1-1b en A 8.2.2.1-10b).

De twee besproken Nederlandse studies suggereren dat de hinder van tramgeluid onder mensen die aan tramlijnen wonen aanzienlijk is. Als wordt aangenomen dat degenen die in het onderzoek van De Jong (1981) zeggen soms of vaak tramgeluid te horen de mensen uit de steekproef zijn die binnen hoorafstand van een tramlijn wonen, dan kan worden gesteld dat 21% van de mensen die zo wonen (erge) hinder van tramgeluid ondervindt. Hierbij kan worden opgemerkt dat de geluidbelasting door trams voor deze mensen (sterk) uiteen zal lopen. Afgaande op het onderzoek van Schreurs (1977), dat is verricht op lokaties met hoge verkeersgeluidniveaus (voor 83% van de meetpunten werd een $L_{Aeq} \geq 60$ dB(A) geconstateerd), zou het percentage gehinderden van degenen die aan een tramlijn wonen op een hogere waarde dan 21% worden geschat.

Het bovenstaande doet vermoeden dat de hinder ook in situaties die tamelijk rustig zijn wat betreft tramgeluid aanzienlijk is. Het vermoeden dat tramgeluid een hinderlijk type geluid is wordt niet bevestigd door de Duitse studie waar, bij een L_{Aeq} (6-22 uur) van ongeveer 60 dB(A) voor het tramgeluid, de hinder van tramgeluid niet hoger is dan van treingeluid met eenzelfde niveau. De Zweedse studie levert voor drie van de vier lokaties met een L_{Aeq} voor trams rond 60 dB(A) eenzelfde beeld op: het percentage erg gehinderden is daar $\leq 5\%$. Voor de vierde lokatie is het percentage erg gehinderden 14%.

Op basis van eerder uitgevoerd onderzoek blijkt dus geen eenduidig beeld te verkrijgen van de mate van hinder door tramgeluid.

1.3. Indeling van het rapport

Na de bespreking van de selectie van de onderzoeklokaties en van respondenten uit de bewoners van een lokatie (hoofdstuk 2) komen de gegevensverzameling (hoofdstuk 3 en 5) en de bewerking van de ruwe gegevens tot data die geschikt zijn voor dosis-effect analyses (hoofdstuk 4 en 6) aan de orde. De dosis-effect analyses voor weg- en tramverkeer worden vervolgens besproken (hoofdstuk 7). Tenslotte is een kort hoofdstuk gewijd aan de hinder van de totale geluidssituatie (hoofdstuk 8).

2. SELECTIE VAN LOKATIES EN VAN RESPONDENTEN

2.1. Selectie van lokaties

Het onderzoek is uitgevoerd op vijf typen lokaties: boog, halte, kruising, rechte vrije baan en remisetraject. Op de vrije baan produceren trams een "ruisend" geluid. In bogen komt het voor dat een "piepend" of "knerpend" geluid wordt geproduceerd. Dit geldt voor bogen die voorkomen in een ononderbroken traject en voor bogen die deel uitmaken van een kruising. Op kruisingen kan daarnaast een "stotend", "bonkend" of "rammelend" geluid voorkomen. Incidentele observaties geven de indruk dat op drukke kruisingen, waar trams elkaar relatief vaak ontmoeten meer wordt gebeld dan in veel andere gevallen. Eveneens op basis van incidentele observaties bestaat de indruk dat ook bij haltes (tijdens het wegrijden) relatief veel wordt gebeld. Bij haltes kan het daarnaast voorkomen dat het remmen gepaard gaat met een bonk. In Rotterdam geeft het nieuwste type tram (ZGT) een "gierend" geluid bij het afremmen en optrekken. Het bijzondere van remiselijnen is dat in de vroege ochtend (tussen 5.00 en 7.00 uur) en/of in de late avond (tussen 23.00 en 1.00 uur) een groot aantal trams in korte tijd passeert.

Voor de lokatietypen boog, halte, kruising en vrije baan is getracht zowel lokaties met weinig als lokaties met veel trampassages te vinden. Dit resulteert in acht soorten lokaties. Bovendien is er naar gestreefd om voor ieder van de acht soorten lokaties situaties met verschillende geluidniveaus voor het wegverkeer te vinden.

In Tabel 1 zijn de lokaties vermeld waar het onderzoek is uitgevoerd. In Bijlage 1 is een algemene beschrijving opgenomen voor de lokaties waar geluidmetingen zijn verricht.

Tabel 1 Overzicht van de in het onderzoek betrokken lokaties.

lokatie-nummer	Straat	Stad	Type lokatie	Passerende lijnen
1	Rotterdamse dijk Broersvest	Schiedam	boog	1, 8
2	Vlietlaan	Rotterdam	boog	7, 9
3	Gaesbeekstraat Spijkenissestraat Groepstraat Hekelingenstraat	Rotterdam	boog	12
4	Melis Stokezijde	Den Haag	boog	8, 9
5	Leyweg	Den Haag	boog	6
6	Meppelweg	Den Haag	boog	6
7	Herculesstraat Turnerstraat	Amsterdam	boog	24
8	1e Middellandstraat	Rotterdam	halte	1, 7, 9
9	Oudedijk	Rotterdam	halte	7, 9
10	Crooswijksestraat	Rotterdam	halte	9
11	Oldenhage	Rotterdam	halte	2, 12
12	Claes de Vrieselaan Schietbaanlaan	Rotterdam	halte	9
13	Jurriaan Kokstraat	Scheveningen	halte	7, 8
14	Geestbrugweg Koninginnelaan	Rijswijk	halte	10
15	Gouverneurlaan	Den Haag	halte	16
16	Oudemanstraat	Den Haag	halte	16
17	Duivelandsestraat	Den Haag	halte	12
18	Schieweg Bergselaan	Rotterdam	krusing	3, 5
19	Laan van Meerdervoort Goudenregenstraat	Den Haag	krusing	3, 12

Vervolg Tabel 1

lokatie- nummer	Straat	Stad	Type lokatie	Passerende lijnen
20	Rijswijkseplein	Den Haag	kruising	1,8,9, 10,12,16
21	J. van Stolberglaan	Den Haag	kruising	3, 6
22	Statenlaan Frederik Hendriklaan	Den Haag	kruising	10
23	Stuyvesantplein Pahudstraat Loudonstraat	Den Haag	kruising	6
24	Jan Evertsenstraat Witte de Withstraat Admiraal de Ruyterweg	Amsterdam	kruising	7,12,13, 14
25	Schiekade	Rotterdam	vrije baan	3,5,9
26	Schieweg	Rotterdam	vrije baan	5
27	Boergoensevliet	Rotterdam	vrije baan	2
28	Melis Stokelaan	Den Haag	vrije baan	8,9
29	Gevers Deynootweg	Scheveningen	vrije baan	7,8,9
30	Escamplaan	Den Haag	vrije baan	6
31	Laakkade	Den Haag	vrije baan	16
32	Overtoom	Amsterdam	vrije baan	1, 6
33	Hoofdweg	Amsterdam	vrije baan	
34	Harstenhoekstraat Harstenhoekplein	Scheveningen	remise	1,7,8,9, 10,11
35	Lekstraat Kromme Mijdrechtstr.	Amsterdam	remise	3,4,7,9, 12,14,25

Bij de selectie van de lokaties is eerst een inventarisatie gemaakt van de in Rotterdam en Den Haag voorkomende bogen, haltes, kruisingen, rechte vrije banen en remise trajecten. Deze inventarisatie is gemaakt aan de hand van de lijnennetkaarten voor de beide steden. Aan de hand van deze kaarten is eveneens voor lokaties het aantal trampassages gekarakteriseerd als "hoog" of "laag". Passeerde op een lokaties slechts één tramlijn dan was "laag" de classificatie. Bij meer dan één lijn was "hoog" de classificatie. Een uitzondering hierop vormden lokaties in Rotterdam waar zowel lijn 2 als lijn 12 passeerden. Aangezien lijn 12 alleen in de spitsuren reed werden het aantal passages ook hier als "laag" geclassificeerd.

Aan de hand van bezoeken aan de lokaties uit de inventarisatie zijn de in het onderzoek te betrekken lokaties geselecteerd. De hierbij gehanteerde criteria zijn:

- a. Een voldoende aantal potentiële respondenten per lokatie.
- b. Geen overheersende bronnen van lawaai naast tram- en wegverkeer.
- c. Een zo zuiver mogelijk geval van het gezochte type situatie.
- d. Geen geplande reconstructiewerkzaamheden aan de weg of de trambaan.
- e. Per type lokatie (uitgezonderd remisetrajecten) een gelijk aantal respondenten bij een hoog aantal passages en bij een laag aantal passages.
- f. Per soort lokatie zowel lokaties met een laag als lokaties met een hoog niveau van het wegverkeersgeluid.

Toelichting:

Bij a. Een belangrijke reden om de respondenten enigszins geconcentreerd te willen hebben op een beperkt aantal lokaties was dat met de toeneming van het aantal lokaties de geluidmetingen en de uitwerking daarvan meer werk zouden vereisen. Er is gestreefd naar een minimum van 15 respon-

dentent per lokatie. Rekening houdend met een non-response van 32% betekende dit dat op een lokatie minimaal 22 potentiële respondenten aanwezig moesten zijn.

- Bij b. Er zijn bijvoorbeeld lokaties afgevallen vanwege geluid van vliegverkeer, van een terrein voor laden en lossen, van een bouwplaats, van een fabriekje enzovoorts. Geluid van horecabedrijven heeft ertoe geleid dat op wel geselecteerde lokaties potentiële respondenten niet in aanmerking kwamen voor het onderzoek.
- Bij c. Rechte vrije-baanstukken in de buurt van een boog, halte (of stoplichten), wissel of kruising kwamen voor het onderzoek in principe niet in aanmerking. In het algemeen gesteld werd gezocht naar geïsoleerd voorkomende situaties van één bepaald type. Hierbij dient te worden opgemerkt dat alle geselecteerde kruisingen boogstukken bevatten en dat aan de meeste kruisingen haltes lagen. Verder komt het ook voor dat op als boog geclassificeerde situaties een kruising van rails, een wissel of een halte lag. Zodoende is in het bijzonder een onderscheid tussen bogen en kruisingen niet strikt te maken.
- Bij d. Indien het te voorzien was dat tijdens de uitvoering van het onderzoek op een lokatie werkzaamheden zouden worden verricht, kwam een lokatie niet in aanmerking voor het onderzoek. De informatie die hieromtrent beschikbaar was bij het selecteren van de lokaties was niet volledig. Aangezien verdere informatie niet eenvoudig te verkrijgen was zijn, mede met het oog op de tijdplanning van het onderzoek, een aantal lokaties geselecteerd zonder dat met betrekking tot het onderhavige criterium relevante informatie voorhanden was.
- Bij e. Wanneer het aantal passages op een lokatie hoog dan wel laag werd genoemd is eerder in deze paragraaf aangegeven.
- Bij f. Er is naar gestreefd om per soort lokatie lokaties te vinden met een uiteenlopend geluidniveau van het wegverkeer. De classificaties "hoog"- en "laag geluidniveau"

van het wegverkeer zijn - alleen ten behoeve van de selectie van de lokaties - aan de hand van subjectieve indrukken vastgesteld. In het bijzonder waren geschikte lokaties met een hoog aantal trampassages en een laag wegverkeersgeluidniveau moeilijk te vinden.

Er is naar gestreefd om, rekening houdend met genoemde criteria, aan boog-, kruising- zowel als aan haltesituaties minimaal 120 omwonenden te ondervragen. Voor de rechte vrije-baan situatie was het minimum 320 gesprekken en voor de remisetraject situatie was dit 60 gesprekken. Om dit streven te verwezenlijken zijn ook in Amsterdam een aantal lokaties geselecteerd. Een overzicht van de aantallen gevoerde gesprekken is in Tabel 2 gegeven.

Tabel 2 Per type transituatie het tevoren vastgestelde minimum aantal te voeren gesprekken en de gerealiseerde aantallen.

	Minimum	Gerealiseerd aantal
Boog	120	123
Halte	120	149
Kruising	120	161
Rechte, vrije banen	320	294
Remisetraject	60	71
Totaal	740	798

De geselecteerde lokaties voldeden optimaal aan de gestelde eisen. Dit wil overigens niet zeggen dat iedere lokatie aan alle eisen voldeed.

2.2. Selectie van respondenten

Na de keuze van de onderzoeklokaties zijn nog twee stappen te onderscheiden in het selecteren van de respondenten voor het onderzoek. De eerste stap is het selecteren van de in het onderzoek te betrekken huishoudens, de tweede stap het selecteren van de persoon uit een huishouden die ondervraagd zal worden.

Het aantal huishoudens dat in de directe omgeving van een bepaalde tramsituatie woont is op de meeste lokaties zeer beperkt. Een uitzondering hierop vormen de vrije-baansituaties. De eerder genoemde criteria b en c hebben in de gevallen dat niet alle huishoudens in het onderzoek werden betrokken bepaald welke huishoudens op een lokatie zijn geselecteerd. Aanvullende criteria, die pas tijdens de introductie van het gesprek konden worden gehanteerd, zijn of men Nederlands sprak en of men minimaal 3 maanden op het betreffende adres woonachtig was.

De selectie van een te ondervragen persoon uit een huishouden geschiedde eveneens bij het begin van het gesprek. Dit gebeurde door eerst te inventariseren wat de leeftijd was van de leden van het huishouden. Uit de personen van 18 jaar of ouder werd dan willekeurig een persoon voor het gesprek geselecteerd. Als met deze persoon op dat moment geen gesprek kon worden gevoerd werden de vragen gesteld aan degene die gebleken was bereid te zijn om de introducerende vragen te beantwoorden.

3. GEGEVENSVERZAMELING: DE GELUIDMETINGEN

3.1. lokaties waar metingen zijn verricht

De geluidhinderenquêtes zijn uitgevoerd op 35 lokaties verdeeld over de steden Amsterdam (5), Rotterdam (12) en Den Haag (18). De lokaties waar geluidmetingen zijn verricht, zijn vermeld in Bijlage 1. Op enkele lokaties zijn wegens het geringe aantal respondenten geen geluidmetingen verricht. Dit is het geval voor de lokaties 11, 17 en 19. Op twee andere lokaties zijn geen geluidmetingen verricht omdat de geluidbelasting door trams na de enquête aanzienlijk was gewijzigd voordat metingen verricht konden worden. Dit geldt voor de lokaties 1 en 2.

Ook op enkele lokaties waar wel is gemeten, is gedurende het onderzoek de geluidbelasting door trams gewijzigd. De wijzigingen kunnen zijn veroorzaakt door:

- De invoering van een ander type tram.
- Verbetering (of verslechtering) van het wegdek en/of spoor.
- Verlegging van de trambaan.
- Verandering van de dienstregeling.

De laatstgenoemde wijziging zal geen wezenlijke verandering in de geluidbelasting tot gevolg hebben. In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de wijzigingen die bij de onderzoekers bekend zijn.

3.2. Variabelen die de belasting door trangeluid bepalen

De geluidbelasting aan de gevel door tramverkeer wordt bepaald door een groot aantal variabelen. De volgende variabelen worden in deze paragraaf besproken:

- a. Type tram (3.2.1).
- b. Banen die worden gevolgd (3.2.2.).
- c. Aantal passages per 2-uur periode, per baan en per type tram (3.2.3.).
- d. Afstand van de woning tot het spoor.

- e. Factoren zoals het type railoplegging en de toestand van het spoor, wielen en het wegdek.
- f. Weersinvloeden (3.2.4.).
- g. Wijze van passeren (3.2.5.).

Tabel 3 lokaties waar gedurende de veldwerkperiode (enquête en geluidmetingen) de belasting door tramgeluid is gewijzigd.

lokatie-nummer	Aard van de wijziging plus eventuele consequentie voor het onderzoek
1	Veranderd van keerpunt in doorgaande baan. Invoering tramtype ZGT. Geen geluidmetingen verricht.
2	Wegdek vernieuwd. Op het gehoor aanzienlijk lager geluidniveau tijdens een passage. Geen geluidmetingen verricht.
3,27	Na de enquête is tramtype ZGT ingevoerd en het tijdens de spits ingezette type Allan uit dienst genomen. Voor het dubbelgelede type Werkspoor Duewag, dat tijdens de enquête naast het type Allan dienst deed, zijn geluidmetingen verricht. Voor het type Allan niet.
7	Wegdek vernieuwd. Op het gehoor aanzienlijk lager geluidniveau tijdens een passage. Geluidmetingen zijn na de wijziging verricht. De respondenten van deze lokatie zijn niet betrokken in dosis-effect analyses.
21	Overbodige spooronderbrekingen (in verband met een niet meer bestaande afslag) zijn verwijderd. De metingen zijn in de oude, tijdens de enquêtes bestaande toestand verricht.

Per type tram (a) en per gevolgde baan (b) zijn tijdens passages metingen verricht. Aan de hand hiervan en aan de hand van het aantal passages per 2-uur periode, per baan en type tram (c) zijn indexen bepaald om de geluidbelasting over langere periodes te kunnen karakteriseren.

De geluidmetingen zijn aan de gevel verricht. Per meetpunt is de variabele afstand van de woning tot het spoor (d) constant.

De overige factoren zijn voor een deel eveneens (binnen de periode van het onderzoek betrekkelijk) constant. Dit geldt voor: het type railoplegging en de toestand van het spoor en het wegdek (e)¹⁾. De invloed van het weer (f) is min of meer constant gehouden door alleen bij bepaalde weercondities te meten. Om de variatie in wijze van passeren (g) enigszins uit te kunnen middelen zijn per type tram en per gevolgde baan meerdere metingen verricht.

In de volgende subparagrafen wordt op een aantal van de bovengenoemde variabelen nader ingegaan.

3.2.1. Type tram

In elke stad waar het onderzoek is uitgevoerd (Rotterdam, Den Haag, Amsterdam) wordt met andere merken trams gereden. In sommige gevallen zijn bovendien van een merk verschillende typen in gebruik.

Hieronder volgt een overzicht van merken en typen per stad.

Rotterdam

In Rotterdam wordt met drie merken gereden: Schindler, Werkspoor Duewag en Duewag. Tevens onderverdeeld naar typen worden in Rotterdam ingezet:

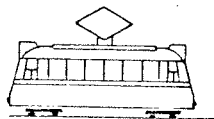
- De ongelede Schindler (Figuur 1a): twee draaistellen, wagennummers 1-15.
- De enkelgelede Schindler (Figuur 1b): drie draaistellen, wagennummers 231-244.
- De enkelgelede Werkspoor Duewag (Figuur 1c): drie draaistellen, serie 600 en 1300.
- De dubbelgelede Werkspoor Duewag (Figuur 1d): vier draaistellen, serie 300 en 1600.

¹⁾ Op ingrepen die een verandering in genoemde factoren tot gevolg hadden is in 3.1. ingegaan.

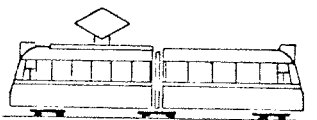
- De enkelgelede Duewag ZGT (Figuur 1e): drie draaistellen, wagennummers 701-733.

De ZGT is het nieuwste type tram, dat in toenemende mate wordt ingezet.

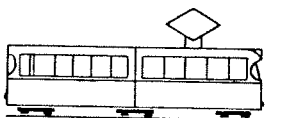
ROTTERDAM



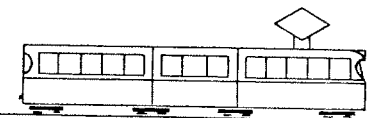
a) Schindler ongeleed



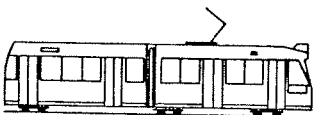
b) Schindler geleed



c) Duewag enkel geleed

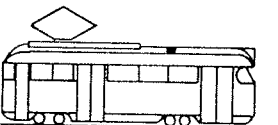


d) Duewag dubbel geleed

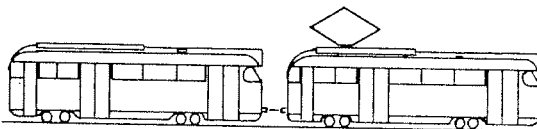


e) ZGT

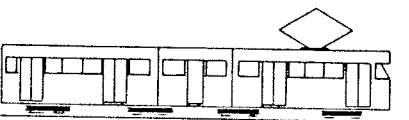
DEN HAAG



f) PCC

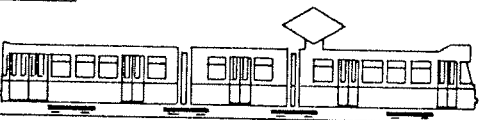


g) OGR



h) GTL

AMSTERDAM



i) type 6G, 8G en 9G

Figuur 1. De ingezette typen trams.

Den Haag

In Den Haag worden drie typen trams ingezet alle van het merk Brugeoise et Nivelles (BN):

- De ongelede PCC (Figuur 1f): twee draaistellen, serie 1100 en 1300.
- De enkelgelede OGR, bestaande uit een PCC met onbemande aanhangwagen (Figuur 1g): vier draaistellen.
- De dubbelgelede GTL8 (Figuur 1h): vier draaistellen, serie 3000.

De GTL8 is het nieuwste type tram dat in toenemende mate wordt ingezet.

Amsterdam

In Amsterdam wordt gereden met drie typen trams: 6G, 8G en 9G. Type 6G is van het merk Beynes en Werkspoor, de typen 8G en 9G zijn van het merk Linke Hoffmann Busch. Het zijn alle dubbelgelede trams met vier draaistellen (zie Figuur 1i). De constructie en het type wielen van de trams verschillen weinig van elkaar. Er is daarom bij de meting en berekening van geluidindexen geen onderscheid gemaakt tussen de in Amsterdam ingezette tramtypen.

3.2.2. Gevolgde baan

Op bijna alle lokaties passeerden trams zowel in de richting "stad in" als in de richting "stad uit". Op kruisingen volgen verschillende tramlijnen in veel gevallen een verschillende route.

3.2.3. Aantal passages

Voor elke lokatie is het aantal trampassages per 2-uur, per type tram en gevolgde baan bepaald. De passages op een bepaalde lokatie zijn te verdelen in drie categorieën:

- Passages volgens de (voor het publiek geldende) dienstregeling.
- Passages bij het in- en uitrukken van trams. Dit kunnen trams zijn van een lijn die langs de desbetreffende lokatie loopt, maar ook trams van andere lijnen.
- Extra ritten. Te noemen zijn bijvoorbeeld:
 - Inzet van extra wagens op een lijn.
 - Overbrengen van materieel tussen remises.
 - Wisselen van wagens in verband met defect of inzet van ander type materieel.
 - Instructieritten.
 - Ritten van een slijpwagen.
 - Ritten van een "tourwagen".

Door de desbetreffende vervoersmaatschappijen zijn gegevens verstrekt over de eerste twee categorieën passages. Aan de hand hiervan zijn de aantallen passages per 2-uur, per type tram en gevolgde baan bepaald. Dit is afzonderlijk gebeurd voor werkdagen, zaterdagen en zondagen. Gegevens over aantallen passages per etmaal zijn per lokatie vermeld in Bijlage 1.

De gebruikte gegevens zijn voor Amsterdam en Den Haag gebaseerd op de zomerdienstregeling, die in beide steden op 30 mei 1983 inging. In Rotterdam duurde de zomerdienstregeling in 1983 slechts 7 weken en is deze pas ingegaan op 11 juli. Daarom is voor Rotterdam gebruik gemaakt van de winterdienstregeling die inging op 20 september 1982. Meer specifiek is de periode waarover de gegevens zijn verzameld 20 t/m 26 juni 1983. Dit is de periode waarin een begin is gemaakt met de enquête.

Omdat over de derde categorie passages geen volledige gegevens te verkrijgen waren zijn deze buiten beschouwing gebleven. Voor lokatie 34 (Remise Scheveningen) is bekend dat deze categorie passages ongeveer 1/4 van het totale aantal vormt. Op andere lokaties dan de twee remisetrajecten is het aandeel van de extra ritten aanzienlijk kleiner.

In Amsterdam wordt (een gedeelte van) de Lekstraat (lokatie 35: Remise Lekstraat) gebruikt voor het rangeren. Omdat hier geen gegevens over vastgelegd worden was het niet mogelijk hier rekening mee te houden.

Tenslotte is te vermelden dat alternatieve dienstregelingen (Amsterdam) en dienstregelingen op koopavond of marktdag buiten beschouwing zijn gelaten.

3.2.4. Weersinvloeden

Natte rails hebben over het algemeen een lager geluidniveau tot gevolg (watersmering). In het bijzonder neemt het "piepen" in bochten af als de rails nat zijn.

Op alle lokaties is alleen bij bepaalde condities gemeten: droge rails (en wegdek) en een windsnelheid lager dan 5 m/s. Deze beperking van condities waaronder is gemeten is ook aangehouden voor wegverkeersgeluidmetingen.

Eén lokatie (23) vormt een uitzondering op het bovenstaande. Daar zijn ook metingen aan trampassages verricht bij natte rails. De metingen onder natte condities zijn echter niet gebruikt om de geluidbelasting van respondenten te karakteriseren.

3.2.5. Wijze van passeren

De manier waarop een tram een lokatie passeert kan van invloed zijn op het geproduceerde geluidniveau. Twee factoren die een rol spelen zijn de snelheid en het produceren van bijzondere geluiden.

Bij een hogere snelheid is de geluidproductie groter. Verder veroorzaakt in Rotterdam het nieuwste tramtype, ZGT, in het bijzonder bij het afremmen, maar ook bij het optrekken een "gierend" geluid. Mede in verband met deze invloeden is er bij haltes een variatie in geluidproductie doordat trams niet altijd stoppen bij een halteplaats.

Als bijzondere geluidbronnen zijn te noemen: bellen of toeteren, compressor, remmen en het omslaan van een wissel. Geluidopnames van passages waarbij werd gebeld of getoeterd zijn niet gebruikt voor verdere analyses.

3.3. Meetmethode

Een inventarisatie van Nederlandse en internationale voorschriften voor geluidmetingen aan trams leverde de volgende publikaties op:

- a. ISO-Recommendation R 1996: "Acoustics - Assessment of noise with respect to community response" (1971).
- b. International Standard ISO 3095-1975; "Acoustics - Measurement of noise emitted by railbound vehicles" (1975).
- c. "Voorschrift voor het meten van de geluidemissies van railvoertuigen", ICG-rapport RL-HR-01-01 (1977).
- d. "Voorlopige meetmethode voor geluidemissie door railverkeer", ICG-rapport RL-HR-02-01 (1976).

De richtlijnen uit b en c komen sterk overeen. Zowel b als c zijn bedoeld voor typekeuring en controlemetingen. Een groot aantal aspecten die hierbij een rol spelen zijn echter ook van belang voor geluidmetingen in het kader van hinderonderzoek. Omdat het in het onderhavige onderzoek om immissiemetingen van railvoertuigen ging is het meest daarop toegesneden Nederlandse voorschrift (d) aangehouden wat betreft de meetmethode. Enkele punten met betrekking tot de gevolgde meetmethode worden in het volgende kort beschreven.

3.3.1. Meetplaats

Geluidmetingen zijn alleen buiten, voor de gevel, uitgevoerd. Een meetplaats is gekozen op minimaal 2 m afstand van de gevel. Dit is gebeurd om de invloed van de geluidreflecties op het gemeten geluidniveau gering te houden. De afstand van de microfoon tot de bodem lag tussen de 1,20 m en 1,50 m.

In verband met de spreiding van de geënquêteerde personen zijn meestal per lokatie meerdere meetplaatsen gekozen. De meetplaatsen zijn zoveel mogelijk zo gekozen dat de gemeten waarden voor een cluster respondenten een representatief beeld geven van de geluidbelasting aan de gevel.

Voor het vergelijken van lokaties met elkaar zou het nuttig zijn om een referentiemeetpunt te hanteren. Voor typekeuring moet de afstand van het referentiepunt tot de baan 7,5 m zijn. Omdat voor de onderhavige lokaties deze eis niet eenduidig is of er niet aan voldaan kon worden is van het gebruik van referentiepunten afgezien.

3.3.2. Signaal/stoor verhouding

De signaal/stoor verhouding moet minimaal 10 dB(A) bedragen. Voor het onderhavige geval betekent dit dat het L_{Amax} van een trampassage minimaal 10 dB(A) hoger moet zijn dan het (A-gewogen) geluidniveau dat andere bronnen op het moment van het bereiken van het maximum veroorzaken. In verband met deze eis zijn voor een groot aantal lokaties metingen op zondag (vroeg in de ochtend) en 's avonds (laat) verricht.

3.3.3. Waarnemingsperiode en aantal bemeten passages

Zoals in 3.3.2. is opgemerkt, is een groot aantal metingen aan trampassages 's avonds of zondags uitgevoerd. Het is mogelijk dat de gegevens uit die meetperiodes niet geheel representatief zijn

voor andere periodes. In het bijzonder is het mogelijk dat de trams in de meetperiodes in verband met het relatief rustige wegverkeer een hogere snelheid hadden dan in andere periodes. En, zoals is opgemerkt in 3.2.5., is de geluidproductie hoger bij een hogere snelheid.

Voor de bepaling van het equivalente geluidniveau worden minimaal tien herhaalde metingen vereist. Voor het onderhavige onderzoek is besloten om per meetplaats, per gevolgde baan, per type tram 7 à 8 bruikbare metingen aan passages te verzamelen. Dit betekende dat per meetplaats, gevolgde baan en type tram een veel groter dan het genoemde aantal passages bemeten moest worden.

3.3.4. Waarschuwingssignalen

Passages waarbij een tram zijn bel of toeter gebruikte zijn niet gebruikt voor verdere analyses.

3.3.5. Weersomstandigheden

In 3.2.4. is reeds vermeld dat alleen is gemeten bij droge rails (en wegdek) en bij een windsnelheid lager dan 5 m/s.

3.3.6. IJking

De apparatuur is vóór en na iedere meetserie geijkt. Aangezien de geluidopnames op magneetband zijn vastgelegd voor latere analyse zijn ijksignalen op de band geregistreerd.

3.3.7. Dynamiek

Van veel apparatuur is het meetbereik tamelijk klein ten opzichte van de variaties in geluidniveau die moesten worden geregis-

treerd. De in het onderzoek gebruikte bandrecorder heeft een bereik van 40 dB. Bij opnames van trampassages is de geluidmeter zo ingesteld dat het maximum niveau een bijna volle uitsturing gaf. In sommige gevallen is op één meetplaats met verschillende instellingen van de geluidmeter gewerkt. Dit is bijvoorbeeld gedaan als het maximum geluidniveau bij passages over verschillende banen sterk verschilde.

3.3.8. Microfoonopstelling

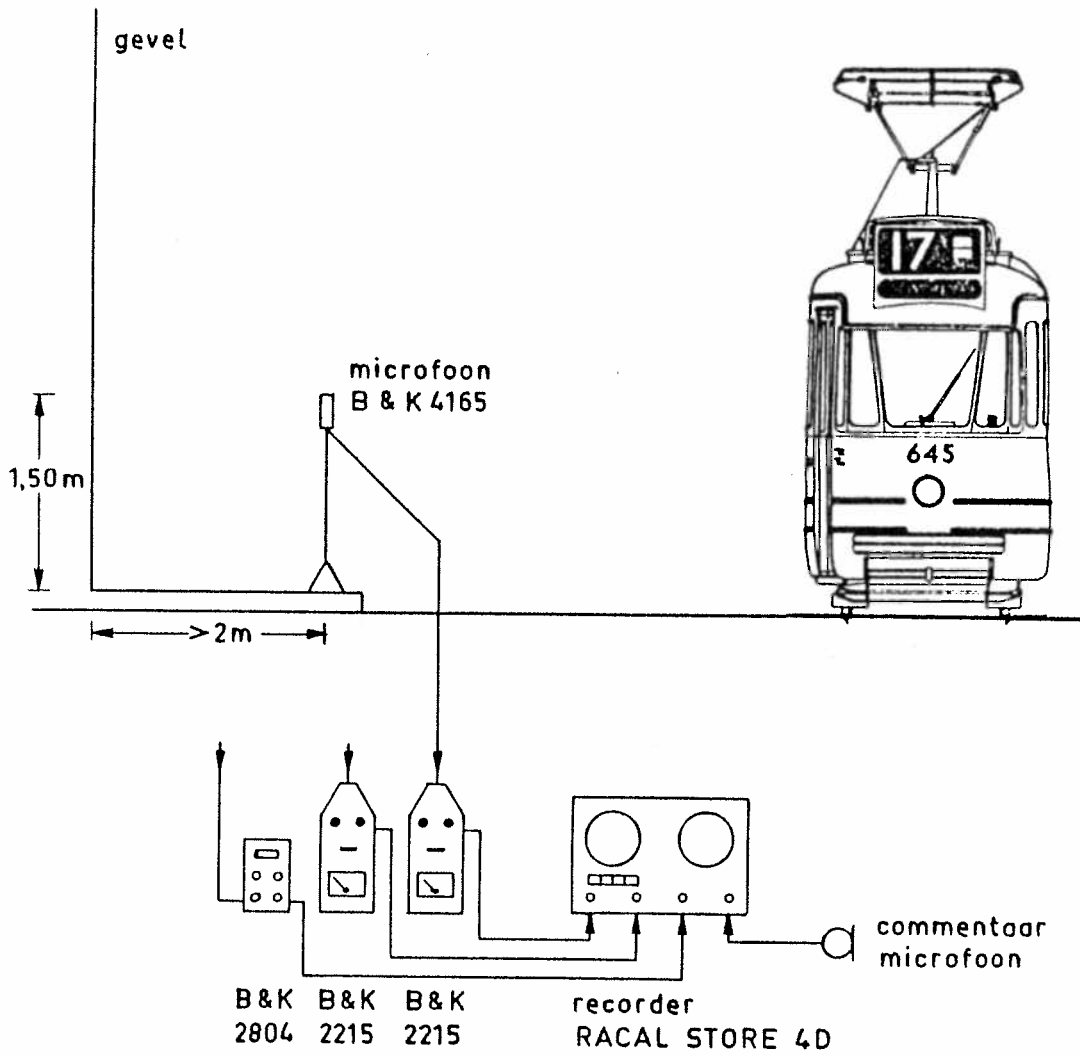
Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van 1/2" microfoon van Brüel & Kjaer, type 4165. Dit is een microfoon van het zogenaamde "random incidence" type. Dit type microfoon dient onder een hoek van 20° met de verticaal te worden geplaatst, hellend in de richting van de plaats waar het meeste geluid van de te onderzoeken bron vandaan komt.

3.4. Apparatuur

De tijdens de opnamen gebruikte apparatuur bestond uit:

- Twee 1/2" microfoons Brüel & Kjaer, type 4165. De frequentie karakteristiek van dit type is recht tot 20 kHz (binnen 0,5 dB).
- Twee precisie geluidniveaumeters Brüel & Kjaer, type 2215.
- Bij gebruik van een derde kanaal is een 2-kanaals microfoonvoeding gebruikt, Brüel & Kjaer, type 2804.
- 4-kanaals bandrecorder, RACAL Store 4D.

De in de opstelling gebruikte meetapparatuur voldoet aan de type 1 eisen gesteld in IEC publikatie 651 (1979). De recorder is gevoed door twee 12 volts accu's. De geluidmeters zijn batterijgevoed. In Figuur 2 is de meetopstelling schematisch weergegeven.



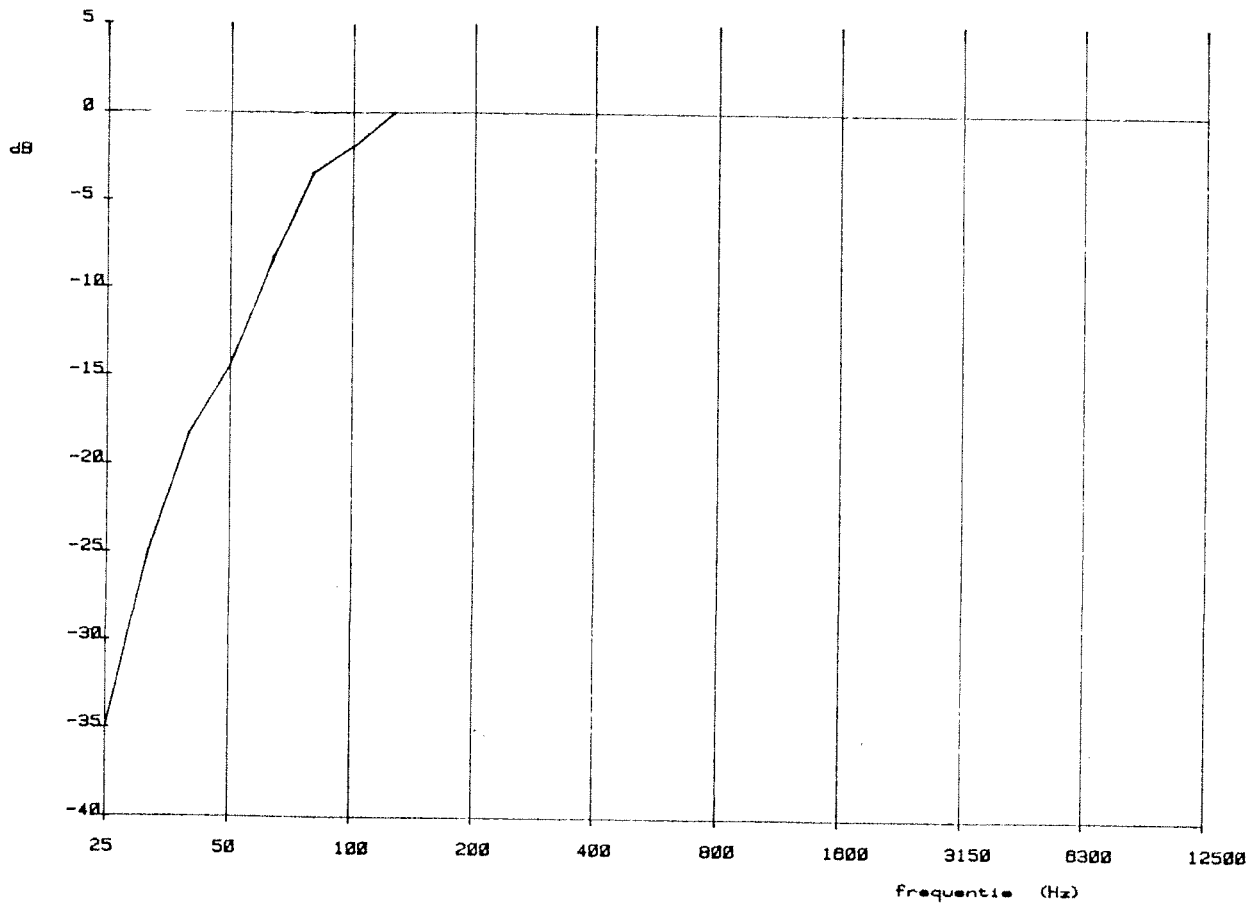
Figuur 2. Schematische weergave van de meetopstelling.

Het microfoonsignaal wordt door de geluidniveaumeter versterkt maar ongefilterd (stand "Lin" en "AC output") doorgegeven aan de recorder. Het signaal is amplitude gemoduleerd (Direct Recording) opgenomen met een bandsnelheid van $7\frac{1}{2}$ inch/s ($\cong 19$ cm/s). Verzwakkerstanden en ingangsgevoeligheid waren afhankelijk van het geluidniveau. Eventuele oversturing van het signaal werd tijdens de opname gecontroleerd door middel van meeluisteren (naband controle) en de meteraanwijzing van de recorder (stand "peak") en meteraanwijzing van de geluidniveaumeter (stand "fast").

De frequentiekaracteristiek voor de meetopstelling wordt bepaald door de recorder. Deze is recht van 100 Hz tot meer dan 20 kHz (microfoon recht $\pm 0,5$ dB in het gebied 20 Hz - 20 kHz en geluidniveaumeter recht ± 3 dB in het gebied 20 Hz - 20 kHz). Bij controle met behulp van een in tertsbanden gefilterde rose ruis bleek dat de tertsbanden met middenfrequenties van meer dan 100 Hz goed worden geregistreerd. Lagere frequenties worden verzwakt opgenomen. De frequentiekaracteristiek is in Figuur 3 weergegeven.

In verband met de frequentiekaracteristiek van de gebruikte recorder zijn analyses van tram- en verkeerslawaai uitgevoerd voor tertsbanden met middenfrequenties van 50 Hz en hoger (oorspronkelijk zou de analyse voor tertsbanden met middenfrequenties van 25 Hz en hoger worden uitgevoerd). Voor de tertsbanden met middenfrequenties van 50, 63, 80 en 100 Hz zijn correcties berekend uit metingen met rose ruis. De correcties zijn voor de tertsband met de middenfrequentie van 50 Hz: 14,7 dB; voor 63 Hz: 8,2 dB; voor 80 Hz: 3,5 dB en voor 100 Hz: 2,0 dB.

Tijdens de opnamen zijn per lokatie en per passage op een apart kanaal alle bijzonderheden ingesproken zoals: datum, lokatie, exacte microfoonplaats, aanvang van de opnamen, weersgesteldheid, verzwakkerstanden van de geluidniveaumeters en ingangsgevoeligheden van de opnamekanalen.



Figuur 3. Frequentiearakteristiek van de bandrecorder.

4. GELUIDDATA

In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de op tape vastgelegde gegevens van de geluidmetingen bewerkt zijn om data te krijgen die kunnen worden gebruikt in de dosis-effect analyses ¹⁾. De bewerking van de verschillende typen gegevens wordt in afzonderlijke paragrafen besproken: In 4.1. komt de bewerking van wegverkeersgeluidgegevens aan de orde en in 4.2. de bewerking van de tramverkeersgeluidgegevens. Daarna wordt in 4.3. besproken hoe de toekenning van geluidindexwaarden aan de respondenten is gebeurd. In 4.4. wordt ingegaan op de bepaling van de gevelisolatie. Tenslotte volgen in 4.5. enkele opmerkingen over de nauwkeurigheid van de geluiddata.

4.1. Wegverkeersgeluid

Steekproefsgewijs zijn op elke lokatie zowel op zaterdag, zondag als werkdagen op verschillende tijdstippen van de dag geluidopnames gemaakt van wegverkeer. Een deel van deze opnames zijn gemaakt tussen de opnames van trampassages. De lokaties zijn ook apart bezocht om wegverkeersgeluidopnames te maken. De opnames zijn op dezelfde wijze gemaakt als die van het tramgeluid.

De duur van de metingen bedroeg maximaal 10 minuten en minimaal 3 minuten. Aan de hand van een aantal metingen is nagegaan hoelang een meetperiode minimaal moet zijn om een goede indicatie te kunnen krijgen van L_{A5} en L_{A25} . Hiervoor zijn opnames gebruikt die op een werkdag tussen 8.30 uur en 11.00 uur zijn gemaakt in Amsterdam. Het gaat hierbij om zowel opnames op lokaties met veel verkeer als opnames op lokaties met weinig verkeer. De resultaten zijn weergegeven in Bijlage 2, Figuur B1-B5.

In de figuren is zowel het momentane niveau als L_{A5} en L_{A25} weer-

¹⁾ Zie voor een toelichting op de aanduidingen van geluidindexen Bijlage 0.

gegeven. De beide laatste indexen zijn bepaald voor wegverkeer, dus exclusief tram passages. Voor een lokatie (33) zijn bovendien L_{A1} en L_{A99} weergegeven. Uit de figuren blijkt dat voor L_{A5} reeds na enkele minuten een tamelijk stabiele waarde is bereikt en dat L_{A25} na vijf minuten niet meer dan ± 1 dB(A) verandert.

Als eerste stap in de analyse van het wegverkeersgeluid zijn voor de op verschillende tijdstippen gemaakte opnames L_{Aeq} en de statistische verdeling van het A-gewogen geluidniveau bepaald. De grootheden die de statische verdeling kenmerken zijn: L_{A5} , L_{A15} , L_{A25} , L_{A50} , L_{A75} , L_{A85} en L_{A95} . Deze indexen geven een vrij volledig beeld van de verdeling. De eerste stap wordt beschreven in 4.1.1.

Omdat niet voor elk type dag (werkdag, zaterdag, zondag) voor elk tijdstip opnames zijn gemaakt is nagegaan of het verloop van geluidindexwaarden over de dag door een model te beschrijven is. Met behulp van een dergelijk model zijn indexwaarden voor periodes waarvoor meetgegevens ontbreken in te vullen. In 4.1.2. wordt het verloop van geluidindexen over de dag besproken.

Als derde stap in de analyse van het wegverkeersgeluid is een standaardspectrum voor dit geluid vastgesteld. Aan een dergelijk spectrum is bij de verwerking van de tramgeluiden behoefte wanneer de invloed van het wegverkeersgeluid op het tramgeluid wordt onderzocht. De bespreking van het standaardspectrum vindt plaats in 4.1.3.

Tenslotte zijn voor de verschillende tijdsperioden van een etmaal (langer dan twee uur) indexwaarden bepaald. Dit wordt in 4.1.4. besproken.

4.1.1. Analyse van de geluidopnames

De geluidopnames zijn geanalyseerd met behulp van een statistische geluidanalysator van Brüel & Kjaer, type 4426. Het signaal werd A-gefilterd met behulp van een automatische filter van Brüel & Kjaer, type 1617. De instellingen van de analysator waren: 10

Hz sampling rate, fast response, instant level. Op deze wijze zijn L_{Aeq} en L_{A5} , L_{A15} , L_{A25} , L_{A50} , L_{A75} , L_{A85} , L_{A95} vastgesteld. Tevens is het aantal samples vastgelegd. Het meetsysteem werd automatisch uitgelezen en de waarden op "tape cartridge" vastgelegd met behulp van een computer HP9825 en een interface Brüel & Kjaer, type 5800.

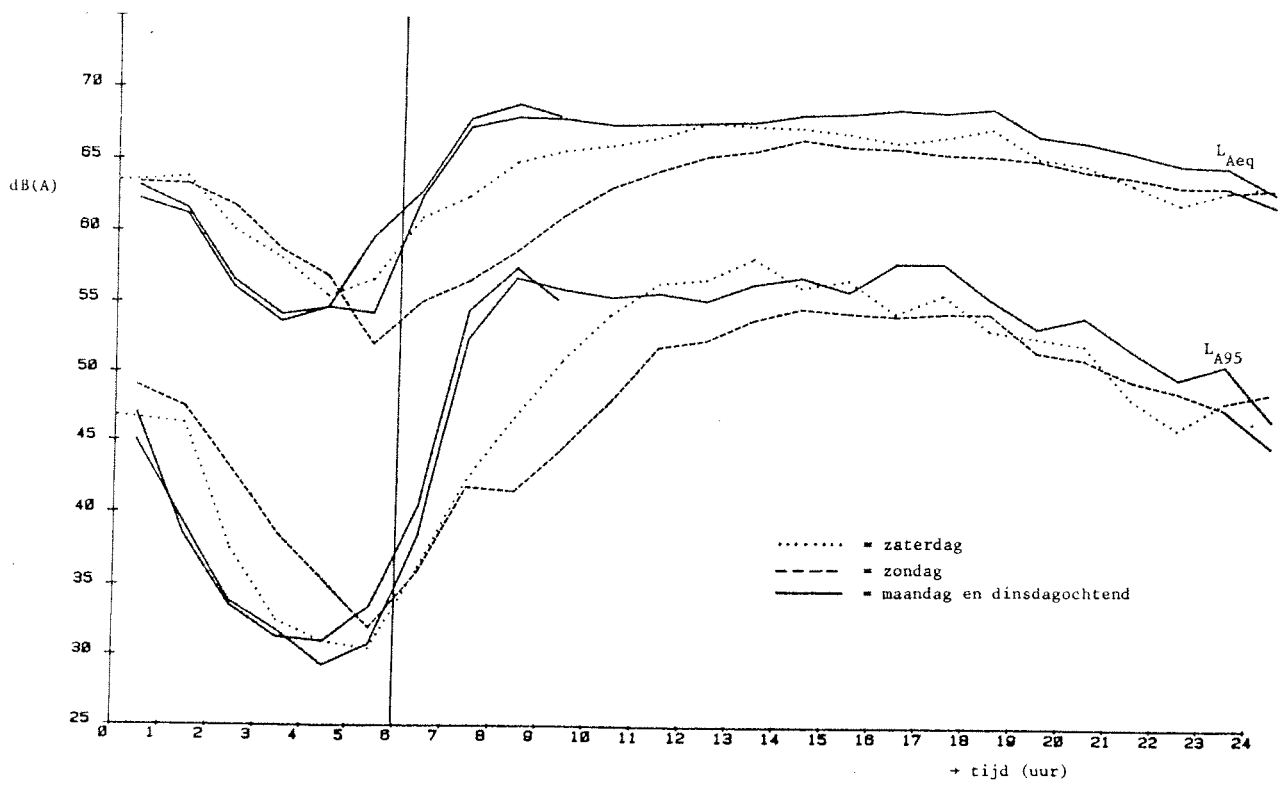
4.1.2. Het verloop van indexen over een etmaal

De in 4.1.1. genoemde indexen kunnen voor verschillende perioden van een etmaal verschillende waarden aannemen. Het is echter praktisch niet mogelijk om voor elk moment van de dag (apart voor werkdagen, zaterdag en zondag) op elke lokatie geluidopnames te maken. Daarom is een vereenvoudigde benadering gevolgd. Deze bestaat eruit dat:

- a. Het etmaal is verdeeld in 2-uur periodes. Het is verondersteld dat de geluidindexwaarden per 2-uur periode constant zijn.
- b. De indexwaarden zijn ingedeeld in klassen van 3 dB(A), met middenniveaus die deelbaar zijn door 3. Dus bijvoorbeeld de klasse met 48 dB(A) als middenniveau loopt van 46,5 tot 49,5 dB(A).

Deze vereenvoudiging is aangebracht om het aantal berekeningen te beperken bij de bepaling van geluidindexen voor tramverkeer waarin de maskering door wegverkeer verwerkt is. Door de indeling in 3 dB(A) klassen is het aantal onderscheiden maskeerniveaus beperkt.

- c. Er is een model opgesteld voor het verloop van de geluidindexwaarden over het etmaal. In de buurt van lokatie 28 zijn gedurende ruim drie dagen (waaronder een maandag, zaterdag en zondag) geluidmetingen verricht. In Bijlage 3 Tabel B1 zijn per 2-uur periode de waarden voor L_{Aeq} en voor de eerder genoemde percentielindexen vermeld. Voor L_{Aeq} en L_{A95} zijn de waarden in Figuur 4 grafisch weergegeven.



Figuur 4. Het verloop van L_{Aeq} en L_{A95} voor het verkeer op de Melis Stokelaan gedurende een zaterdag, zondag, maandag en dinsdagochtend.

Vervolgens is nagegaan in hoeverre de genoemde verkeersla-
 waaigegevens model kunnen staan voor andere lokaties. Dit is
 gebeurd door voor iedere lokatie de modellijnen als in Fi-
 guur 4 verticaal te verschuiven. Er is geschoven tot de bes-
 te overeenstemming werd bereikt met de voor de betreffende
 lokatie vastgestelde indexwaarden. Deze benadering is apart
 uitgevoerd voor de drie typen dagen en voor de verschillende
 geluidindexen. De "beste overeenstemming" is gedefinieerd
 als: het kleinste gemiddelde absolute verschil tussen het
 model en de gegevens. Lokaties waarvoor voor minder dan drie
 2-uur periodes geluidgegevens voor wegverkeer beschikbaar
 waren zijn bij deze analyse buiten beschouwing gelaten. In
 het totaal zijn 1904 indexwaarden vergeleken met een bijbe-
 horende modelwaarde. Hierbij zijn de gegevens van verschil-
 lende dagen en verschillende indexen inbegrepen.

Tabel 4 geeft inzicht in de mate van overeenstemming tussen

Tabel 4 Percentages waarmee de verschillende maten van afwij-
 king ten opzichte van het model voorkomen. In de rech-
 ter kolom zijn de cumulatieve percentages voor de abso-
 lute afwijkingen vermeld.

Afwijking t.o.v. model	Percentage	Cumulatieve percentages voor de absolute afwijking
$\leq - 9$	0,5	
- 6	2,4	
- 3	20,3	
0	52,6	52,6
3	21,5	94,3
6	2,6	99,3
≥ 9	0,2	100
N =		1904

het (relatieve) model en de 1904 indexwaarden. De resultaten hebben ertoe geleid dat het model gebruikt is om waarden voor geluidindexen per 2-uur perioden vast te stellen.

4.1.3. Standaardspectrum

Voor het bepalen van de invloed van wegverkeersgeluid op de waarneming van tramgeluid is het nodig inzicht te hebben in de spectrale samenstelling van wegverkeersgeluid. In dat verband is een standaardspectrum voor wegverkeersgeluid vastgesteld.

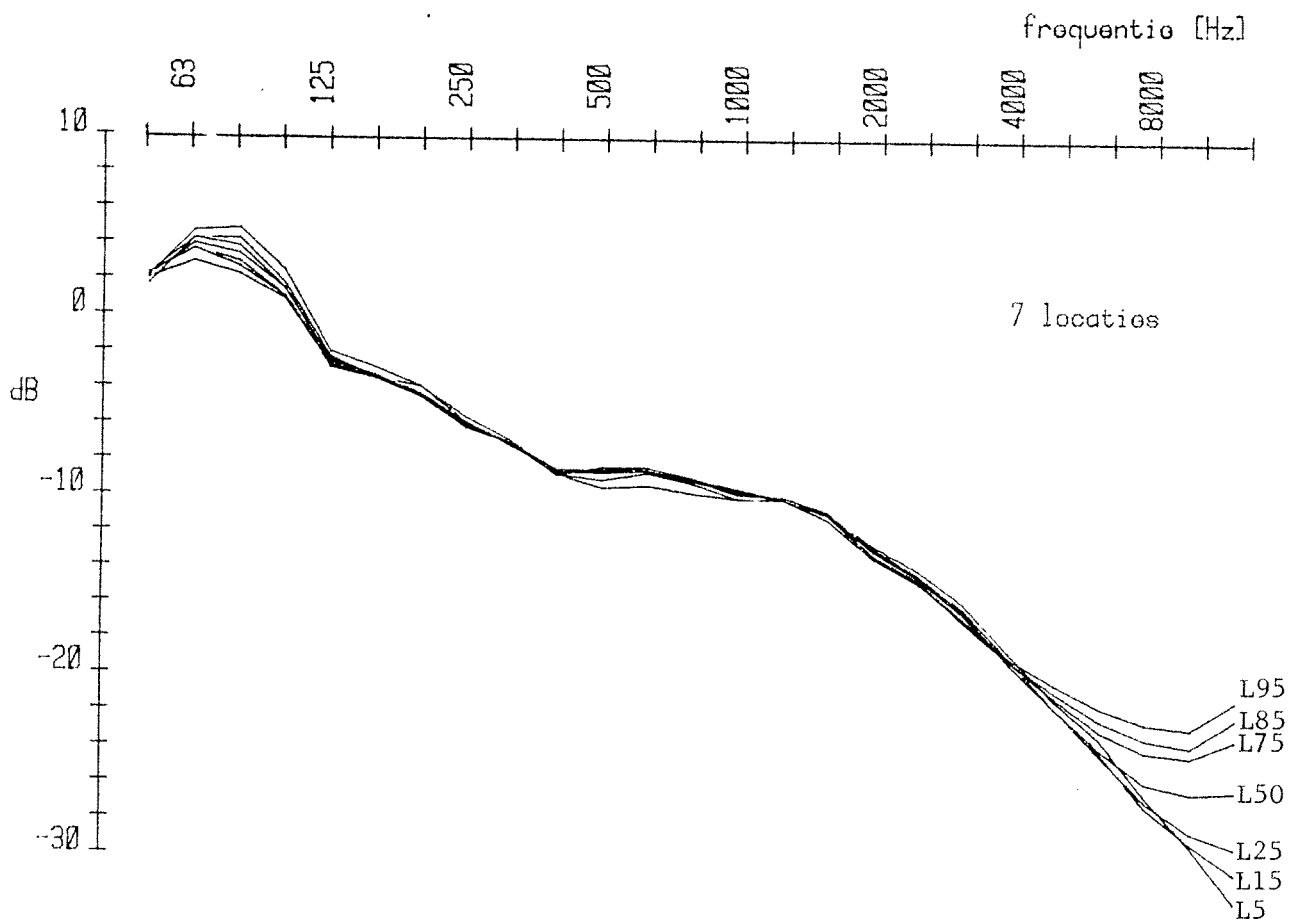
Daartoe zijn van een groot aantal wegverkeerslawaaimeetingen spectrumanalyses gemaakt. Hierbij is gebruik gemaakt van een digitale tertsbandanalysator van Brüel & Kjaer, type 2131, gekoppeld aan een computer van het merk Hewlett & Packard, type 9825. De computer zorgde voor de besturing, opslag en verwerking van de gegevens. Het verkeerslawaaai werd bemonsterd met een minimale periode van 700 ms. Omdat nu voor elk monster door de computer een aantal berekeningen moesten worden verricht en de gegevens moesten worden opgeslagen kon geen kortere bemonsteringsperiode worden gekozen. De "averaging time" bedroeg 125 ms, overeenkomstig de ISO Recommendation R1996 (1971). Per monster zijn voor elke tertsband met middenfrequentie van 50 Hz - 12,5 kHz de (lineaire) geluidniveaus bepaald. Tevens is voor elk monster het A-gewogen totaalniveau vastgesteld. De verzwakkingswaarden voor de A-weging zijn overgenomen uit de IEC-publicatie 651. Voor de (lineaire) niveaus per tertsband en voor de A-gewogen totaalniveaus zijn per opname van enkele minuten de L_5 , L_{15} , L_{25} , L_{50} , L_{75} , L_{85} en L_{95} waarde bepaald.

De boven beschreven procedure is voor zeven willekeurige lokaties (5, 6, 15, 16, 21, 23, 30) uitgevoerd voor de verschillende meetperiodes. Op enkele lokaties zijn opnames op verschillende tijdstippen van één dag gebruikt. Voor de meeste lokaties zijn opnames gebruikt die op verschillende dagen zijn gemaakt. Het gaat daarbij om zowel werkdagen als zaterdag en zondagen.

Voor elke meetperiode is per percentielindex een relatief spectrum bepaald. Dit is gebeurd door per percentielindex het A-gewogen totaalniveau af te trekken van de (lineaire) niveaus per tertsbands. Zo ontstaat een relatief spectrum waarvan de A-gewogen totaalwaarde 0 is. Op deze wijze kunnen spectra met een verschillend totaalniveau vergelijkbaar worden gemaakt.

Als volgende stap in de richting van een standaardspectrum is per lokatie en per percentiel het gemiddelde relatieve spectrum bepaald. Hiertoe zijn per lokatie en per percentiel de relatieve spectra voor de verschillende meetperiodes rekenkundig gemiddeld. In Bijlage 3 Tabel B2-B8 zijn de resultaten van deze middeling weergegeven. Bovendien zijn in die tabel de maximale afwijkingen van het gemiddelde weergegeven. Makkelijker te overzien is Tabel B9 waar alleen de gemiddelden zijn gegeven. Het blijkt dat de afwijkingen van het per lokatie en per percentiel bepaalde gemiddelde relatieve spectrum zeer gering zijn. Tussen de 200 en 5000 Hz is de spreiding het kleinst. Dat de spreiding in dit gebied het kleinst is houdt verband met de toepassing van de A-weging bij het bepalen van de relatieve spectra per meetperiode.

Vervolgens is per percentiel voor de verschillende lokaties te zamen het gemiddelde relatieve spectrum vastgesteld. Deze spectra zijn weergegeven in Bijlage 3 Tabel B10 (tertsbanden) en in Tabel B11 (in octaafbanden) en in Figuur 5. Opvallend is dat de gemiddelde relatieve spectra voor de verschillende percentielen, behalve bij de hoge frequenties, zeer weinig uiteenlopen. De verschillen bij de hoge frequenties worden (grotendeels) veroorzaakt door de dynamiek van de bandrecorder. Voor zachte geluiden (L_{95} tot en met L_{50}) wordt eerder het ruisniveau van de recorder bereikt dan voor hardere signalen (L_{25} tot en met L_5). Voor de eerstgenoemde percentielen wordt het niveau bij de hoge frequentie bepaald door de bandrecorderruis. Verwacht mag worden dat de gemiddelde relatieve spectra van het verkeerslawaai voor die percentielen ook bij de hoge frequenties in feite overeenkomen met die voor de laatstgenoemde percentielen.



Figuur 5. Per percentiel het gemiddelde relatieve tertsbandspectrum voor wegverkeer. In de tekst wordt besproken dat de variatie bij de hoge frequenties grotendeels is terug te voeren op een artefact.

Het gemiddelde relatieve spectrum voor L_{15} is in dit onderzoek gebruikt als standaard wegverkeerslawaaisspectrum en wordt verder ook zo aangeduid.

Door het IMG-TNO zijn eerder de diverse spectra voor wegverkeerslawaaai met elkaar vergeleken (Van Doorn; 1978). Voor ieder van toen bekeken spectra is hier het relatieve spectrum bepaald. Een overzicht wordt gegeven in Figuur B6. Voor de verschillende spectra is uitgegaan van verschillende indexen: L_{eq} , L_1 , L_{10} , L_{50} . Ook zijn de metingen op grond waarvan de spectra zijn bepaald op verschillende afstand tot de weg uitgevoerd. Opvallend is dat in de laagste octaafband (63 Hz) het standaard wegverkeerslawaaisspectrum hoger ligt dan de spectra uit de literatuur. Mogelijke oorzaken hiervan zijn dat het standaardspectrum is bepaald voor stadsverkeer dat op asfalt reed. Het vele optrekken en het type wegdek kunnen de sterke laag-frequente component verklaren. Voor de overige frequenties is de overeenkomst met de gegevens uit eerdere onderzoeken goed.

4.1.4. Indexen voor diverse etmaalperiodes

Voor het wegverkeersgeluid zijn bepaald:

$W:L_{Aeq}$ (periode, type dag) en $W:L_{etm}$ (type dag). Als type dagen zijn hierbij genomen: werkdag, zaterdag, zondag. Als periodes zijn genomen:

- Dag (7.00 - 19.00 uur)
- Avond (19.00 - 23.00 uur)
- Nacht (23.00 - 7.00 uur)
- Etmaal

De L_{Aeq} -waarden voor deze periodes zijn bepaald aan de hand van de L_{Aeq} -waarden voor 2-uur periodes. Een L_{Aeq} -waarde voor een 2-uur periode is berekend door uit te gaan van de percentielwaarden voor die periode, die met het model voor het verloop van die in-

dexen zijn vastgesteld (zie 4.1.2.). De hierbij gebruikte formule is:

$$L_{Aeq} = 10 \lg 0,5 \left[0,1 \cdot (10^{LA5/10} + 10^{LA15/10}) + 0,1 \cdot (10^{LA15/10} + 10^{LA25/10}) + 0,25 \cdot (10^{LA25/10} + 10^{LA50/10}) + 0,25 \cdot (10^{LA50/10} + 10^{LA75/10}) + 0,1 \cdot (10^{LA75/10} + 10^{LA85/10}) + 0,1 \cdot (10^{LA85/10} + 10^{LA95/10}) + 0,05 \cdot (10^{0,5 \cdot (LA5/10 - LA15/10)} + LA5/10 + 10^{LA5/10}) \right]$$

Uit de L_{Aeq} -waarden voor de 2-uur periodes zijn de L_{Aeq} -waarden voor genoemde periodes bepaald. De L_{Aeq} -waarden voor de in deze subparagraaf genoemde periodes alsmede de L_{etm} -waarden zijn gebruikt in de dosis-effect analyses. De waarden voor de verschillende meetplaatsen zijn opgenomen in Bijlage 1. Voor de toekenning van dosiswaarden aan respondenten en de eventueel daarbij benodigde inter- of extrapolatie wordt verwezen naar 4.3.

4.2. Tramverkeersgeluid

Voor iedere meetplaats is per mogelijke baan en per tramtype een aantal passages op de band vastgelegd. Aan de hand van een grafische weergave van het A-gewogen niveau van de opnames is een selectie gemaakt van de trampassages die konden worden gebruikt voor verdere analyses (zie ook figuur B1-B5). Een criterium voor selectie was dat het L_{Amax} voor een passage minimaal 10 dB(A) boven het achtergrondniveau uit moest komen. Onvermijdelijk is dat dit selectiecriterium de kans vergroot dat per type passage de relatief luide passages zijn geselecteerd.

Deze paragraaf bestaat uit twee subparagrafen. In de eerste (4.2.1.) wordt de bepaling besproken van indexen waarmee per

meetpunt het geluid van trampassages wordt gekarakteriseerd. Op deze indexen heeft het aantal passages per meetpunt geen wezenlijke invloed. Dit is anders voor de in de tweede paragraaf besproken indexen. In die tweede paragraaf (4.2.2.) wordt de bepaling van geluidindexen over een etmaal of een deel daarvan besproken. Beide typen geluidindexen zijn in eerste instantie per meetplaats bepaald. Daarna zijn, zo nodig, voor respondenten voor wie er geen representatieve meetplaats was, door in- of extrapolatie indexwaarden vastgesteld. Dit onderdeel van de geluidsdosisbepaling wordt besproken in de volgende paragraaf, 4.3.

4.2.1. Indexen die passages karakteriseren

Voor iedere (geselecteerde) trampassage is het verloop van het (ongewogen) tertsbandspectrum vastgesteld. Hierbij is gebruik gemaakt van een digitale tertsbandanalysator van Brüel & Kjaer, type 2131, gekoppeld aan een computer van het merk Hewlett & Packard, type 9825. De computer zorgde voor de besturing, opslag en verwerking van de gegevens. De trampassages werden in de meeste gevallen bemonsterd met een periode van 125 ms. Het aantal monsters per passage was altijd 45. Om van enkele, langerdurende passages een compleet beeld te krijgen is in een aantal gevallen een bemonsteringsperiode van 250 ms gekozen ¹⁾. De "averaging time" was in alle gevallen 125 ms.

¹⁾ In een beperkt aantal gevallen is een passage in twee delen geanalyseerd. Bijvoorbeeld voor passages in haltesituaties is de aankomst en het vertrek apart geanalyseerd. Deze complicatie heeft over het algemeen alleen enige consequenties voor de manier waarop indexwaarden worden bepaald. Deze niet-wezenlijke consequenties worden verder niet toegelicht. Een bijzonder geval vormen de indexen L_{A10} , en L_{S10} en verwante indexen. Zonder verdere toelichting wordt hier vermeld dat waarden voor deze indexen bij analyse van een passage in twee delen in zeer beperkte mate overschat kunnen zijn.

Voor ieder van de 45 spectra is het A-gewogen totaalniveau berekend. Aan de hand hiervan zijn voor iedere passage het L_{Amax} , L_{A10} , L_{AX} en L_{Aeq} berekend. Als L_{A10} is hierbij het op drie na hoogste A-gewogen niveau genomen.

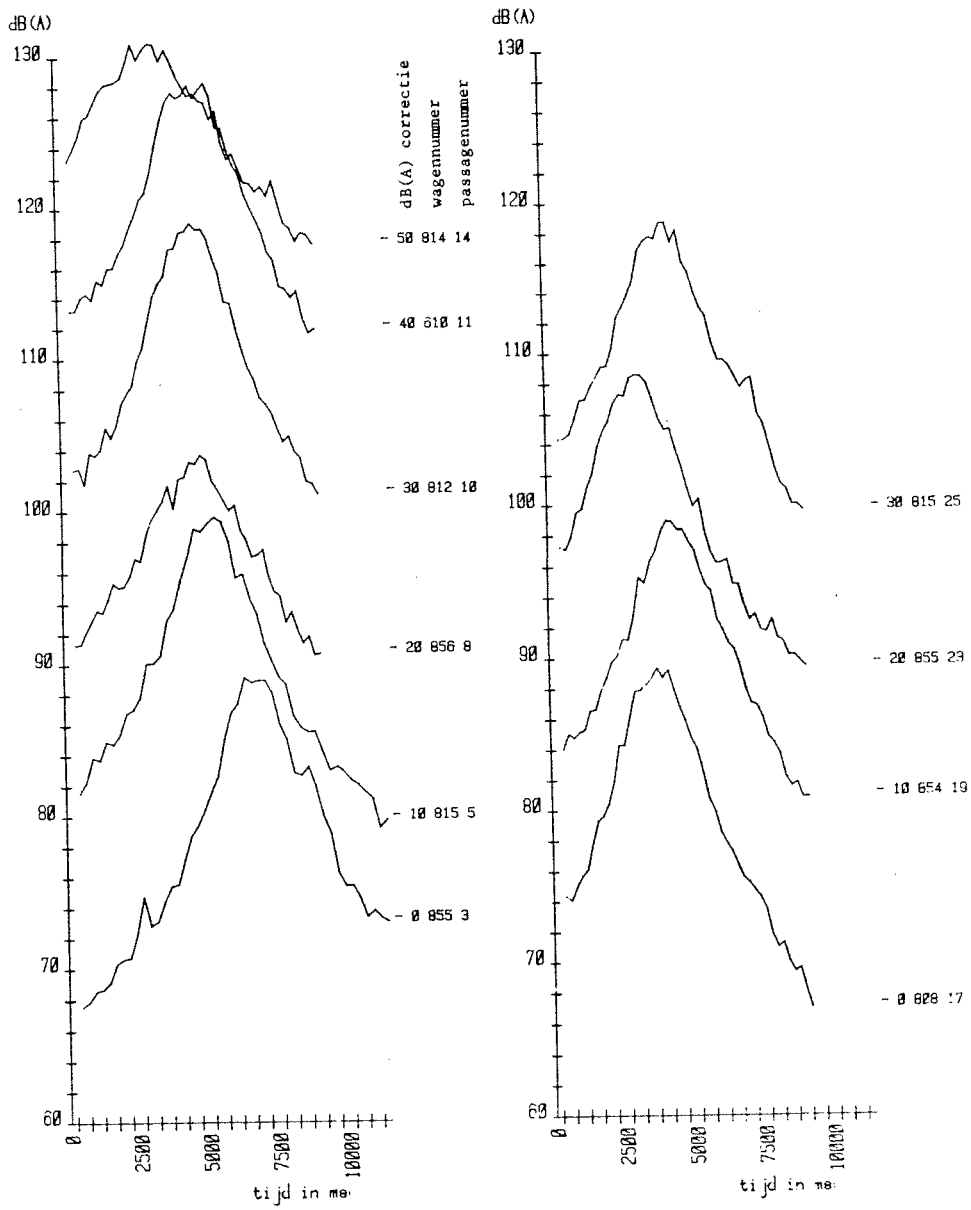
Door voor alle passages het A-gewogen niveau als functie van de tijd uit te zetten is nogmaals gecontroleerd of L_{Amax} minimaal 10 dB(A) boven het achtergrondniveau uitkwam (zie bijvoorbeeld Figuur 6). Eventueel werd een passage alsnog van verdere analyses uitgesloten.

Voor ieder van de 45 spectra zijn eveneens luidheidwaarden in sone bepaald. Er zijn voor elk van de 45 spectra 13 luidheidwaarden bepaald: Een waarde voor de ongemaskeerde luidheid en 12 waarden voor gemaskeerde luidheid. De waarden voor gemaskeerde luidheid werden berekend door 12 maal het standaard verkeerslawaaïespectrum (zie 4.1.3.) als maskeerder in te voeren, telkens met een ander totaalniveau. De gebruikte totaalniveaus lopen vanaf 45 dB(A) in stappen van 3 dB(A) op tot 78 dB(A). Voor de manier van berekening van luidheid in sone voor ongemaskeerd en gemaskeerd geluid wordt verwezen naar Miedema (1985) en Van Meurs en Miedema, (1985). Het laatstgenoemde rapport bevat een beschrijving van een computerprogramma om sone-waarden voor ongemaskeerd of gemaskeerd geluid te berekenen. Met enkele aanpassingen is het programma in het onderhavige onderzoek toegepast.

Per passage is aan de hand van de 45 ongemaskeerde luidheden L_{S10} bepaald: de op drie na de hoogste sone-waarde voor een passage. Tevens is, ten behoeve van de bepaling van indexen over (een deel van) het etmaal, voor elke passage het op drie na hoogste sone-niveau bepaald bij ieder van de 12 maskeerders.

Per type passage zijn de waarden van de indexen L_{Amax} , L_{A10} , L_{AX} , L_{Aeq} en L_{S10} (en voor verdere berekeningen ook de op drie na hoogste sone waarde bij elk van de 12 maskeerderniveaus) bepaald door de waarden voor de betreffende index die waren vastgesteld voor de herhaalde registraties van een type passage rekenkundig te middelen. Per meetpunt is de waarde van de zojuist genoemde

locatie 32.02, stad in



Figuur 6. Voor een aantal tram passages het A-gewogen niveau als functie van de tijd.

indexen vastgesteld door het maximum te nemen van de waarden van de betreffende index voor de verschillende typen passages.

4.2.2. Indexwaarden voor diverse etmaalperiodes

Aan de hand van het L_{AX} per type passage (zie 4.2.1.) en gegevens over aantallen van ieder type passage (3.2.3.) zijn per meetpunt bepaald: L_{Aeq} (periode, type dag) en L_{etm} (type dag). Als typen dagen zijn hierbij genomen: werkdag, zaterdag en zondag. Als periodes zijn genomen: dag, avond, nacht en etmaal (zie 4.1.4.). Verder zijn voor het etmaal L_{S10}/L_{A95} en L_{S10}/L_{A50} bepaald. Deze indexen zijn bepaald door uit te gaan van het type passage met de hoogste L_{S10} waarde, en de 2-uur periode met het laagste L_{A95} respectievelijk L_{A50} -niveau. De twee indexen zijn bepaald door voor de geselecteerde passage bij elk van beide wegverkeersniveaus de op drie na hoogste luidheidswaarde vast te stellen.

De rest van deze subparagraaf is gewijd aan de beschrijving van de methode waarmee het L_{Seq} , L^*_{Seq} , L_{Pheq} en L^*_{Pheq} zijn berekend. In eerste instantie zijn berekeningen voor een bepaalde 2-uur periode uitgevoerd. Het is gerieflijk om voor deze beschrijving een aantal symbolen te gebruiken.

- M : Aantal samples per passage. In dit onderzoek geldt $M = 45$.
- R : Aantal samples per seconde. Deze waarde is in dit onderzoek meestal 8, soms 4.
- E_{ij}/L_{GR} : De excitatie van het i^{de} sample van passage j . Het gaat hierbij om de excitatie die is bepaald aan de hand van de ongemaskeerde luidheid voor sample i van passage j . Zie voor de bepaling van de excitatie aan de hand van een luidheidswaarde (Miedema, 1985).

E_{ij}/L_{A5} : De excitatie van het i^{de} sample van passage j , berekend aan de hand van de gemaskeerde luidheid. Als maskeerder is het standaard wegverkeerslawaaispectrum gebruikt met een A-gewogen totaalniveau gelijk aan de L_{A5} waarde voor het wegverkeersgeluid in de betreffende twee uur periode.

E_{ij}/L_{A15} , enz. : Mutatis mutandis als E_{ij}/L_{A5} .

Als eerste stap wordt de totale excitatie voor een passage j bepaald. Voor het ongemaskeerde geval met de formule ¹⁾:

$$E_j = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^M E_{ij}$$

Voor het gemaskeerde geval wordt de totale excitatie bepaald uit de gewogen bijdragen van de excitatie bij de 7 onderscheiden maskeringsniveaus ¹⁾:

$$E_j^* = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^M \left[\frac{1}{10} (E_{ij}/L_{A5} + E_{ij}/L_{A15} + E_{ij}/L_{A25} + E_{ij}/L_{A75} + E_{ij}/L_{A85} + E_{ij}/L_{A95}) + \frac{2}{5} E_{ij}/L_{A50} \right]$$

Vervolgens wordt de gemiddelde excitatie voor de betreffende twee uur periode vastgesteld:

$$\bar{E}_{2h} = \sum_{j \in P} E_j / 7200$$

¹⁾ In feite zijn de E_j - respectievelijk E_j^* -waarden voor alle herhaalde registraties van passages van hetzelfde type als j bepaald en is bij de verdere berekening het gemiddelde van deze waarden gebruikt.

respectievelijk

$$\bar{E}_{2h}^* = \sum_{j \in P} E_j^* / 7200$$

waarin P de passages uit de betreffende twee uurperiode zijn. Hierbij bevat P vrijwel altijd passages van verschillende typen. Door de 2-uur gemiddelden voor een etmaal te middelen worden \bar{E}_{24h} en \bar{E}_{24h}^* verkregen. Vervolgens wordt het L_{Seq} (type dag) bepaald door de \bar{E}_{24h} -waarde voor het betreffende type dag in te vullen in de specifieke luidheidsfunctie voor 1000 Hz (Zie Miedema, 1984). Voor de bepaling van het L_{Seq}^* (type dag) wordt de betreffende \bar{E}_{24h}^* -waarde in de functie ingevuld. De sone-waarden zijn in phon-waarden omgerekend met behulp van de formule:

$$\text{phon} = 10 \lg (\text{sone}) / \lg (2) + 40.$$

Door de "equivalente sone-niveaus" in deze formule in te vullen worden L_{Pheq} (type dag) en L_{Pheq}^* (type dag) verkregen. De phon-waarde van een geluid is het dB(A)-niveau van een even luid klinkende 1000 Hz-toon.

Bijlage 1 geeft een overzicht van de waarden, voor de verschillende indexen per meetpunt. Naast de indexen voor wegverkeersgeluid zijn de indexen voor geluid van tramverkeer opgenomen. Dit betreft zowel indexen die de passages karakteriseren als indexen die de geluidblootstelling gedurende (een deel van) het etmaal typeren.

4.3. Bepaling van de indexwaarden per respondent

De geluidindexen zijn in eerste instantie per meetpunt vastgesteld. Aan de respondenten waarvoor er een representatief meetpunt was zijn direct de voor het meetpunt vastgestelde waarden toegekend. Voor andere respondenten is een lineaire interpolatie of extrapolatie toegepast. In gevallen dat moest worden geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd is voor in sone uitgedrukte indexen uitgegaan van de corresponderende in phon uitgedrukte index. Voor het laatste type index zijn lineaire interpolaties of extrapolaties uitgevoerd, waarna de sone-waarden voor de verkregen phon-waarden werden vastgesteld.

4.4. Gevelisolatie

Op enkele lokaties zijn steekproefsgewijs gevelisolatiemetingen verricht om na te kunnen gaan of de isolatie van invloed is op de dosis-effect relaties.

In veel gevallen zijn er diverse typen woningen (gevels) op een lokatie die voor een juiste bepaling van de isolatie allemaal gemeten zouden moeten worden. Op gekozen lokaties zijn één tot vijf metingen verricht aan vergelijkbare gevels.

De metingen zijn verricht volgens het Besluit geluidwering gebouwen (1982). De isolatie is berekend met het in dat Besluit opgenomen wegverkeerslawaaïpectrum. Er is gekozen voor wegverkeer omdat dit een geluidbron is waarmee de gevel relatief sterk belast is. In het eerder genoemde Besluit wordt ook een railverkeersspectrum gegeven, waarmee eveneens de isolatie berekend kan worden. Dit spectrum is echter bepaald voor treinverkeer en is mogelijk afwijkend van dat voor tramverkeer.

Overwogen is de isolatie op basis van een al dan niet standaard tramspectrum te berekenen. Echter het geluidsspectrum van een trampassage is, zoals eerder beschreven, van zoveel variabelen afhankelijk dat hiervan is afgezien.

Het spectrum van trampassages op rechte banen in de drie verschillende steden ziet er al verschillend uit (zie ook Tukker e.a., 1980).

Er is bij de metingen gebruik gemaakt van een ruisbron, Brüel & Kjaer type 4224, die op één positie buiten de woning is geplaatst onder een hoek van ongeveer 45° ten opzichte van een normaal op de gevel. De afstand van de bron tot de gevel was ten minste tweemaal de gevelbreedte van de te meten ruimte. Het geluidniveau voor de gevel was minimaal 10 dB hoger dan het achtergrondgeluidniveau (verkeerslawaaï).

Het geluidniveau is binnen zowel als buiten bepaald op één meetpunt, 1 à 1,5 meter van de gevel. Op beide posities zijn de signalen gelijktijdig gedurende enkele minuten op magnetisch band vastgelegd op dezelfde wijze als trampassages en wegverkeerslawaaï. In het vertrek zijn geen nagalmtijdmetingen verricht. Alle vertrekken waren gestoffeerd.

Aan de hand van de bandopnames zijn met een integratietijd van 1 s de tertsbandniveaus bepaald. Per tertsband is de L_{50} -waarde vastgesteld. Deze waarden zijn omgerekend naar octaafbandwaarden. Voor de geluidniveaus buiten voor de gevel gemeten is een correctie van -3dB toegepast.

De isolatie per octaafband (D_i) is berekend voor de octaven met middenfrequenties van 125 tot en met 2000 Hz volgens de formule:

$$D_i = L_{50\text{buiten},i} - L_{50\text{binnen},i} \quad (\text{dB})$$

Het gebruikte verkeerslawaaï spectrum (C_i) bedraagt voor genoemde octaafbanden respectievelijk: -14, -10, -6, -5 en -7 dB.

De geluidwering van de gevel G_A (isolatie voor wegverkeer) wordt nu berekend met behulp van de formule:

$$G_A = -10 \lg \sum_{i=1}^5 10^{-(D_i - C_i)/10} \quad (\text{dB(A)})$$

Voor G_A -waarden die bepaald zijn voor gelijksoortige gevels is het rekenkundig gemiddelde bepaald. Aan gelijksoortige gevels op een lokatie is het bijbehorende rekenkundig gemiddelde toegekend (zie Tabel 5).

Tabel 5 Overzicht van gevelisolatiewaarden.

lokatie	Gevelisolatie voor wegverkeer	Gemiddelde isolatie	Aantal vergelijkbare gevels
3	23,1 22,0	22,5	8
4	25,6	25,6	18
9	23,1 23,6	23,3	7
16	21,3	21,3	7
16	25,0	25,0	2
21	20,4	20,4	10
21	28,2 28,4	28,3	3
26	24,1 27,2	25,6	13
26	26,3 27,5 26,8 24,9	26,4	24
27	27,6 25,0 26,4 24,0	25,7	23
28	22,9 24,4	23,6	23
29	25,1	25,1	9
30	26,3	26,3	10
30	22,5	22,5	9
31	31,1 24,4 24,3 26,0	26,4	31
33	24,7 25,7 26,3	25,6	40
35	24,6 23,6 21,4 31,4 28,8	26,0	26

263

In totaal zijn op 13 lokaties gevelisolatiemetingen verricht bij 37 woningen. Er kon aan 263 gevels een isolatiewaarde worden toegekend.

4.5. Nauwkeurigheid van de geluiddata

Bij de nauwkeurigheid van de geluiddata spelen de volgende factoren een rol:

- Apparatuur. Getracht is de invloed van deze factor zo klein mogelijk te houden. Er is gebruik gemaakt van klasse 1 apparatuur (IEC publikatie 651 (1979)). Dit betekent dat in de gebruikte configuratie het signaal niet meer dan $\pm 1,5$ dB mag afwijken in de tertsbanden met middenfrequenties van 50-80 Hz en 5000 Hz. Boven de 5000 Hz loopt de tolerantie op tot +3 en -6 dB bij 12,5 kHz. Van 100-4000 Hz is de tolerantie ± 1 dB.
Verder zijn de meetinstrumenten tijdens de opnames veelvuldig geijkt. Bijregeling was over het algemeen niet nodig. De bandrecorder is gecalibreerd en bij de analyse zijn correctiewaarden toegepast voor de 4 laagste testbanden (50, 63, 80 en 100 Hz) (zie 3.4.). De analysator (Brüel & Kjaer) type 2131 heeft een tolerantie die beter is dan $\pm 0,4$ dB voor meetwaarden die minder dan 40 dB onder de volle schaalwaarden liggen en beter dan 0,8 dB voor waarden die 40 tot 50 dB onder de volle schaalwaarde liggen.
- Microfoonopstelling. In veel gevallen zijn reflecties en ook afscherming opgetreden van geparkeerde auto's en andere obstakels. Dit is echter de praktijk en dient daarom ook meegenomen te worden in de metingen en berekeningen. Er zijn geen correcties voor reflecties toegepast.
- Spreiding per type passage. Iedere trampassage is verschillend en afhankelijk van een groot aantal factoren. Om de spreiding voor één type passage min of meer uit te middelen

is getracht 7 à 8 passages per type passage in de uiteindelijke analyse te betrekken.

De range voor een type passage voor de per passage bepaalde geluidindexen is niet exact bepaald. De indruk bestaat dat deze range in eenvoudige situaties, zoals rechte banen, vrij gering is: maximaal 5 dB(A) verschil voor de uiterste waarden van L_{Aeq} . Op sommige lokaties is slechts een range van 2 dB(A) geconstateerd. Voor situaties met "bijzondere" oorzaken voor geluidproduktie zoals bochten en spooronderbrekingen bij kruisingen is de range groter: 5 tot 10 dB(A) voor het L_{Aeq} .

- Selectie van passages. Omdat alleen opnamen van trampassages die voldoende boven het achtergrondlawaai uitkomen zijn gebruikt voor verdere analyse, is wellicht in een enkele situatie een ongewilde selectie van luidere passages opgetreden. In de meeste gevallen waar het achtergrondniveau overdag hoog is, is op tijdstippen gemeten waarop dit achtergrondniveau lager is ('s avonds laat en op zondagochtend).

In Tabel 6 is een lijst opgenomen van lokaties waarbij per meetplaats is aangegeven hoeveel trampassages op band zijn opgenomen en hoeveel er uiteindelijk voor de eindanalyse zijn gebruikt. De bruikbaarheid van een opgenomen trampassage hangt af van het verschil tussen het maximum niveau van de passage en het niveau van het verkeerslawaai tijdens de passage. Als de verschillende passages van één type aanzienlijk varieerden in maximum niveau is het mogelijk dat hierdoor juist de wat luidere passages voor verdere analyse zijn geselecteerd.

Tabel 6 Overzicht van de metingen aan trampassages per deel-
lokatie.

Nr.	Deellokatie	Aantal meet- punten per deel- lokatie	Aantal typen passa- ges	Aantal gemeten passa- ges (excl. extra's)	Aantal passa- ges in eind- analyse gebruikt	Veel weg- verkeer: sommige passages niet bruikbaar
3	Gaesbeekstraat	3	2	17	15+14+14	
8	Middellandstraat	2	4	67	22	X
9	Oudedijk	2	2	32	18+19	
10	Crooswijksestraat	1	2	21	17	
12A	Cl. de Vrieselaan	1	2	12	6	
12B	Cl. de Vrieselaan	1	2	29	17	
18A	Schieweg/Bergselaan	2	4	49	27+24	X
18B	Schieweg/Bergselaan	2	4	49	29+30	X
18C	Schieweg/Bergselaan	2	4	50	22+28	X
25	Schiekade	2	4	58	27+36	X
26A	Schieweg	2	2	27	21+16	
26B	Schieweg	2	2	20	10+10	
27A	Boergoense Vliet	1	4	20	14	
27B	Boergoense Vliet	1	4	16	14	
4A	Melis Stokezijde	2	3	30	27+28	
4B	Melis Stokezijde	2	3/6	67	19+34	
5	Leyweg	2	2	30	15+19	
6	Meppelweg	1	2	68	19	X
13	Jurriaan Kokstraat	1	6	57	29	X
14	Geestbrugweg	2	2	51	11+10	
15	Goeverneurlaan	2	2	18	14+10	
16	Oudemanstraat	2	2	30	16	
20	Rijswijkseplein	2	12/6	136	67+41	X
21A	J. v. Stolberglaan	1	4	27	19	X
21B	J. v. Stolberglaan	2	4	42	27+30	X
22	Statenlaan	2	2	36	16+14	X
23A	Stuyvesantplein	2	2	34	15+15	
23B	Stuyvesantplein	1	2	22	17	
28	Melis Stokelaan	2	4	20	10+14	
29	Gevers Deynootweg	1	4	48	36	
30	Escamplaan	2	2	20	10+12	
31	Laakkade	1	1	9	9	
34	Harstenhoekstraat	2	6	34	32+32	
7	Herculesstraat	2	1	22	16	
24A	Adm. de Ruyterweg	2	4	45	33+29	X
24B	Adm. de Ruyterweg	2	6	98	42+33	X
24C	Adm. de Ruyterweg	2	4	86	32+20	X
32	Overtoom	2	2	43	22+21	
33	Hoofdweg	2	2	31	20+22	
35	Lekstraat	2	1	53	13+15	
Totaal		70	122/131	1624	1435	

- Interpolatie en extrapolatie. Voor een aantal respondenten zijn de geluidindexwaarden door interpolatie of extrapolatie vastgesteld. Over het algemeen lagen de indexwaarden voor de meetplaatsen waartussen is geïnterpoleerd niet ver uiteen. Daarom mag worden aangenomen dat de onnauwkeurigheid die door inter- en extrapolatie is geïntroduceerd beperkt is.

5. GEGEVENSVERZAMELING: DE ENQUÊTE

5.1. Opbouw van de vragenlijst

De in de enquête opgenomen vragen zijn vermeld in Bijlage 4. Behalve het verschaffen van informatie voor de selectie van een respondent uit het huishouden zijn voor het opnemen van een vraag in de enquête drie doelen te onderscheiden.

- I. Het verkrijgen van informatie over de samenstelling van de steekproef. Bijvoorbeeld aan de hand van de vraag naar de leeftijd van de ondervraagde persoon kan worden nagegaan of de samenstelling van de steekproef qua leeftijd afwijkend is van de leeftijdverdeling voor de bevolking van Rotterdam, Den Haag en Amsterdam als geheel.
- II. Het verkrijgen van informatie over effecten van geluidblootstelling. Hierbij is onderscheid te maken tussen de waarneming van geluid (of trillingen) (a), niet-specifieke hinder van geluid (of trillingen) (b), en specifieke hinder van geluid (c).
- III. Het verkrijgen van informatie over factoren die effecten van geluidblootstelling kunnen beïnvloeden. De bedoelde factoren kunnen deels verklaren dat verschillende mensen bij een bepaalde geluidblootstelling in verschillende mate hinder ervaren. Een dergelijke factor is bijvoorbeeld de mate waarin men geluidgevoelig is.

De vragenlijst bestaat globaal bezien uit zes delen. Het eerste deel wordt gevormd door de introductie plus vragen die dienen om vast te kunnen stellen wie uit het huishouden geënquêteerd zal worden (vraag 1-8). De enquête wordt geïntroduceerd als betrekking hebbend op de woonomgeving. Bij de introductie wordt niet vermeld dat de nadruk daarbij ligt op omgevingsgeluid. Het tweede deel van de vragenlijst gaat in op de woning en woonomgeving

(9-17). Hierbij wordt reeds een vraag naar hinder van geluid gesteld. Het derde gedeelte heeft alleen op geluid betrekking (18-19). De verschillende geluidbronnen komen aan de orde. Een daarvan is tramverkeer. Vervolgens wordt specifiek op het tramverkeer en in het bijzonder op het geluid daarvan ingegaan (20-48). In verband met een onderzoeksvraagstelling die in dit rapport niet aan de orde is zijn enkele vragen opgenomen over geluid en recreatie (51-54). Verder zijn als zesde onderdeel van de vragenlijst vragen opgenomen om achtergrondinformatie te verzamelen (49-50, 55-69).

5.2. Non-respons en samenstelling van de steekproef

De enquête is voor het grootste deel eind juni/begin juli 1983 uitgevoerd. Omdat na deze eerste enquêteronde het gewenste aantal gesprekken nog niet was gehaald is half september een tweede ronde gehouden. Deze aanvullende ronde leverde 5,6% van het uiteindelijk totale aantal gesprekken op. Aangezien de tweede ronde werd uitgevoerd op lokaties waar reeds bij de eerste ronde gesprekken waren gevoerd bestond er behoefte aan inzicht in de kennis bij de respondenten over de eerdere enquêteronde. Uit de antwoorden op een vraag hiernaar bleek slechts één respondent te weten dat de enquête ook in een eerdere periode was afgenomen. Terwijl de enquêteurs waren voorzien van 1491 adressen waar een gesprek zou kunnen worden gevoerd hebben in totaal 798 gesprekken plaatsgevonden. Dit betekent een response van 54%. Hierbij dient te worden aangetekend dat voor sommige lokaties niet alle mogelijke adressen zijn benaderd omdat het gewenste aantal gesprekken reeds eerder was gerealiseerd. De non-response is dus wat lager dan 46%. Minimaal is de non-response 40%. Het iemand minstens 3x niet thuis treffen was ongeveer even vaak de oorzaak van een non-response als een weigering om aan het onderzoek mee te werken.

Tabel 7 Samenstelling van de steekproef (in percentages) qua sekse en leeftijd. Eveneens gegeven zijn de gecorrigeerde percentages voor de bevolking in de drie grootste steden.

	Steekproef	Gecorrigeerde samenstelling van de bevolking van 18 jaar of ouder in de drie grootste steden (1983)
Vrouw	60,5	52,8
Man	39,5	47,2
18-24	10,3	15,6
25-34	18,9	20,5
35-44	15,3	14,9
45-54	10,2	12,9
55-64	15,4	14,3
65-74	18,4	12,5
≥ 75	11,5	9,3

Een mogelijke verklaring voor de hoge non-response is het bijzonder mooie weer dat tijdens een belangrijk deel van de periode waarin werd geënquêteerd heerste. Dit mooie weer zou met name mensen in de binnensteden ertoe hebben kunnen brengen, het strand of andere oorden waar het op een warme dag aangenaam vertoeven is op te zoeken.

De samenstelling van de steekproef kan worden gekarakteriseerd door de verdeling van de respondenten over de beide seksen en over de leeftijd vast te stellen. Dit is gebeurd in Tabel 7. Hierin zijn tevens de verdelingen voor de bevolking van 18 jaar en ouder voor de drie grootste steden opgenomen. Deze verdelingen

zijn vastgesteld door het gewogen gemiddelde van de percentages voor ieder van de drie steden te nemen. Het gewicht voor een stad is hierbij de proportie respondenten uit de onderhavige steekproef dat in die stad woonde.

Op basis van de gegevens uit Tabel 7 kan worden geconcludeerd dat de steekproef qua leeftijdsamenstelling en sekse het beeld te zien geeft dat bij een "aselecte" ¹⁾ trekking uit de bevolking (≥ 18 jaar) van de drie grootste steden wordt verwacht. Verschillen met de verwachting bij een aselecte trekking zijn een groter percentage vrouwen in de steekproef, en wat meer 65-74 jarigen en minder 18-24 jarigen. Als wordt aangenomen dat de samenstelling van de bevolking die in 1983 aan tramlijnen woonde niet verschilt van de bevolking van de drie grootste steden als geheel dan komt de steekproef qua leeftijdsamenstelling en sekse redelijk overeen met de verwachting bij een "aselecte" trekking uit de bevolking die aan tramlijnen woonde. Aangezien de bevolkingssamenstelling qua leeftijd en sekse van de drie grootste steden niet belangrijk verschilde kan redelijkerwijs in het voorgaande "aselect" worden vervangen door aselect.

Verder is nagegaan of de samenstelling van de steekproef qua sekse, leeftijd of opleidingsniveau voor lokaties met een verschillende geluidbelasting verschillend is. Om de geluidbelasting hierbij te karakteriseren is gebruik gemaakt van het $L_{Aeq}(24h)$ voor tramverkeer. Er bleek geen systematische samenhang tussen deze index en de genoemde persoonskenmerken te bestaan. Bij het vinden van een relatie tussen geluidbelasting ($L_{Aeq}(24h)$) en geluidhinder is het dus niet mogelijk de relatie terug te voeren op een verschil in samenstelling van de steekproef in de verschillende geluidbelastingsklassen.

¹⁾ "Aselect" in plaats van aselect geeft aan dat het gaat om een trekking met de restrictie dat 20,9% van de respondenten uit A'dam komt, 41,3% uit Den Haag en 37,6% uit R'dam.

6. ENQUÊTE-DATA

In dit hoofdstuk worden resultaten gepresenteerd die aan de hand van de vragenlijstgegevens zijn vastgesteld. Een koppeling van reacties van respondenten aan geluiddata wordt besproken in het volgende hoofdstuk. De vragenlijstgegevens zijn vastgelegd in respondentvariabelen, waarop eerst wordt ingegaan.

6.1. Respondentvariabelen

Bij (bijna) elke vraag uit de vragenlijst is een variabele gedefinieerd door de antwoordcategorieën te laten corresponderen met een waarde van een bijbehorende variabele. Voor open vragen zijn eerst, aan de hand van de gegeven antwoorden, antwoordcategorieën geformuleerd. Bij iedere open vraag zijn drie variabelen met dezelfde mogelijke waarden gedefinieerd: voor elk van de eerste drie antwoorden één. Voor de zo gecreëerde variabelen is voor elke respondent een waarde vastgesteld aan de hand van de gegeven antwoorden.

Ook als een vraag naar hinder niet is gesteld aan mensen die eerder gezegd hadden de bron "nooit" of "zelden" waar te nemen, dan is toch de met de hindervraag corresponderende variabele op een zinvolle waarde gesteld. De variabele is dan namelijk op de waarde gesteld die bij "niet hinderlijk" hoort. De zojuist besproken variabelen worden respondentvariabelen genoemd ter onderscheiding van geluidvariabelen of -indexen die aan de hand van geluidmetingen zijn vastgesteld.

Naast de besproken respondentvariabelen zijn samengestelde respondentvariabelen, ook wel indexen genoemd, te definiëren. De in dit onderzoek gebruikte respondentindexen worden hier gedefinieerd.

- Bitter-index. Deze index wordt bepaald aan de hand van de vragen 31, 32, 36, 37, 38, 39 en 40. De antwoordcategorieën

voor deze vragen zijn: "nooit", "zelden", "soms", "vaak". De waarde van de Bitter-index is het aantal vragen dat met "soms" of "vaak" is beantwoord, gedeeld door het aantal vragen dat met één van de vier genoemde alternatieven is beantwoord. Hierbij kan worden opgemerkt dat aan mensen die zelden of nooit t.v. kijken, vraag 31 niet is gesteld. Evenzo is aan mensen waarvoor bij vraag 26 bleek dat ze zelden of nooit naar de radio luisteren vraag 32 niet gesteld. De Bitter-index geeft een indicatie voor het optreden van specifieke geluidhinder en het waarnemen van trillingen. Soms vermenigvuldigt men de Bitter-index met 100 en interpreteert men de waarde als het percentage van de genoemde activiteiten dat wordt verstoord.

- Raam-index. Deze index geeft aan hoe vaak als men in de woon- of slaapkamer is daar een raam openstaat aan de straat waar de tram rijdt. Voor deze index zijn bij vraag 43 en 45 "soms" als 1, "vaak" als 2 en "altijd" als 3 gescoord. Bij vraag 44 en 46 is "neen" als 0 en "ja" of "onder andere" als 1 gescoord. De Raam-index is gedefinieerd door: Raam-index = $V43.V44 + V45.V46$.

6.2. Data met betrekking tot respondentvariabelen

In Bijlage 4 is de frequentieverdeling voor de antwoorden op gestelde vragen gegeven. De vermelde percentages zijn berekend ten opzichte van totale aantallen genoteerde, zinvolle antwoorden. Redenen waarom dit aantal lager kan zijn dan 798, het aantal gevoerde gesprekken, zijn: afhankelijk van het antwoord op een eerdere vraag moest een vraag bij sommige respondenten worden overgeslagen; de respondenten gaven geen antwoord; de respondenten antwoordden "geen mening", "weet ik niet" en dergelijke; de interviewer heeft een coderingsfout gemaakt bij het noteren van het antwoord.

vraag 9,

14,16,17: Als de vragen met betrekking tot de woonomgeving en de woning worden bekeken blijkt dat men over het algemeen tevreden is met zowel de omgeving als de woning zelf. Bij nadere bestudering bleek dat voor twee lokaties het oordeel over de woonomgeving duidelijk ongunstig afstak tegen het oordeel elders: aan de C. de Vrieselaan (Rotterdam) en het Rijswijkseplein (Den Haag) was bijna 50% van de ondervraagden in meer of mindere mate ontevreden.

vraag 10,11: De tevredenheid met de woonomgeving wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door het wonen in of bij het centrum, dichtbij winkels. Opvallend is ook dat een goed openbaar vervoer belangrijk blijkt bij te dragen aan de tevredenheid met de woonomgeving. Het voornaamste onaangename aspect van de woonomgeving blijkt het weg- en tramverkeersgeluid te zijn. Het is opvallend dat door 15% van de respondenten het geluid van de trams als onprettig omgevingsaspect wordt genoemd. Ruim 11% noemt alleen dit aspect of noemt het voor enig ander nadeel van de woonomgeving.

vraag 12,13: Wanneer er gericht naar wordt gevraagd blijkt 40% van de respondenten het omgevingsgeluid als (erg) hinderlijk te kwalificeren. De bron van omgevingsgeluid die het meest wordt genoemd als oorzaak van de hinder is trams. Van de mensen die een bron noemen, noemt 56% de trams. Bijna 43% noemt als eerste (=voornaamste?) trams als bron van hinder. Een opmerkelijk resultaat was dat aan de Laakkade van de 16 (erg) gehinderden niemand trams of verkeer in het algemeen noemde. Vier mensen noemde geen enkele bron, terwijl 11 van de 12 die wel een bron noemden brommers en/of motoren antwoordden. Een verklaring voor dit antwoordpatroon is dat in de nabijheid van de Laakkade een (illegaal) crossterrein in gebruik is geweest.

vraag 18: Uit de vragen naar het horen van de verschillende geluidbronnen blijkt dat 84% van de respondenten soms of vaak trams hoort. Voor kruisingen en remisetrajecten is dit percentage wat hoger dan op de andere typen lokaties, namelijk rond de 92%. Op deze lokaties

wordt het antwoord "vaak" alleen al door ruim 80% van de respondenten gegeven.

Wegverkeer wordt door 78% van de respondenten soms of vaak gehoord. Andere bronnen dan trams of wegverkeer blijken aanzienlijk minder frequent te worden gehoord.

Over de validiteit van de antwoorden met betrekking tot het horen van geluidbronnen is eenvoudig een indicatie te verkrijgen door voor treinen en metro's na te gaan waar ze zelden, soms of vaak worden gehoord. Dit blijkt, op een enkele uitzondering na, op lokaties te zijn in de buurt van een trein- respectievelijk metrolijn.

vraag 19: Van de ondervraagden blijkt 33% (erge) hinder (erge hinder: 19%) van tramgeluid te ondervinden en 36% (erge) hinder (erge hinder: 19%) van wegverkeer¹). Voor andere bronnen is de ondervonden hinder aanzienlijk lager. Slechts voor een beperkt aantal van de 35 lokaties is het percentage (erg) gehinderden door een bepaalde andere bron hoger dan 30%. Deze grens wordt voor hinder van vliegverkeergeluid op 1 lokatie overschreden, voor geluiden in en rond horecabedrijven op 7 lokaties en voor geluiden uit buurwoningen eveneens op 7 lokaties.

vraag 23,24: Zoals te verwachten was blijkt dat bij rechte, vrije banen bijzondere geluiden relatief weinig worden gehoord en weinig hinder veroorzaken. Verder blijkt dat horen en hinder van "piepen" en "knerpen" vooral een kenmerk is van boog- en kruisingsituaties, en ook van de betrokken remisetrajecten. De boog- en kruisingsituaties worden onderling onderscheiden doordat bij kruisingen horen en hinder van "rammelen en bonken" en "bellen of toeteren" hoger scoren. Opvallend is dat volgens deze gegevens langs remisetrajecten het bellen niet minder wordt gehoord dan bij haltes of kruisingen.

¹) Deze percentages zijn niet gelijk aan de percentages die in Bijlage 4 bij vraag 19 b en c zijn vermeld. Dit komt doordat de percentages in die bijlage bepaald zijn ten opzichte van het aantal mensen dat een vraag (zinvol) heeft beantwoord. Zie ook 6.1.

vraag 31-38: Door middel van vraag 31-38 is nagegaan in welke mate de verschillende activiteiten door tramgeluid worden verstoord. De percentages soms of vaak liggen voor de verschillende activiteiten tussen de 25 en 35%. Wanneer de verstoringpercentages per type lokatie worden bekeken blijken deze voor vrije-baansituaties relatief laag te zijn. Dit geldt voor alle activiteiten. Verstoring bij het (in)slapen of rusten komt bij remisetrajecten relatief frequent voor (44% antwoordt soms of vaak tegen 23% op de andere typen lokaties te zamen). Langs remisetrajecten meldt bijna een kwart van de respondenten vaak te worden gestoord bij het (in)slapen of rusten.

vraag 40,41: Bij remisetrajecten wordt ook het meeste melding gemaakt van het trillen van de woning (vaak: 47%). Wat dit aspect betreft komen kruisingen op de tweede plaats (vaak: 17%). Op de overige typen lokaties wordt door 10% of minder het antwoord vaak gekozen. De percentages respondenten die de trillingen (erg) hinderlijk vinden zijn: remisetraject (32%), kruisingen (18%) en overige typen situaties (10% of lager).

vraag 42: Ruim een derde deel van de respondenten zou vaker ramen open zetten als er geen trams langs zouden komen.

De correlaties tussen de verschillende specifieke effecten van (het geluid van) trams bleken over het algemeen vrij hoog te zijn (zie Tabel 8). Uit deze tabel kan worden geconcludeerd dat:

- a) de vragen "muziek luisteren" en "praatprogramma's luisteren" weinig informatie opleveren die niet verkregen wordt met de vraag "radio luisteren" uit de Bitter-index. Hetzelfde geldt voor de vraag "geconcentreerd bezig zijn" in relatie tot de vraag "ingespannen bezig zijn" uit de Bitter-index.
- b) het dichthouden van ramen vanwege tramgeluid geen verband houdt met de overige aspecten met specifieke hinder van tramgeluid.

Tabel 8 Correlaties tussen specifieke hindervariabelen. De formulering van de specifieke hindervragen is opgenomen in Bijlage 4.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. t.v.		0,63	0,76	0,71	0,62	0,65	0,36	0,64	0,34	0,42	0,24
2. radio			0,89	0,52	0,78	0,47	0,33	0,63	0,07	0,61	0,17
3. muziek				0,56	0,72	0,57	0,34	0,62	0,19	0,53	0,20
4. concentratie					0,64	0,36	0,61	0,73	0,34	0,31	0,21
5. praatprogramma's						0,53	0,53	0,62	0,34	0,53	0,23
6. gesprek							0,37	0,46	0,36	0,41	0,26
7. (in)slapen								0,45	0,54	0,34	0,15
8. ingespannen bezig									0,15	0,39	-0,03
9. schrikken										0,28	0,21
10. trillinghinder											0,10
11. open ramen											

vraag 47: Van de mensen die van mening zijn dat het tramgeluid de laatste jaren is veranderd noemt 35% als oorzaak hiervan dat er een nieuw type tram rijdt. Veruit de meeste respondenten die deze oorzaak noemen wonen in Den Haag. Van de Haagse respondenten die deze oorzaak noemen is 88% van mening dat de invoering van het nieuwe type tram tot een afnemning van het tramgeluid heeft geleid.

vraag 49,50: In de woningen van 17% van de respondenten zijn maatregelen genomen om het doordringen van geluid van buiten te verminderen. De maatregelen bestonden in 90% van de gevallen uit het aanbrengen van dubbele ramen. Op 9 van de 35 lokaties antwoordde meer dan 1/3 deel van de respondenten dat geluidisolatiemaatregelen waren genomen.

7. DOSIS-EFFECT RELATIES VOOR TRAM- EN WEGVERKEER

Dit hoofdstuk is verdeeld in vier paragrafen. In de eerste paragraaf (7.1) wordt een selectie gemaakt uit de 63 in Bijlage 1 per meetpunt vermelde geluidindexen. Aan de hand van de onderlinge samenhangen en de relaties met hindervariabelen zijn enkele geluidindexen uitgekozen voor gebruik bij verdere analyses. In de tweede paragraaf (7.2) wordt voor de verschillende typen lokaties afzonderlijk het verband geanalyseerd tussen uitgekozen geluidindexen en hindervariabelen. In de derde paragraaf (7.3) wordt de invloed onderzocht van het tramgeluidniveau op de hindergevoeligheid voor wegverkeer. In de vierde paragraaf (7.4) wordt nagegaan welke variabelen in combinatie met een geluidindex kunnen bijdragen aan de voorspelling van hinder.

7.1. Selectie van de geluidindexen

De selectie van de geluidindexen voor gebruik bij verdere analyse is in de volgende stappen uitgevoerd:

1. vaststelling van de (Pearson) correlatie voor ieder van de geluidindexen met elk van de andere geluidindexen.
2. de selectie van een gangbare geluidindex en uitsluiting van de geluidindexen waarvoor de correlatie hiermee hoger is dan 0,90.
3. uit de nog niet eerder uitgesloten of geselecteerde indexen is telkens een gangbare index gekozen aan de hand waarvan volgens het bij 2 genoemde criterium (correlatie hoger dan 0,90) nog resterende indexen worden uitgesloten. Zodoende correleert elk van de uitgesloten indexen sterk (minimaal met een correlatie hoger dan 0,90) met een of meer van de uiteindelijk geselecteerde indexen.
4. toevoeging aan de geselecteerde indexen van de indexen die met de niet-specifieke hinder of de Bitter-index significant hoger correleren dan alle eerder geselecteerde indexen.

Bovenstaande stappen zijn afzonderlijk uitgevoerd voor tramgeluidindexen en indexen voor het wegverkeersgeluid. De voor het tramgeluid achtereenvolgens geselecteerde indexen zijn: $L_{Aeq}(24h)$, L_{etm} , L_{Amax} , N , $L_{Aeq}(24h,z)$, $L_{Aeq}(av)$. Bij stap 4 is hier geen index aan toegevoegd. Het aantal passages op een werkdag, N , heeft alleen met het aantal passages op zaterdag respectievelijk zondag een correlatie groter dan 0,90.

Voor het wegverkeersgeluid zijn achtereenvolgens geselecteerd: $W:L_{Aeq}(24h)$ en $W:L_{etm}(z)$. Hieraan zijn bij stap 4 geen verdere indexen toegevoegd.

Bij de geselecteerde tramgeluidindexen is geen sone- of phonindex. Met andere woorden, de correlatie van de sone- en phonindexen met een of meer wel geselecteerde indexen is hoger dan 0,90. Hieruit zijn twee conclusies te trekken:

- een aantal sone- en phonindexen is berekend zonder dat rekening is gehouden met eventuele maskering van het tramgeluid door wegverkeersgeluid. Deze indexen hebben een sterk lineair verband met op basis van A-gewogen geluidniveaus bepaalde indexen.
- de overige sone- en phonindexen zijn zo berekend dat de maskerende werking van het wegverkeersgeluid is verdisconteerd. Deze indexen hebben eveneens een sterk lineair verband met één of meer van de op basis van A-gewogen geluidniveaus bepaalde indexen.

Bij het voorgaande kan worden opgemerkt dat de waarden van de sone- en phonindexen afhankelijk zijn van:

- de gebruikte procedure om sone- en phonwaarden te bepalen voor (partieel) gemaskeerd geluid;
- en de wijzen waarop de momentane sone- of phonwaarden zijn samengevoegd tot indexen.

Wat betreft het eerste punt kan worden verwezen naar Miedema (1985). In dat rapport wordt de hier gebruikte procedure uitvoerig beschreven. Het is de verwachting dat de gebruikte procedure,

als deze de sone- of phonwaarden voor tramgeluid niet geheel correct bepaalt, de mate van maskering overschat. Dus, de rol van maskering zou in dat geval voor tramgeluid beperkter zijn dan nu wordt gevonden.

Wat betreft het tweede punt kan er op worden gewezen dat verschillende manieren zijn gebruikt om sone en phon waarden samen te vatten. Bij de gebruikte methoden om momentane sone- of phonwaarden samen te vatten wordt relatief veel gewicht toegekend aan de hogere sone- respectievelijk phonniveaus. Dit heeft tot gevolg dat maskering van het begin en het eind van trampassages een beperkte invloed heeft op de sone- en phonindexen voor het tramgeluid. Illustratief is dat de correlatie van $L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$ met $L_{Amax} - W:L_{Aeq}(24h)$ hoger is dan met $L_{Aeq}(24h) - W:L_{Aeq}(24h)$. In het eerste geval is de correlatie 0,79, in het tweede geval 0,58. Het bij de formulering van sone- en phonindexen toekennen van een betrekkelijk hoog gewicht aan de hogere niveaus wordt ondermeer gemotiveerd door de wijze waarop het L_{Aeq} is gedefinieerd. Het L_{Aeq} is een in één-bronsituaties succesvol gebleken voorspeller van geluidhinder die in belangrijke mate wordt bepaald door de hogere geluidsniveaus.

In Tabel 9 is voor combinaties van L_{Amax} - en $W:L_{Aeq}(24h)$ -waarden het verschil $L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$ gegeven.¹⁾ Uit de tabel blijkt dat voor de in het onderzoek betrokken lokaties de minimale maskering 0,5 phon is en de maximale maskering 8,9 phon.

Voor de diagonalen in de tabel is het verschil $L_{Amax} - W:L_{Aeq}(24h)$ constant. Op grond van het verschijnsel dat de vrijmaking van maskering sneller verloopt bij hogere niveaus van de maskeerder zou een daling verwacht kunnen worden als een diagonaal van links-boven naar rechts-onder wordt doorlopen. In de tabel is een dergelijke daling niet te vinden. Blijkbaar gaat dit patroon ver-

1) Vergelijkbare maar per type situatie bepaalde tabellen geven een overeenkomstig beeld te zien.

loren onder invloed van andere variabelen die $L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$ bepalen.

Tabel 9. Per combinatie van L_{Amax} - en $W:L_{Aeq}$ (24h) -waarden gemiddelde verschil $L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$. Per cel geeft het tweede getal het aantal respondenten met de desbetreffende combinatie aan. L_{Amax} en $W:L_{Aeq}$ (24h) zijn ingedeeld in 3 dB(A)-klassen, waarvan de middens zijn vermeld.

$W:L_{Aeq}$ (24h)	68	71	74	77	80	83	86	89
50	2,8 12	2,0 5	1,1 7	0,9 4	0,6 4			
53			1,2 12		0,5 32	0,9 23		
56			0,6 16	0,6 10				
59			1,8 21	1,2 22				
62				2,3 6	1,2 23	1,3 11		1,4 23
65		4,0 8	5,5 37	3,4 28	3,2 27	2,1 15		
68			4,8 32	4,0 39	4,2 54	2,6 73	2,1 9	
71				8,9 23	6,7 2	3,8 44	2,4 69	1,9 18

De gemiddelde waarde van $L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$ als functie van $L_{Amax} - W:L_{Aeq}$ (24h) is gegeven in Tabel 10. Deze tabel toont dat met tramgeluid als voorgrond en wegverkeersgeluid als achtergrond de maskering pas boven de 2 phon komt als het piek-achtergrondverschil 15 dB(A) is.

Tabel 10. Het gemiddelde verschil $L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$ per waarde van het verschil $L_{Amax} - W:L_{Aeq}(24h)$. Behalve een gemiddelde is ook telkens het aantal vermeld waarop een gemiddelde is gebaseerd.
 Het laatste verschil is bepaald uitgaande van de in 3 dB(A)-klassen ingedeelde waarden van L_{Amax} en $W:L_{Aeq}(24h)$.

$L_{Amax} - W:L_{Aeq}(24h)$								
6	9	12	15	18	21	24	27	30
6,2	4,8	3,9	2,5	1,6	1,2	1,1	0,9	0,8
63	78	126	196	115	38	7	59	27

In een multiële regressie-analyse is de optimale lineaire combinatie bepaald van $L_{Aeq}(24h)$ en het verschil $L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$. Optimaal betekent hierbij dat de correlatie met de hinder van trams het hoogst is. De multiële regressie-analyse is apart uitgevoerd voor de verschillende typen lokaties. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 11. Het blijkt dat voor geen enkel type situatie de mate van maskering belangrijk bijdraagt aan de voorspelling van hinder. Dus, bij de mate van maskering zoals die in dit onderzoek optreedt (0,5 - 8,9 phon) is maskering een ondergeschikt verschijnsel bij de voorspelling van geluidhinder.

Tabel 11. Resultaten van per type situatie uitgevoerde multi-
 regressie-analyses met hinder van trams als te voor-
 spellen variabele. Bij de eerste stap is $L_{Aeq}(24h)$ de
 voorspellende variabele, bij de tweede stap wordt
 $L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$ hieraan toegevoegd.
 Ook zijn de coëfficiënten a, b en c gegeven uit de ver-
 gelijking:
 voorspelde tramhinder = $a + b \cdot L_{Aeq}(24h) + c \cdot (L_{Pheq} -$
 $L_{Pheq}^*)$.

vrije baan

	multi- pele correlatie	
$L_{Aeq}(24h)$	0,18	
$L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$	0,19	
$a = -0,54$	$b = 0,05$	$c = -0,06$

boog/kruising

	multi- pele correlatie	
$L_{Aeq}(24h)$	0,23	
$L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$	0,25	
$a = -0,64$	$b = 0,06$	$c = 0,00$

halte

	multi- pele correlatie	
$L_{Aeq}(24h)$	0,01	
$L_{Pheq} - L_{Pheq}^*$	0,13	
$a = 3,11$	$b = 0,00$	$c = -0,08$

7.2. Relatie tussen geluidhinder en geluidindexen

In een eerste subparagraaf (7.2.1.) worden geluidhinder - geluid-
 dosis relaties voor tramverkeer besproken. In een tweede subpara-
 graaf (7.2.2.) worden dergelijke relaties voor wegverkeer bespro-
 ken.

7.2.1. Relaties voor tramverkeer

Voor tramverkeer zijn verschillende typen situaties te onderscheiden: boog, halte, kruising, vrije baan en remisetraject. Als deze typen situaties samen worden genomen in een dosis-effect analyse kan er geen dosis-effect relatie worden onderscheiden.

Omdat een analyse met de verschillende typen situaties samengenomen niet het gewenste resultaat oplevert zijn voor bogen, haltes, kruisingen en vrije banen de relaties tussen telkens een geluidindex enerzijds en niet-specifieke hinder (vraag 19B) of Bitterindex anderzijds afzonderlijk geanalyseerd. Voor de remisetrajecten was de spreiding in geluidindexwaarden te klein om zinvol een dosis-effect analyse uit te kunnen voeren.

Als middel om relaties op te sporen zijn kruistabellen gebruikt. Voor het maken van de kruistabellen zijn de niveaus op de geluidindexen in eerste instantie ingedeeld in 3 dB(A)-klassen. Als in een bepaald type situatie een 3 dB(A)-klasse minder dan 14 observaties bevatte is deze met de daarop volgende klasse samengevoegd. Zonodig is een dergelijke samenvoeging ook weer uitgevoerd voor de resulterende klasse. Bij het ontbreken van hogere geluidklassen is de samenvoeging uitgevoerd met de direct voorafgaande lagere klasse.

Aangezien voor elk van de situatietypen (boog, halte, kruising, vrije baan) voor elke geselecteerde geluidindex ($L_{Aeq}(24h)$, L_{etm} , L_{Amax} , N , $L_{Aeq}(24h,z)$, $L_{Aeq}(av)$) een kruistabel is gemaakt met de niet-specifieke hindervariabele is het aantal geproduceerde tabellen 24. Voor deze tabellen is nagegaan of er een relatie¹⁾ bestaat tussen geluidindex en niet-specifieke hinder, en als dat het geval is of de samenhang de verwachte vorm heeft. De verwachte vorm is hierbij een toenemend percentage (erge) hinder bij een toenemende waarde van de geluidindex.

Voor elk van de situatietypen is tevens voor elk geselecteerde

¹⁾ Als aan de hand van een analyse met een kruistabel gesteld wordt dat er een relatie bestaat betekent dit dat de chi-kwadraat test een significant resultaat oplevert met $\alpha=0,05$.

geluidindex per niveauklasse de gemiddelde Bitterindex berekend. Hierbij is nagegaan of de gemiddelde Bitterindexwaarde toeneemt met het toenemen van de geluidindexwaarde.

De analyses met de niet-specifieke hinder en de Bitter-index leiden tot de volgende resultaten:

- Voor haltes wordt met geen van de geluidindexen een relatie gevonden met de geluidhinder. Dit geldt zowel voor de niet-specifieke hinder als de specifieke hinder (Bitter-index).
- Voor bogen wordt voor elke geluidindex een verwachte relatie met de geluidhinder gevonden. Dit geldt duidelijker voor de niet-specifieke hinder dan voor de specifieke hinder.
- Voor andere typen situaties dan bogen heeft "geluidindex" N, het aantal trampassages op een werkdag, geen relatie met de geluidhinder.
- Voor kruisingen en vrije banen heeft het $L_{Aeq}(24h)$ zowel met de niet-specifieke als met de specifieke hinder de verwachte relatie. Hetzelfde geldt niet voor andere geselecteerde geluidindexen.

Resumerend kan worden gesteld dat, haltes buiten beschouwing gelaten, alleen het $L_{Aeq}(24h)$ de verwachte relaties heeft met zowel de niet-specifieke als de specifieke hinder. In verband hiermee is bij verdere analyses het $L_{Aeq}(24h)$ als index voor het tramgeluid gebruikt.

Figuren voor dosis-effect relaties zijn behalve met het L_{Aeq} als dosis ook gemaakt met L_{etm} als dosis.

Omdat bij vrijwel alle in de dosis-effect analyse betrokken boog-situaties ook kruisende sporen, wissels en/of haltes voorkomen is in de laatste stap van deze analyse het onderscheid tussen bogen en kruisingen vervallen. De laatste stap bestaat uit het weergeven in figuren van dosis-effect relaties. Wegens het ontbreken van een relatie zijn haltesituaties niet opgenomen in de figuren. Verder zijn ook voor de twee remisesituaties geen curven opgenomen, vanwege een te geringe spreiding in de geluidindexwaarden.

Wel is voor de respondenten in remisesituaties de (rekenkundig) gemiddelde dosiswaarde bepaald. De punt in de figuren geeft aan wat de hinder is voor deze respondenten bij deze gemiddelde waarde. De lijnen in de figuren horen bij de combinatie van boog en kruising situaties respectievelijk vrije baan situaties.

In de Figuren 7 en 8 is het percentage (erge) hinder respectievelijk de gemiddelde Bitterindex uitgezet als functie van L_{etm} respectievelijk L_{Aeq} (24h). Uit de figuren blijkt dat bij eenzelfde dosiswaarde de hinder bij bogen/kruisingen hoger is dan bij vrije baan situaties. Verder blijken de remisetrajecten relatief veel hinder op te leveren: bij een gemiddelde L_{Aeq} (24h) van 54 dB(A) (uitersten: 53 en 56 dB(A)) is het percentage (erge) hinder 43%. Doordat op de remisetrajecten het equivalente niveau in de nachtperiode hoger is dan gedurende de dag of avond is L_{etm} (iets) meer dan 10 dB(A) hoger dan L_{Aeq} (24h). Ten gevolge van deze hoge correctiewaarde valt het punt voor remisetrajecten in de figuur met L_{etm} als dosis ongeveer samen met de lijn voor bogen/kruisingen. Dit is een aanwijzing voor de juistheid van de 10 dB(A) toeslag op de nachtwaaarde bij de bepaling van L_{etm} .

Voor de relatie tussen L_{etm} en het percentage (erg) gehinderden zijn voor bogen/kruisingen en voor vrije banen de correlaties en regressievergelijkingen bepaald. Bij deze analyse zijn de punten gewogen met het bijbehorende aantal respondenten. Voor bogen/kruisingen is de correlatie 0,84 en de regressievergelijking:

$$\% \text{ (erg) gehinderden} = -70,1 + 1,69 L_{etm}$$

Voor vrije banen is de correlatie 0,71 en de vergelijking:

$$\% \text{ (erg) gehinderden} = -53,8 + 1,18 L_{etm}$$

Volgens deze vergelijkingen wordt het 10% hinderniveau voor bogen/kruisingen bereikt als $L_{etm} = 47,4$ dB(A).

Voor vrije banen wordt dit hinderniveau bereikt als $L_{etm} = 54,3$ dB(A). Dus, het verschil tussen etmaalwaarden die dezelfde hinder opleveren is 7 dB(A). Deze 7 dB(A) kan worden gehanteerd als minimum straffactor voor bogen/kruisingen ten opzichte van vrije banen. Als wordt uitgegaan van hogere (erge) hinder percentages valt de straffactor hoger uit.

De toepassing van een straffactor is alleen op zijn plaats voor bogen/kruisingen waar het geluid tonale componenten en/of impulsen bevat. Dit zijn namelijk, mogelijk samen met een relatief vaak optreden van belsignalen, de aspecten die bogen/kruisingen akoestisch onderscheiden van vrije banen.

Een specifiek effect dat niet is opgenomen in de Bitter-index is het gesloten houden van ramen vanwege het tramgeluid (vraag 42). In Figuur 9 is het percentage respondenten weergegeven dat de ramen vaker zou openzetten als er geen trams langs zouden rijden. Dit percentage is weergegeven als functie van L_{etm} respectievelijk $L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$.

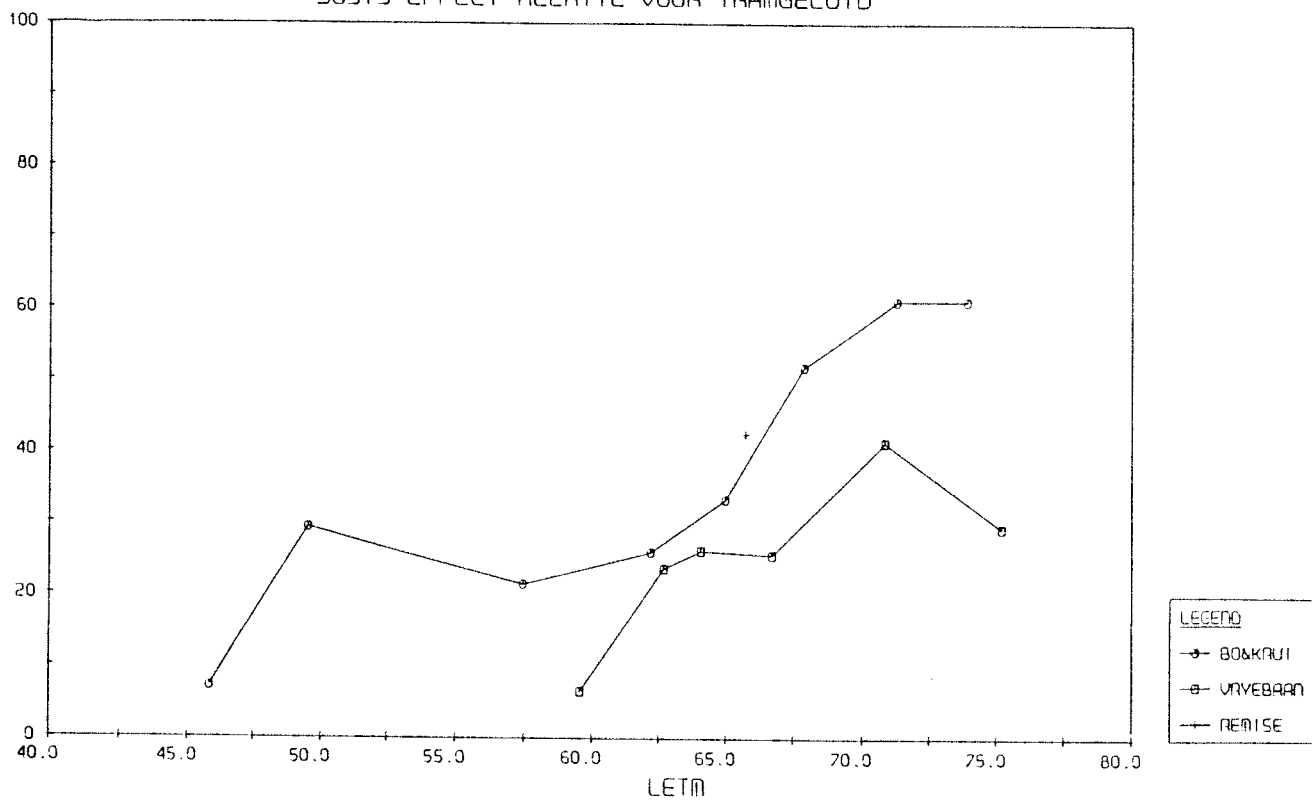
7.2.2. Relaties voor wegverkeer

Voor wegverkeer zijn twee indexen geselecteerd om de geluidssituatie te beschrijven $W:L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$ en $W:L_{\text{etm}}(z)$ (zie 7.1.). Beide indexen zijn in een kruistabel gecombineerd met de niet-specifieke hinder voor wegverkeer. Voor beide combinaties is het verband significant. Echter, bij toename van $W:L_{\text{Aeq}}(24\text{h})$ is er geen monotone stijging van het percentage (erge) hinder. Voor $W:L_{\text{etm}}(z)$ is dit wel het geval. De beide relaties worden geïllustreerd in de Figuren 10 en 11. In Figuur 10 is tevens de relatie met L_{etm} weergegeven.

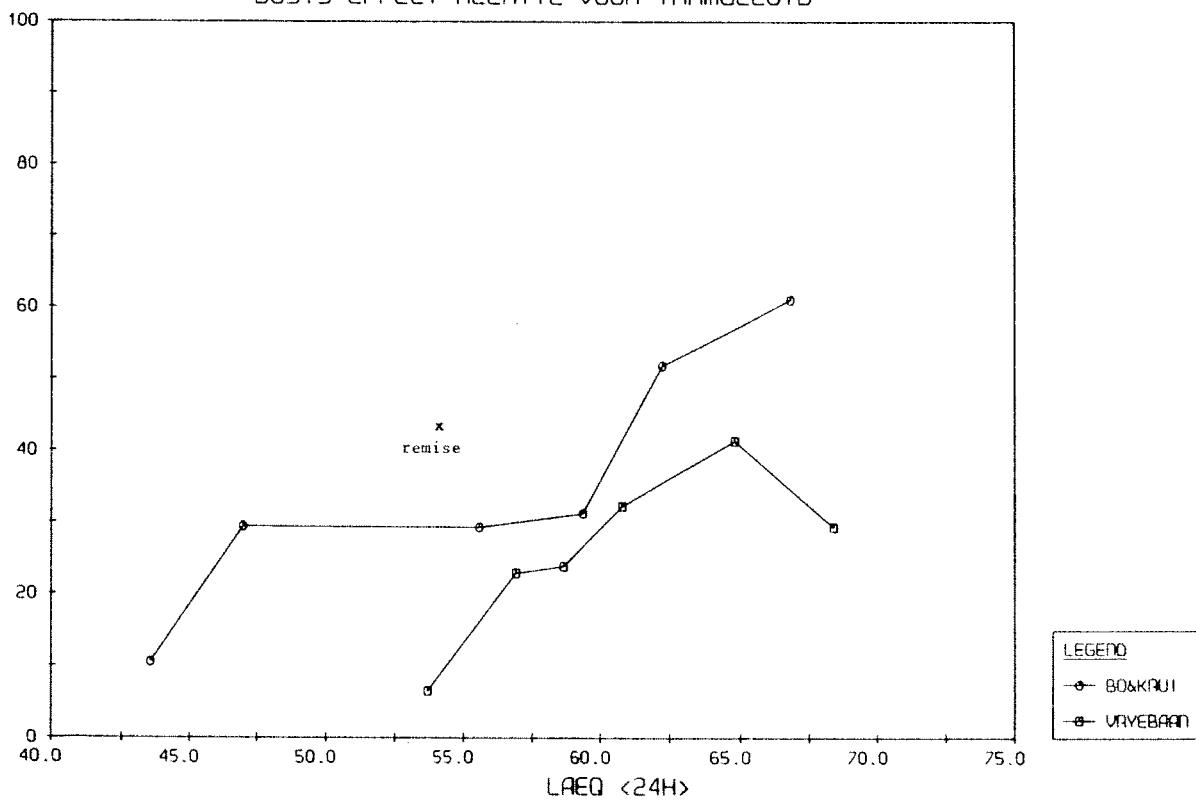
In Figuur 10 zijn ook door Van Dongen gerapporteerde gegevens met betrekking tot geluidhinder langs snelwegen opgenomen. Vergelijking met de gegevens uit onderhavig onderzoek laat zien dat er geen aanwijzing is dat voor $W:L_{\text{etm}} < 60 \text{ dB(A)}$ wegverkeer in de stad minder hinderlijk is dan snelwegverkeer.

De curven van tram- en wegverkeer voor de niet-specifieke hinder als functie van L_{etm} kunnen worden vergeleken. Een opvallend punt bij deze vergelijking is dat beneden circa 68 dB(A) de hinder van trams in een vrije-baansituatie lager is dan de hinder van wegverkeer. Boven de circa 68 dB(A) is dit verschil minder duidelijk.

DOSIS-EFFECT RELATIE VOOR TRAMGELUID

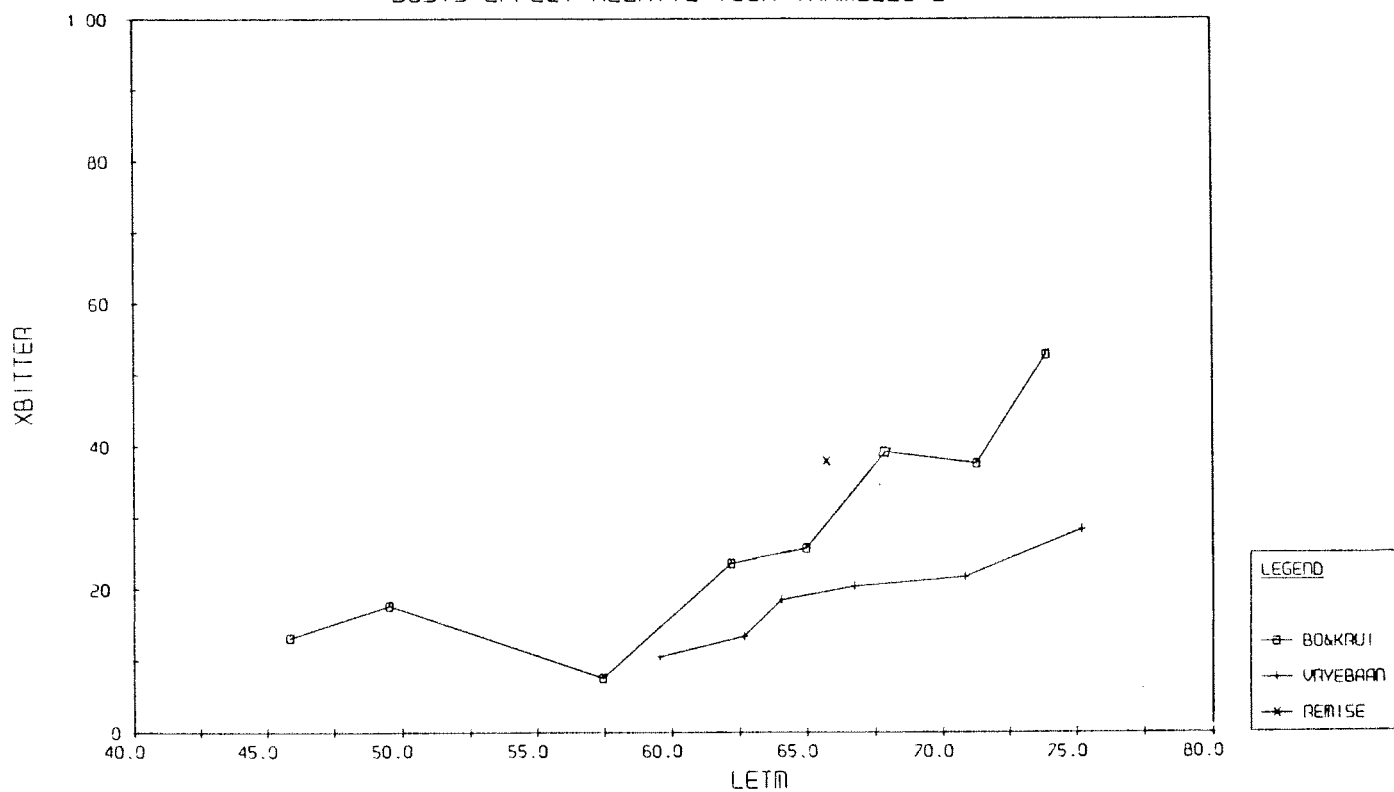


DOSIS-EFFECT RELATIE VOOR TRAMGELUID

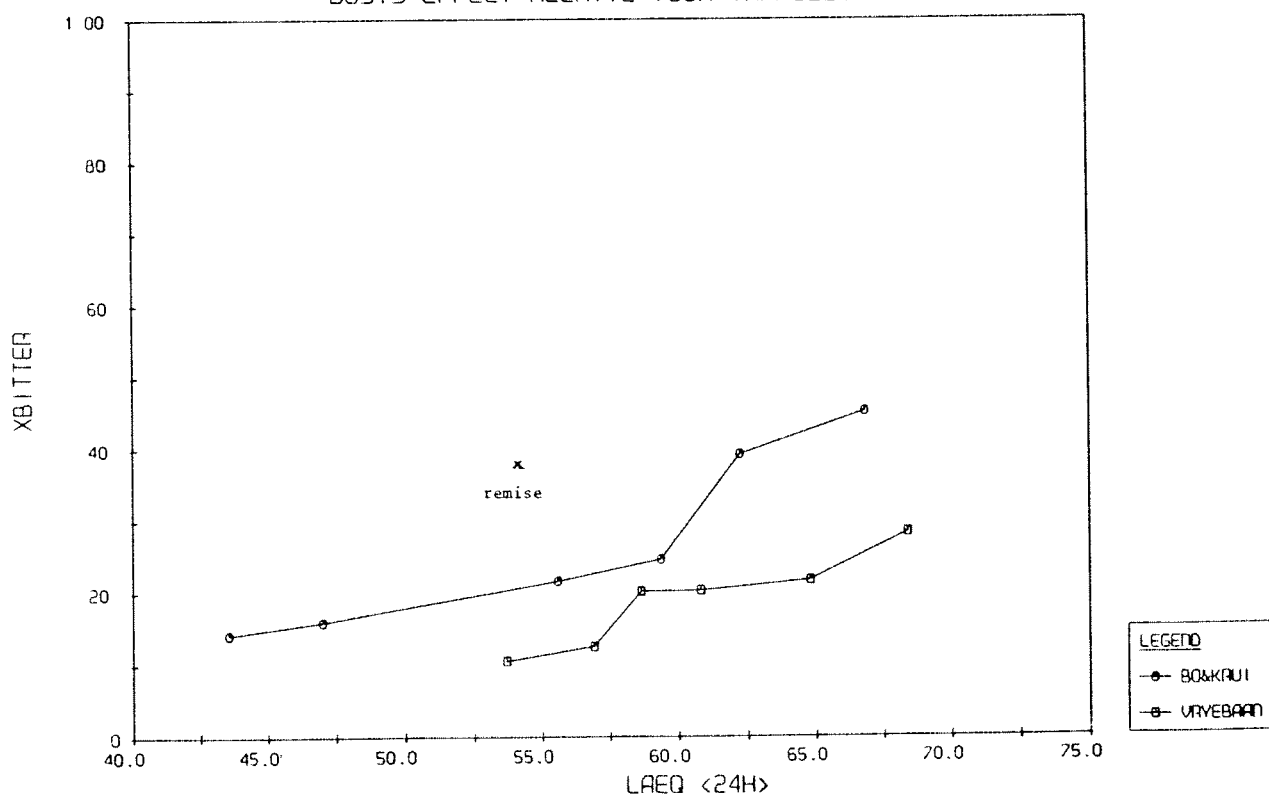


Figuur 7. Het percentage (erg) gehinderden van trams als functie van L_{etm} respectievelijk $L_{Aeq} (24h)$.

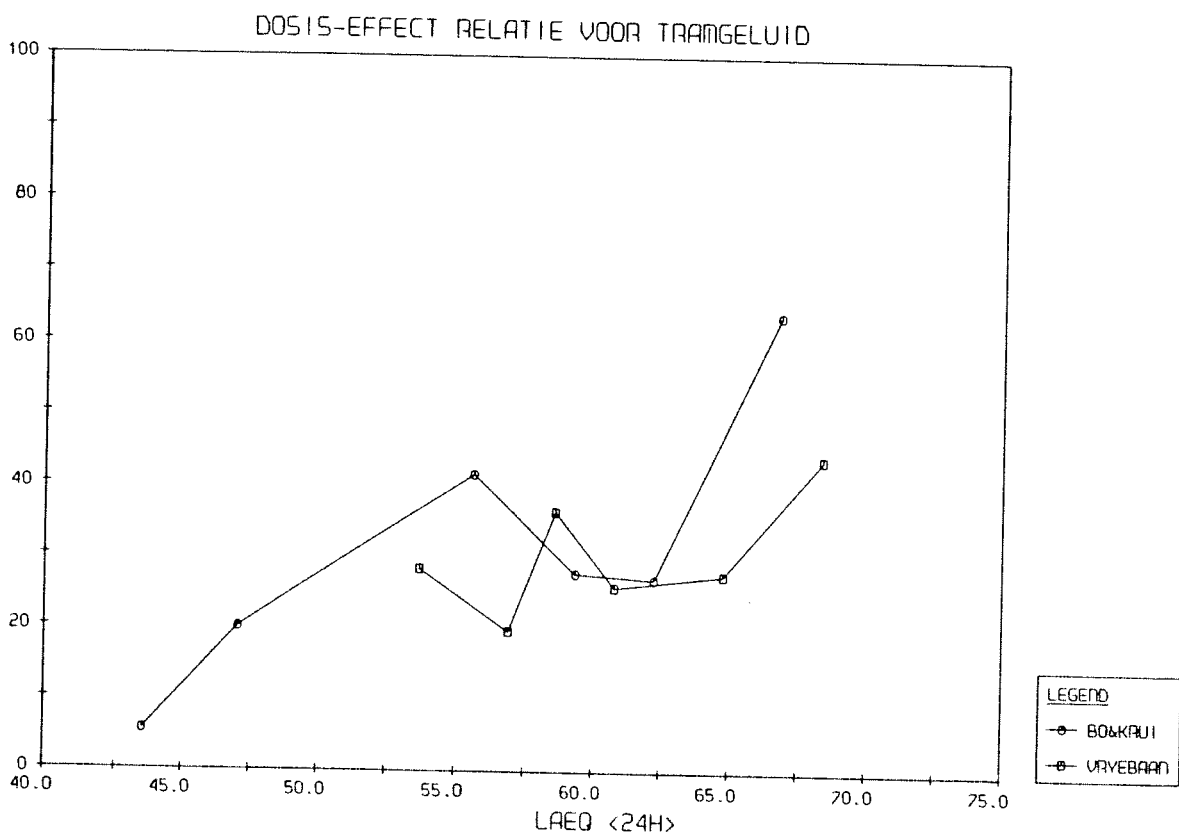
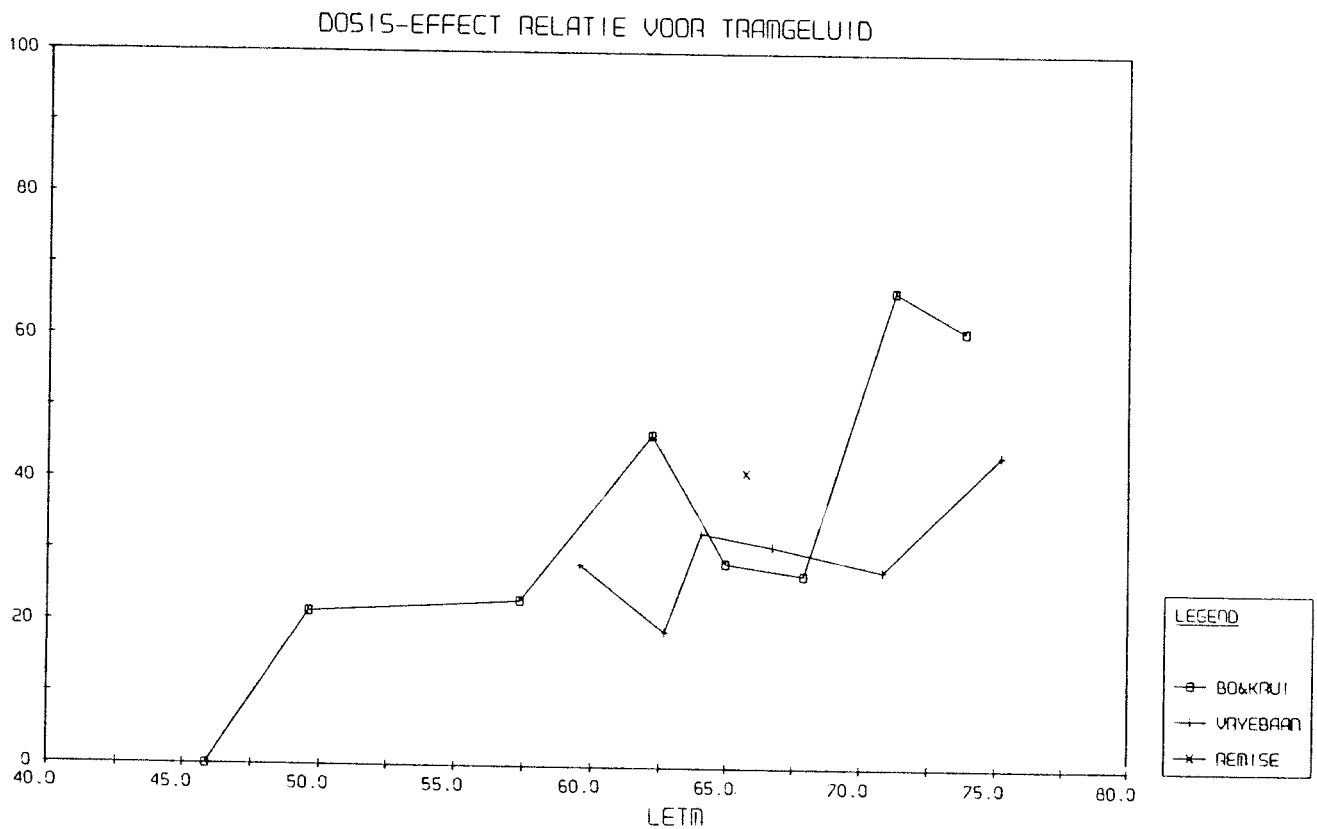
DOSIS-EFFECT RELATIE VOOR TRANGELUID



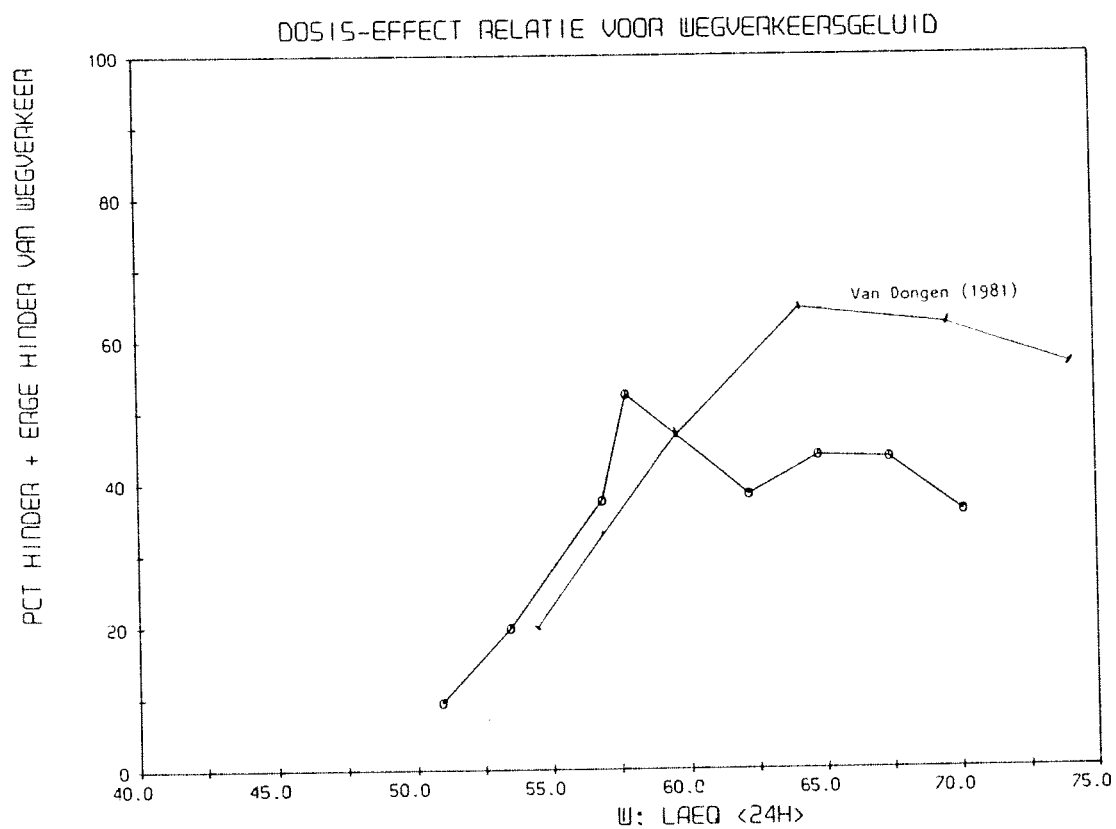
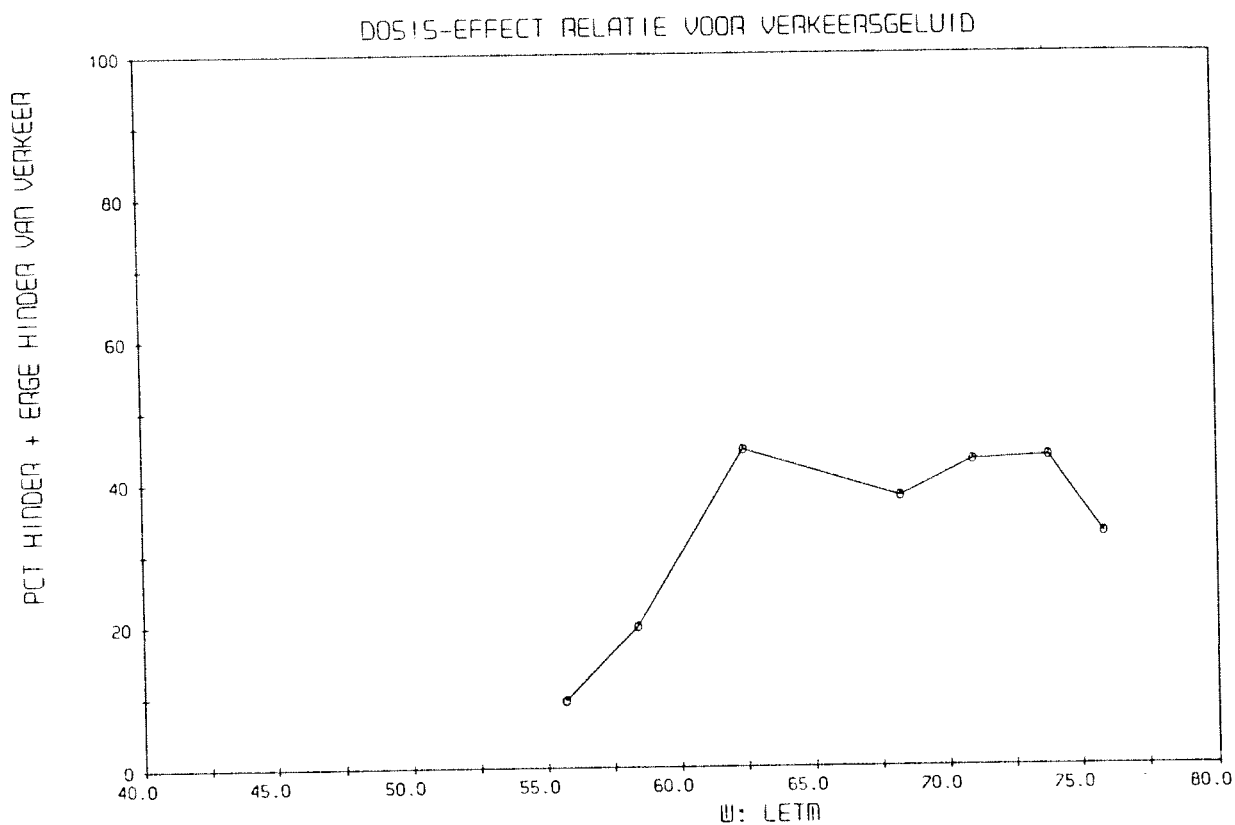
DOSIS-EFFECT RELATIE VOOR TRANGELUID



Figuur 8. De gemiddelde Bitter-index als functie van L_{etm} respectievelijk $L_{Aeq}(24h)$.



Figuur 9. Het percentage respondenten dat de ramen vaker zou openzetten als er geen trams passeerden. Het percentage is weergegeven als functie van L_{etm} respectievelijk L_{Aeq} (24h). Percentages zijn bepaald voor de respondenten die in de woon- en/of slaapkamer een raam aan de straat met de trams hebben.



Figuur 10. Het percentage (erg) gehinderden van wegverkeer als functie van $W:L_{etm}$ respectievelijk $W:L_{Aeq}$ (24h).

7.3. Beïnvloeding van de hindergevoeligheid

In Miedema (1985) wordt beschreven hoe de invloed van bijvoorbeeld het wegverkeersgeluidniveau op de hinder van tramgeluid kan worden onderzocht. In het daar besproken Model III worden twee soorten invloeden onderscheiden: maskering en verandering in hindergevoeligheid. Maskering is reeds in de vorige paragraaf aan de orde geweest. Hier komt de vraag aan de orde of de hindergevoeligheid voor een tram wordt beïnvloed door de aanwezigheid van een andere bron.

In verband met de verdeling van respondenten over de verschillende combinaties van weg- en tramgeluidniveaus was het alleen mogelijk om na te gaan of in vrije baan situaties de hinder van wegverkeersgeluid bij $W:L_{\text{etm}}(z) = 71 \text{ dB(A)}$ voor $L_{\text{Aeq}}(24\text{h}) < 63 \text{ dB(A)}$ anders is dan wanneer $L_{\text{Aeq}}(24\text{h}) > 63 \text{ dB(A)}$. Bepaling van de in Miedema (1985) beschreven schaalwaarden om de mate van hinder te karakteriseren levert voor wegverkeersgeluid bij het genoemde niveau de waarden uit Tabel 12 op.

Om de schaalwaarden te bepalen is uit de horen- en hindervraag voor elk van de bronnen wegverkeer, vliegverkeer en motor van trams een nieuwe variabele gecreëerd. De categorieën van deze drie variabelen waren: hoort nooit de bron, hoort zelden de bron, hoort de bron minstens soms maar ondervindt er geen hinder van, hoort de bron minstens soms en ondervindt net (geen) hinder, hoort de bron minstens soms en ondervindt (erge) hinder. Deze nieuwe variabelen zijn gecreëerd omdat de antwoorden op de hindervraag voor de twee referentiebronnen te weinig spreiding vertoonden om de analyse te kunnen uitvoeren.

Uit Tabel 11 blijkt dat er, bij een bepaalde referentie, enig verschil is tussen de schaalwaarden voor wegverkeersgeluidhinder bij $W:L_{\text{etm}}(z)=71 \text{ dB(A)}$, afhankelijk van het tramgeluidniveau. Deze verschillen zijn echter niet groot in vergelijking met het verschil tussen de schaalwaarden bij verschillende referenties als $L_{\text{Aeq}}(24\text{h}) < 63 \text{ dB(A)}$. Aangezien dit laatste verschil aan toe-

valsfluctuaties moet worden geweten kan niet geconcludeerd worden dat in het onderhavige geval de hinder van wegverkeersgeluid wordt beïnvloed door het tramgeluidniveau.

Tabel 12 Schaalwaarden voor de hinder van wegverkeersgeluid bij $W:L_{etm} = 71$ dB(A). De waarden zijn bepaald met hinder van vliegtuiglawaai respectievelijk motorgeluid van de trams als referentie. De waarden zijn vastgesteld voor vrije baan situaties met $L_{Aeq}(24h) < 63$ dB(A) respectievelijk $L_{Aeq}(24h) > 63$ dB(A).

Referentie	$L_{Aeq}(24h)$	
	< 63 dB(A)	> 63 dB(A)
Vliegtuiglawaaihinder	2,02	1,33
Hinder van motorgeluid van trams	1,54	1,49

7.4. Hindervoorspelling met een combinatie van variabelen

In de vorige paragraaf zijn relaties besproken tussen telkens een geluidindex enerzijds en een effectvariabele anderzijds. In deze paragraaf worden relaties besproken tussen (telkens) een lineaire combinatie van een geluidindex en extra variabelen enerzijds en de niet-specifieke geluidhinder van trams anderzijds. Voor de "extra" variabelen is nagegaan in hoeverre hun toevoeging aan de geluidindex de voorspelbaarheid van de hinder verhoogt. Dit is gebeurd door een zogenaamde multipеле regressie-analyse uit te voeren.

In een multipele regressie-analyse wordt de optimale lineaire combinatie gezocht van de geluidindex en "extra" variabelen. Optimaal is hierbij een zo klein mogelijke gemiddeld gekwadrateerd verschil tussen de lineaire combinatie en de geluidhinder-variabele. De analyse kan stapsgewijs worden uitgevoerd. Dat wil zeggen dat het aantal "extra" variabelen telkens wordt uitgebreid, waarna telkens opnieuw de optimale combinatie wordt vastgesteld.

Er zijn twee multipele regressie-analyses uitgevoerd. Alleen respondenten uit boog/kruising en vrije baan situaties zijn in de analyses betrokken. Het aantal respondenten waarover de eerste analyse is uitgevoerd was 500. Bij de tweede analyse was dit aantal kleiner: 190. Dit komt door het grotere aantal variabelen met missende waarden in de tweede analyse. Iedere respondent die op minstens één variabele niet zinvol te scoren was is namelijk van de gehele analyse uitgesloten.

Bij de eerste regressie-analyse was L_{Pheq}^* (24h) de geluidindex. De als eerste toegevoegde variabele was een "dummy" die waarde 1 aannam voor boog- en kruisingsituaties en waarde 0 voor vrije baan situaties. Als tweede is het produkt van de dummy en L_{Pheq}^* (24h) toegevoegd. De eerste drie variabelen zijn bedoeld om vast te stellen in hoeverre het L_{Pheq}^* (24h), het type situatie en de interactie hiertussen de geluidhinder voorspellen: de (multiple) correlatie blijkt 0,25 te zijn.

Vervolgens is nagegaan of deze correlatie nog wordt verhoogd door het $W:L_{etm}$ (z) en het produkt hiervan met L_{Pheq}^* (24h) toe te voegen. Dit laatste om een interactie-effect op te sporen, dus om na te gaan of de invloed van $W:L_{etm}$ (z) op de hinder afhankelijk is van het niveau van L_{Pheq}^* (24h). Het interactie-effect blijkt marginaal sterker dan het effect van $W:L_{etm}$ (z) en verhoogt de correlatie tot 0,28. Het $W:L_{etm}$ (z) geeft een verdere stijging tot 0,29. Hoewel beide verhogingen significant zijn op het 5% niveau zijn ze klein. Dus kennis over het wegverkeersgeluid ¹⁾ verhoogt de mogelijkheid om hinder voor tramgeluid te voorspellen nauwe-

¹⁾ Voorzover deze kennis niet in het L_{Pheq}^* (24h) is verwerkt.

lijks. Dit kan overigens voor een deel te wijten zijn aan de hoge correlatie tussen L_{Pheq}^* en $W:L_{etm}(z)$, namelijk 0,51.

Bij de tweede multipele regressie-analyse was het $L_{Aeq}(24h)$ de geluidindex. In combinatie met de eerder genoemde dummy en het produkt van deze dummy met $L_{Aeq}(24h)$ is de (multipele) correlatie 0,22.

Voor een aantal variabelen uit Tabel 13 geldt dat hun coëfficiënt in de lineaire combinatie significant zou zijn (5% niveau) als ze bij de volgende stap zouden worden toegevoegd. Voor deze variabelen is in de tabel de partiële correlatie met de hinder vermeld. Deze correlatie werd berekend nadat de door de eerste drie variabelen verklaarde variantie uit de hindervariabele en de betreffende variabele is weggenomen. Voor de overige variabelen geldt dat hun coëfficiënt niet significant zou zijn. Dus, als $L_{Aeq}(24h)$, het type situatie en de interactie tussen deze factoren bekend is, verhoogt kennis van enkele variabelen uit Tabel 13 wel de mogelijkheid om geluidhinder van trams te voorspellen en kennis van andere variabelen uit Tabel 13 niet.

Als de variabele die de mate van hinder door rammelend of bonkend geluid aangeeft is opgenomen, is toevoeging van de variabele die de mate van hinder door piepend geluid aangeeft niet meer zinvol. De coëfficiënt voor deze laatstgenoemde variabele is dan niet meer significant. Voor de overige variabelen waarvan de coëfficiënt bij toevoeging als vierde significant is geldt dat hun coëfficiënt ook significant is in een combinatie van alle variabelen uit Tabel 13. Bovendien is dan ook de coëfficiënt voor de variabele die de ouderdom van de woning aangeeft significant. Voor een dergelijke combinatie van alle variabelen is de correlatie met de niet-specifieke hinder van tramgeluid 0,61.

Uit het bovenstaande blijkt dat voor een bepaald type situatie (boog/kruising of vrije baan) en bij een bepaald $L_{Aeq}(24h)$ hinder van rammelen of bonken, of van een knerpend geluid de algemene hinder van tramgeluid verder bepaalt. Ook is de ouderdom van de woning een aanvullende determinant van de hinder. Een mogelijke

Tabel 13 Resultaten van de tweede in de tekst beschreven multi-
pele regressie-analyse. Enkele variabelen zouden een
significante coëfficiënt hebben wanneer ze als vierde
zouden worden toegevoegd. Voor deze variabelen is de
partiële correlatie met de hinder vermeld. De variabe-
len staan in de volgorde waarin ze in feite in de ana-
lyse zijn ingevoerd. Voor iedere variabele is aangege-
ven of zijn coëfficiënt bij toevoeging significant was.
Tevens is vermeld wat na iedere toevoeging de multipele
correlatie was.

	Significant bij toevoe- ging als vierde	Significant bij toevoe- ging in de aangegeven volgorde	Multipele correla- tie
1. L ^{Aeg}	n.v.t.	X	0,15
1. Type situatie	n.v.t.		0,19
2. L ^{Aeg} x type situatie	n.v.t.		0,22
3. afwezigheid overdag (vraag 61)			0,23
3. afwezigheid 's avonds (vraag 62)			0,23
3. afwezigheid overdag (vraag 60)			0,23
3. afwezigheid 's avonds (vraag 63)			0,23
4. hinder rammelen, bonken	0,42	X	0,48
4. hinder knerpen	0,36	X	0,52
3. raamindex			0,52
4. hinder motorgeluid			0,53
4. hinder bellen of toeteren			0,53
4. hinder piepen	0,20		0,53
5. ouderdom woning		X	0,55
5. oordeel woonlasten			0,55
5. eigendom of huurwoning			0,56
5. woonlaag			0,56
5. oordeel ruimte in woning			0,56
6. geluidgevoeligheid	0,28	X	0,60
6. woontuur			0,61
7. leeftijd			0,61
7. opleiding			0,61
7. sekse			0,61

N.B. Variabelen met eenzelfde cijfer ervoor behoren tot eenzelfde
blok. De cijfers geven de volgorde aan waarin de blokken in
principe worden ingevoerd. Alleen als de bijdrage van een
variabele aan de voorspelling extreem klein is kan invoering
worden uitgesteld. Binnen de blokken zijn variabelen met een
hogere bijdrage aan de hindervoorspelling ingevoerd voor de
variabelen met een lagere bijdrage. De rangorde naar grootte
van bijdrage kan hierbij telkens na invoering van een varia-
bele veranderen.