
VL-HR-17-01

**Beoordelingssysteem
voor de geluidhinder
door wegverkeer**

JCG

**INTERDEPARTEMENTALE
COMMISSIE
GELUIDHINDER**

1 Rapport nr. VL-HR-17-01	7 Archief nr.	
2 Sub-titel Rapport Beoordelingssysteem voor de geluidhinder door wegverkeer	8 Datum Publicatie september 1975	
	9 Rapport nr. Instituut TPD Nr. 307.247	
3 Schrijver(s) Coördinator: Ir. G.J. Kleinhoonte van Os	10 Tijdschrift nr.	
4 Uitvoerend Instituut, Naam Adres T N O	11 Opdracht nr.	
	12 Rapporttype en periode Hoofdrapport 1973-1975	
5 Opdrachtgever(s) Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne		
6 Titel Onderzoekproject Beoordelingssysteem voor de geluidhinder door wegverkeer		
13 Samenvatting <p>Langs verschillende wegen is getracht een bruikbaar en betrouwbaar beoordelingssysteem voor de aanvaardbaarheid van wegverkeersgeluid in de woonsituatie te vinden. In grote lijnen geven zowel de benadering via geluidhinder-enquêtes als een functionele analyse hetzelfde antwoord. Uitgaande van de situatie in de warmere perioden van het jaar, waarbij men wegens de behoefte aan ventilatie de vensters van de woning enigszins opent, komt men tot de uitspraak dat bij een sterkte van het verkeerslawaai buiten - beschreven met de grootheid equivalent geluidniveau - van 45 dB(A) of minder, gedurende de dagperiode, geen wezenlijke storing of ernstige geluidhinder te verwachten is. Is deze sterkte echter 75 dB(A) of méér dan is de situatie duidelijk onaanvaardbaar: de bewoners van de woningen moeten zich aanzienlijke beperkingen opleggen, zowel wat betreft ventilatie-mogelijkheden als wat betreft hun verlangens inzake communicatie. Een groot percentage bewoners voelt zich ernstig gehinderd. Op basis van deze feitelijkheden zijn een aantal uitgangspunten voor een zonerings-systeem rond wegen geformuleerd, alsmede de belangrijkste akoestische aspecten daarvan nader toegelicht.</p>		
14 Begeleidingscommissie - V & M : Ir. M.E.E. Enthoven, Ir. R.B.J.C. van Noort, Ir. J.C. Heemrood; - V & W : Drs. R.G. Steemers, Ing. F.D. Westendorp; - V & R.O.: Ir. H. Wardenaar	15 Bijbehorende Rapporten Deelrapporten (apart verkrijgbaar) - "Het verband tussen spraakverstaanbaarheid en de sterkte van wegverkeersgeluid" - "Enquêtes naar de geluidhinder door wegverkeer"	
	16 Aantal blz.	17 Prijs

INHOUDSOPGAVE

	<i>blz.</i>
1. Inleiding	1
2. Probleemanalyse	1
3. Algemene aspecten van de geluidhinder door wegverkeer	4
4. Enquêtes naar hinder door verkeerslawaaï	10
5. ISO R/1996 - 1971 en de geluidhinder door het wegverkeer	15
6. Benadering vanuit formulering functionele eisen	16
7. Grenswaarden	22
8. De situatie tussen de grenswaarden	27
9. Betekenis van grenswaarden in de praktijk	29
10. De situatie bij andere gebouwen dan woningen	31
11. Akoestische aspecten van een zoneringsysteem	32
12. Bouwkundige maatregelen aan woningen - perspec- tieven bij ontwerp en bij saneringsprojecten	35
13. Samenvatting en conclusie	37
Literatuurlijst	38

-.-.-.-.-.-.-

1. INLEIDING

In maart 1973 verleende de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne aan TNO opdracht tot het ontwikkelen van een voor beleidsdoeleinden bruikbaar systeem van criteria voor de beoordeling van geluidhinder door wegverkeer, alsmede van daarmee samenhangende maatregelen ter bestrijding van deze geluidhinder. De opdracht zou uitgevoerd worden door het Instituut voor Gezondheidstechniek en Milieuhygiëne TNO en de Technisch Fysische Dienst TNO-TH. Voor de begeleiding van het onderzoek werd een interdepartementale begeleidingscommissie ingesteld. Dit rapport bevat het resultaat van de ontwikkeling; het berust op onder andere twee basisrapporten die bepaalde facetten van de problematiek diepgaander behandelen: "Enquêtes naar de geluidhinder door wegverkeer" en "Het verband tussen spraakverstaanbaarheid en de sterkte van wegverkeersgeluid", die als deelrapporten verkrijgbaar zullen zijn in de publicatieserie wegverkeerslawaaï van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder. In zekere zin sluit dit rapport aan op de publicatie nr. 11 "Wegontwerp en Verkeerslawaaï" van Rijkswaterstaat, geschreven door ir. R.B.J.C. van Noort in samenwerking met ir. W.A. Oosting van de TPD; er wordt dieper ingegaan op de achtergrond van de daar voorgestelde grenswaarden; tevens wordt een eerste aanzet voorgesteld voor een zoneringsstelsel in de omgeving van autowegen, uitgaande van de hoogte van de heersende of de te verwachten geluidsniveaus.

2. PROBLEEMANALYSE

Elk geluidhinderprobleem wordt veroorzaakt doordat een bepaalde *geluidsbron* zodanig *gebruikt* wordt, dat in de gegeven *situatie* geluidhinder wordt veroorzaakt; men zie hiervoor ook hoofdstuk IV van het rapport "Geluidhinder" van de Commissie Geluidhinder en Lawaaibestrijding van de Gezondheidsraad (1).*) Bij het wegverkeer kan hieromtrent het volgende worden opgemerkt.

De geluidsbronnen: de motorvoertuigen - bromfietsen, motorfietsen, personenauto's, autobussen, vrachtauto's - hebben een bepaalde geluidsterkte. Deze is, tijdens het vol-gas versnellen gemeten, bij de wet aan een bepaald maximum gebonden (2).

Het *gebruik* dat van deze voertuigen wordt gemaakt, bepaalt in belangrijke mate de feitelijke geluidproductie: bij een constante, matige snelheid wordt het minste geluid geproduceerd; bij vol-gas versnellen, zeker wanneer in de lagere versnellingen ver wordt doorgetrokken, is de geluidsterkte het grootst.

Voorts is bij voertuigsnelheden tot omstreeks 70 km per uur het voortbewegingsmechanisme (motor, versnellingsbak, in- en uitlaat, ventilator e.d.) bij een goed wegdek de belangrijkste geluidsbron; bij hogere voertuigsnelheden wordt daarnaast veel geluid geproduceerd door de banden en door de luchtstroming langs de carrosserie. De staat van onderhoud is in het algemeen niet van veel invloed op de geluidproductie; slechts indien

*) Getallen tussen () zijn literatuurverwijzingen, zie lijst op blz.38

de eigenaar verzuimt een defecte geluiddemper te vervangen of - hetgeen nogal eens bij bromfietsen voorkomt - onderdelen van de uitlaatdemper worden verwijderd of de uitlaat door een zg. sportuitlaat wordt vervangen, kan de geluidssterkte hoorbaar, dat wil zeggen meer dan enkele dB's, sterker worden dan die van het fabrieks-nieuwe voertuig (3). In velerlei *situaties* kan geluidhinder worden ondervonden; een eerste onderscheid dient te worden gemaakt tussen twee getallen.

- A. Er kan sprake zijn van hinder door een al of niet continue stroom voertuigen, zoals bij woningen, ziekenhuizen, scholen enz. die dichtbij druk bereden straten, provinciale wegen of rijkswegen zijn gelegen.
- B. Soms tijds veroorzaken individuele voertuigen hinder door hun excessieve geluidproduktie in een overigens rustige omgeving, zoals een opgevoerde bromfiets zonder uitlaatdemper 's nachts in een woonstraat.

In overleg met de in hoofdstuk 1 genoemde begeleidingscommissie is besloten de nadruk bij het onderzoek te leggen op de eerste soort situaties - dus de omgeving van autosnelwegen, provinciale wegen en drukke, doorgaande stadroutes. Naast de steeds urgenter wordende maatregelen ter vermindering van het lawaai van de motorvoertuigen zelf ("lawaai bestrijding aan de bron"), die in alle situaties verbetering zullen bewerkstelligen, moeten planologische, stedenbouwkundige en bouwtechnische maatregelen getroffen worden om de hinder binnen aanvaardbare perken te houden c.q. tot een aanvaardbare omvang te reduceren in de omgeving van intensieve verkeersstromen. Tegen de individuele veroorzaker van excessief lawaai is daarnaast een politieel optreden op zijn plaats; hetzij op grond van de bepalingen uit het Wegenverkeersreglement (4), (indien er sprake is van door slecht onderhoud of doelbewuste verandering van het motorvoertuig veroorzaakte vergrote geluidproduktie), hetzij op grond van het Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens (indien het gebruik van het voertuig tot overmatige geluidproduktie voert) (5).

Er zijn naast deze praktische overwegingen ook wetenschappelijk argumenten om bij de behandeling van het probleem van de door het wegverkeer veroorzaakte geluidhinder principieel onderscheid te maken tussen de twee soorten situaties: druk verkeer versus individuele lawaaimaker. Deze argumenten zijn:

1. De hoofdoorzaak van het zich gehinderd voelen is onvrede met de situatie: men vindt het geluidsbeeld niet passen bij die situatie. Bij druk verkeer kan het totale geluid zō sterk zijn dat er van normaal wonen - of leven, of werken, of beter worden - geen sprake meer is. Men spreekt dan over het grote aantal voertuigen (auto's, bromfietsen) die dicht langs de huizen rijden, zodat

Of over een te kleine afstand tussen autoweg en woonwijk, waardoor de normale rust in die woonwijk voorgoed verstoord is.

In de op zichzelf stille situatie voelt men zich daarentegen gehinderd door de individuele lawaaimaker. Die vindt men daar niet thuis horen (bijvoorbeeld vrachtauto's die in woonstraten geparkeerd

worden en vroeg in de ochtend worden weggereden), of men constateert dat bepaalde voertuigen, vergeleken met hun soortgenoten, duidelijk veel méér, dus kennelijk onnodig, geluid produceren. Tegen normale voertuigen heeft men in die situatie geen bezwaar: zij horen daar a.h.w. thuis, zijn in de woonomgeving geïntegreerd.

2. Het tot nu toe verrichte wetenschappelijk onderzoek naar het verband tussen de omvang van de geluidhinder en de sterkte van het wegverkeerslawaaï heeft vooral betrekking gehad op de situaties met druk verkeer. De daarbij ontwikkelde parameters voor het beschrijven van de geluidssterkte zijn dan ook niet zonder meer bruikbaar te achten voor de situaties waar slechts individuele lawaaimakers in het geding zijn.
3. De mate waarin iemand zich gehinderd voelt door lawaai wordt, zoals bekend, mede bepaald door zijn mening over de onvermijdelijkheid van dat lawaai. Als er wettelijke voorschriften zijn die door de lawaaimaker worden overtreden, en men meent dat door een intensiever politietoezicht met bijbehorende straffen het lawaai probleem zou kunnen worden opgelost, is de hinder groter dan wanneer men weet dat er geen sprake is van enige overtreding. Ook wat dit aspect betreft zijn er grote verschillen tussen de beide situaties:
 - bij een te kleine afstand tussen verkeersader en woonbebouwing acht men niet de individuele voertuigbestuurder schuldig, doch de overheid die een planologische fout heeft begaan; zodra wettelijke regelingen tot stand komen die dergelijke fouten beogen te voorkomen kan de hinder bij gelijke geluidssterkte toenemen;
 - bij onaangepast gedrag van autobestuurders in woonstraten, bij bromfietzers die hun uitlaatdempers veranderd hebben, is er nu reeds sprake van overtreding van voorschriften; bij een intensievere, effectieve controle kan de hinder bij gelijke geluidssterkte afnemen.
4. In het geval van een continue stroom motorvoertuigen zijn de auto's, vrachtauto's, autobussen enz. vrijwel niet meer afzonderlijk waarneembaar. Daar geldt dus de eenvoudige regel: hoe groter de geluidssterkte van de totale stroom, des te groter is de hinder. In de woonstraten met weinig intensief verkeer hoort men echter wel degelijk elk voertuig apart, en weet dan gelijk of het een bromfietz, een vuilnisauto, een personenauto, een autobus of een tram is: zij maken elk immers hun karakteristiek geluid. Binnen elke categorie blijft dan wel gelden dat het lawaaiiger exemplaar hinderlijker wordt gevonden dan het rustiger exemplaar, doch tussen de categorieën is een wezenlijk verschil. Men weet immers bijvoorbeeld dat een personenauto veel minder geluid behoeft te maken dan een autobus. Maakt hij toch evenveel geluid, dan is hij een duidelijke hinderbron, veel hinderlijker dan de autobus. De doelstelling van het hier beschreven onderzoek werd aldus:

Het ontwikkelen van een beoordelingssysteem voor geluidhinder veroorzaakt door wegverkeer, in de omgeving van druk bereden wegen en straten.

Dit beoordelingssysteem zal aan de volgende eisen moeten voldoen:

1. er moet een redelijke overeenstemming zijn tussen de mate van hinder die op grond van het beoordelingssysteem wordt verwacht en de mate van hinder die werkelijk optreedt en door middel van een enquête zou kunnen worden gemeten;
2. de in het beoordelingssysteem gehanteerde maat voor de lawaai-sterkte moet praktisch bruikbaar zijn, dat wil zeggen zowel in bestaande situaties als voor toekomstige ontwikkelingen moet de lawaai-sterkte met niet meer dan redelijke inspanning kunnen worden gemeten c.q. worden voorspeld;
3. elke niet noodzakelijke complicatie in het systeem dient vermeden te worden;
4. voor zover mogelijk moet aansluiting worden gezocht met reeds bestaande beoordelingssystemen voor geluidhinder, zowel Nederlandse als buitenlandse;
5. met het beoordelingssysteem moet men grenswaarden kunnen vaststellen voor de belasting door wegverkeerslawaai in verschillende situaties, zoals woningen, ziekenhuizen, scholen, kantoren, industrieterreinen, recreatiegebieden enz.;
6. het systeem moet zich lenen voor zoneringsdoeleinden.

3. ALGEMENE ASPECTEN VAN DE GELUIDHINDER DOOR WEGVERKEER

Allereerst zij opgemerkt dat er geen duidelijk onderscheid kan worden gemaakt tussen geluidhinder en gezondheidsschade. Definieert men, in navolging van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) gezondheid als een toestand van volledig lichamelijk, geestelijk en sociaal welbevinden, dan houdt gezondheid zelfs de totale afwezigheid van hinder in. Gezondheid wordt dan een ideale, in het dagelijks leven vrijwel onbereikbare situatie. Een situatie van voortdurend gehinderd zijn kan echter - afhankelijk van andere omstandigheden, zoals lichamelijke en geestelijke conditie, familie-verhoudingen, geldzorgen enz., een mens dusdanig zwaar belasten dat hij geestelijk of lichamelijk ziek wordt: er is dan stellig sprake van schade aan de gezondheid, zonder dat de geluidhinder als de enige oorzaak beschouwd kan worden, zoals in het geval van acute voedselvergiftiging het opgenomen vergif. Het zal duidelijk zijn dat hieruit geen argumenten mogen worden ontleend om geluidhinder als een verwaarloosbaar, tóch maar subjectief ervaren verschijnsel te beschouwen dat geen serieuze bestrijding behoeft. Recente studies hebben aangetoond dat - in dit geval met betrekking tot vliegtuiglawaai - tussen overigens vergelijkbare woongebieden met veel respectievelijk weinig lawaai duidelijke, significante, verschillen bestonden wat betreft het gebruik van slaapmiddelen en het optreden van hart- en vaatziekten (6). Geluidhinderbestrijding is dus duidelijk een volksgezondheidsprobleem.

Verkeersgeluid van druk bereden wegen en straten kan in de omgeving hinder veroorzaken doordat

- het geluid bepaalde specifieke gevolgen heeft voor activiteiten als het voeren van gesprekken, het werken, het uitrusten, het slapen;
- de kwaliteit van de omgeving wordt aangetast, ook zonder dat hierbij sprake behoeft te zijn van specifieke storing van activiteiten.

Beperken wij ons tot de gevolgen voor de mens, dan is het duidelijk dat er steeds sprake is van een spreiding in de beleving van deze gevolgen: sommigen zijn gevoeliger voor geluid dan anderen. Dit geldt zowel voor de specifieke hinder (de gesprekstoring e.d.) als de niet-specifieke hinder (kwaliteitsverlies van de woonomgeving). Gebruikelijk is het bij onderzoeken de samenhang tussen geluidssterkte en gemiddelde hinder vast te stellen; dat wil zeggen men middelt over de effecten die men bij de proefpersonen constateert. Vervolgens wordt nagegaan welk gedeelte van de proefpersonen bij elke lawaai-belasting ernstig gehinderd wordt; de daaruit resulterende dosis-effect curve dient dan als basis voor het vaststellen van grenswaarden. Het zou uiteraard eenvoudiger zijn als het onderzoek uitsluitend gericht kan worden op de zg. geluidsgevoeligen. Dit is echter niet uitvoerbaar: men zou dan over maatstaven moeten beschikken om deze geluidsgevoeligen te scheiden van de anderen. Bovendien moet bedacht worden dat de geluidsgevoeligheid van elk individu aan variaties onderhevig is, afhankelijk van zijn lichamelijk en geestelijk welzijn.

De dosis-effect relatie voor de specifieke hinder kan door middel van laboratorium-onderzoek worden vastgesteld. De interpretatie daarvan is echter een verre van eenvoudige opgave. Immers de laboratoriumsituatie verschilt belangrijk van de woonsituatie, waardoor de resultaten van onderzoek in de ene situatie niet zonder meer toepasbaar zijn op de andere situatie. Men geeft daarom gewoonlijk de voorkeur aan de uitkomsten van enquêtes naar de omvang van de geluidhinder; de bij die enquêtes gemeten hinder wordt dan gerelateerd aan de sterkte van het verkeerslawaai. Is de correlatie tussen beide grootheden goed, en wordt bovendien aan een aantal andere, hier niet besproken eisen voldaan, dan kan gesproken worden van een bruikbaar beoordelingssysteem voor lawaai uit een oogpunt van geluidhinder. Men mag in het algemeen aannemen dat de omvang van de geluidhinder, veroorzaakt door een *bepaalde* geluidsbron, afhangt van de volgende factoren:

- de geluidssterkte;
- de duur van het geluid, of de veelvuldigheid bij geluiden van korte duur;
- de periode van het etmaal waarin het geluid voorkomt: overdag, 's avonds, 's nachts;
- het jaargetijde waarin het geluid voorkomt;
- het karakter van de woonomgeving;
- de betekenis van die bron voor de gehinderde ("associatie").

De bekende formule voor de zogenaamde totale lawaaibelasting door vliegtuigen, door TNO in opdracht van de adviescommissie "Geluidhinder door Vliegtuigen", onder voorzitterschap van prof.dr.ir. C.W. Kosten, ontwikkeld, bevat dan ook de meeste van deze factoren (7).

Deze lawaaibelasting wordt namelijk berekend uit

- het maximale geluidsniveau in dB(A) dat de overvliegende vliegtuigen elk ter plaatse veroorzaken
- hun totale aantal per jaar
- hun moment van overvliegen: overdag, 's avonds of 's nachts.

Deze lawaaibelasting bleek goed te correleren met de gemeten hinder in normale woonwijken in de omgeving van vliegvelden. Met het jaargetijde en met de aard van de woonomgeving wordt echter in deze formule geen rekening gehouden. Dit werd namelijk overbodig geacht: woonwijken in de omgeving van (drukke) luchthavens vertonen onderling geen grote verschillen; de variatie van de verkeersintensiteit over de seizoenen is voor de drukke luchthavens nagenoeg gelijk en behoeft derhalve niet afzonderlijk te worden verdisconteerd.

Ook het beoordelingssysteem voor geluidhinder dat men beschreven vindt in de internationale aanbeveling van de ISO: "Assessment of noise with respect to community response" (ISO R 1996/1971) (8) gaat van dezelfde principes uit.

Voor het wegverkeer zou men in eerste instantie geneigd zijn eenzelfde systeem te beproeven als het bovengenoemde systeem voor het luchtverkeer, waarvan de bruikbaarheid immers bewezen is. Er is daarbij echter een grote moeilijkheid; immers, bij luchtverkeer is er sprake van individuele vliegtuigen die ter plaatse gehoord worden, met perioden van rust tussen de vliegtuigbewegingen. Bij wegverkeer van drukke wegen of straten heeft men echter te doen met een welhaast ononderbroken verkeersstroom. De motorvoertuigen worden niet meer individueel gehoord. Er moet dus een alternatief worden gevonden voor de eerste twee hinderbepalende factoren - geluidsterkte en veelvuldigheid van voorkomen.

Men kan zich vervolgens afvragen of de geluidsterkte van de verkeersstroom wel zodanig met één enkel getal kan worden beschreven, dat de gewenste correlatie met de hinder kan worden verkregen. De geluidsterkte is duidelijk variabel, zowel over een korte periode bezien (door de verschillen in geluidsterkte van de individuele voertuigen die samen de verkeersstroom vormen en door toevallige hiaten in de stroom), als over een langere periode door de variaties in verkeersintensiteit over elk etmaal (spitsuur, dag-, avond- en nachtverkeer), over de dagen van de week (werkdagen, zaterdag, zondag) en over de seizoenen. Men kan de geluidsterkte op elk moment beschrijven met het geluidsniveau in dB(A): het spectrum van het verkeersgeluid is voldoende stabiel om deze benadering verantwoord te doen zijn. Slechts indien men situaties met gesloten vensters vergelijkt met situaties buitenshuis zij men voorzichtig, daar dan - door de frequentie-afhankelijke geluidsisolatie van de gevel - de hoge tonen in het verkeersgeluid meer worden verzwakt dan de lage tonen (9). Verkeersgeluid met een bepaald geluidsniveau bevat binnen derhalve minder hoge tonen dan hetzelfde verkeersniveau buiten.

Ook op zeer grote afstand van de weg (vele honderden meters) treden spectrumveranderingen op ten gevolge van de toenemende demping van het geluid bij hoge frequenties.

In eerste instantie is het geluidsniveau in dB(A) echter toch een goede maat voor de verkeersgeluidssterkte. Dit geluidsniveau wordt bepaald met behulp van een meetinstrument - een geluidsniveaumeter - dat een internationaal genormaliseerde frequentie karakteristiek (aangeduid als A-curve) bezit (10).

Het aanwijsinstrument dient een integratietijd van 100 milliseconden te bezitten; het is dan (ongeveer) even snel als het gehoor. Mede daardoor zijn de aanwijzingen van de niveaumeter en de subjectief waargenomen geluidssterkte redelijk goed met elkaar in overeenstemming. Op het meetinstrument is deze integratietijd aangeduid als "fast" of "fast response". Vaak kan men de aanwijzing ook trager maken, zodat een gemiddelde waarde van de geluidssterkte wordt bepaald. De integratietijd is dan één seconde; men spreekt van "slow" of "slow response".

In formulevorm kan men beide geluidsniveaus als volgt beschrijven:

$$L_{A, \text{ fast}} = 10 \log \frac{1}{100 \text{ ms}} \int_0^{100 \text{ ms}} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt$$

$$L_{A, \text{ slow}} = 10 \log \frac{1}{1 \text{ s}} \int_0^{1 \text{ s}} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt$$

Het zal duidelijk zijn dat bij een qua sterkte constant geluidsverschijnsel de geluidsniveaus "fast" en "slow" gelijk zijn; de integratietijd speelt dan geen rol. Varieert echter het geluid snel in sterkte, dan zal het geluidsniveau "fast" sterker fluctueren dan het geluidsniveau "slow".

Voor een volledige beschrijving van de geluidssterkte zou men dus een registratie van het geluidsniveau $L_{A, \text{ fast}}$ als functie van de tijd kunnen maken. Een voorbeeld van dergelijke registratie is in figuur 1 gegeven. Het betreft hier een situatie op wat grotere afstand van een druk bereden weg; alle ter plekke gehoorde geluiden waren van verkeer op die weg afkomstig. Men ziet dat het geluidsniveau een maximale waarde bereikt van ruim 70 dB(A); de minimale waarde is in dit geval 54 dB(A).

Met behulp van speciale apparatuur kan men een zg. *statistische analyse* van de geluidsniveaus maken: men stelt, naast de reeds genoemde maximale en minimale waarden, ook die waarden van het geluidsniveau vast die in bepaalde fracties van de totale meettijd worden bereikt of overschreden. Zo vindt men het L_{10} : het niveau dat slechts in 10% van de tijd werd bereikt of overschreden; het L_{50} , het L_{90} , enz..

In figuur 2 zijn deze waarden aangegeven.

Ook vindt men in deze figuur de waarde van het *equivalent geluidsniveau* (L_{eq}) aangegeven; die is bepaald door de integratie van p_A^2 over de gehele meettijd uit te voeren: men maakt als het ware de geluidsniveaumeter bijzonder traag ("super slow"). In formule:

$$L_{A, eq} = 10 \log \frac{T \int p_A^2 dt}{p_0^2 T}, \text{ waarin } T \text{ de meettijd voorstelt.}$$

De vraag is nu: kan voor het beschrijven van de sterkte van het wegverkeerslawaai - met de reeds besproken beperking tot verkeerslawaai van druk bereden wegen en straten - volstaan worden met een enkele parameter of is een combinatie van parameters noodzakelijk? En zo ja, wat is, respectievelijk wat zijn, die parameter(s)?

In het buitenland heeft men zich uiteraard eveneens over dit probleem gebogen; er zijn verschillende antwoorden gegeven op deze vraag:

- In Engeland werkt men gewoonlijk met L_{10} , hoewel daar bij een enquête naar de samenhang tussen hinder en sterkte van verkeerslawaai gevonden is dat een combinatie van L_{10} met L_{90} (de zg. Traffic Noise Index) beter met de gemeten hinder correleerde dan L_{10} alléén.
- In Frankrijk is L_{50} gebruikelijk; in Amerika worden op dit moment nog zowel L_{10} , L_{50} als L_{eq} naast elkaar gehanteerd; de ontwikkeling gaat evenwel in de richting van L_{eq} .
- In Oostenrijk, West-Duitsland en Zweden wordt met L_{eq} gewerkt.
- In Zwitserland gebruikt men als grootheden L_{50} en L_1 .

Vermeld zij nog dat de eerder genoemde ISO aanbeveling R 1996 als basisparameter voor de beschrijving van de sterkte van fluctuerend geluid het equivalente geluidsniveau L_{eq} aanbeveelt.

Door Robinson (NPL, Engeland) is enkele jaren geleden het zg. Noise Pollution Level als beschrijvende grootheid voor in sterkte fluctuerende geluiden voorgesteld (11); dit niveau is in principe gelijk aan het equivalente niveau vermeerderd met enkele malen de standaarddeviatie.

Tot nu toe is het in Nederland gebruikelijk bij verkeerslawaai te werken met L_{eq} .

Het zal uit deze opsomming reeds direct duidelijk zijn dat er blijkbaar geen overtuigende, doorslaggevende argumenten zijn aan te voeren voor de keuze van deze of gene parameter of combinatie van parameters; men mag immers niet veronderstellen dat men in sommige landen een bepaalde keuze zou hebben gedaan in strijd met zulke argumenten.

Wat is namelijk het geval? Gezocht wordt naar een parameter die de sterkte van het verkeerslawaai, afkomstig van druk bereden straten en wegen, op een zodanige wijze beschrijft, dat er een goed verband mag worden verwacht met de omvang van de hinder, zowel in termen van gemiddelde hinder als in termen van het percentage ernstig gehinderden. Nu is bekend dat - door de spreiding in de reactie van mensen op een bepaald agens (lawaai, luchtverontreiniging) - geen nauwkeurige dosis-effect relatie gevonden *kan* worden. Gewoonlijk vindt men correlatie-coëfficiënten in de orde van grootte van 0,35 als het gaat om lawaaierkterkte tegen individuele hinder, en van 0,9 als het gaat om lawaaierkterkte tegen gemiddelde hinder, waarbij over een groep mensen van enkele honderden individuen wordt gemiddeld. De genoemde parameters voor de sterkte van verkeerslawaai - L_{eq} , L_{10} , L_{50} - blijken nu onderling zó afhankelijk te zijn, dat het uitgesloten moet worden geacht via een enquête een eenduidig antwoord te verkrijgen op de vraag die wij ons stelden: welke parameter is "de beste".

De genoemde onderlinge afhankelijkheid van de parameters blijkt uit het volgende.

Wij analyseerden de resultaten van omstreeks 250 metingen van verkeersgeluid in de omgeving van wegen en straten; in elke situatie werd hierbij zowel de waarden van L_{eq} als - via een statistische analyse - de waarde van L_{10} en L_{50} bepaald. De afstanden tussen meetpunt en weg waren enkele tientallen tot enkele honderden meters; de verkeersintensiteit bedroeg enkele voertuigen tot enige honderden voertuigen per observatieperiode van 20 minuten. De uitkomst was:

- De samenhang tussen L_{eq} en L_{10} is de volgende:
 $L_{10} = 1,065 \times L_{eq} - 0,835$ met een correlatie-coëfficiënt van 0,99 en een standaardafwijking van 0,8 dB.
- De samenhang tussen L_{eq} en L_{50} is de volgende:
 $L_{50} = 1,252 \times L_{eq} - 20,95$ met een correlatie-coëfficiënt van 0,94 en een standaardafwijking van 2,2 dB.

De figuren 3 en 4 brengen dit resultaat in beeld.

Driscoll, Webster, Haag en Farinacci gingen in de Verenigde Staten eveneens na welk verband gevonden wordt tussen de statistische parameter L_{10} en het equivalente niveau (12), voor veertien typerende verdelingen, gedeeltelijk gemeten onder andere in een kantoor, in een sneeuwvoertuig, in een straat in een voorstad, bij een autosnelweg, op een winkelpromenade, gedeeltelijk aangenomen: een normale, een driehoekige en een Rayleigh verdeling. Hieruit volgde dat $L_{10} = L_{eq} + 3,6$ dB, met een standaard-afwijking van 0,8 dB. Voor ruim vijftig geluidsniveauperdelingen op bouwplaatsen vonden zij: $L_{10} = L_{eq} + 3,0$; standaard-afwijking: 1,5 dB. Tenslotte bleek voor de normale verdelingen dat het verschil $L_{10} - L_{eq}$ ten hoogste 3,5 dB bedraagt, en wel als de standaard-afwijking

van de verdeling rond 6 dB is. Bij zowel kleinere als grotere standaardafwijkingen neemt dit verschil af; het is gelijk 0 bij een standaardafwijking gelijk 0 (uiteraard; dan is het geluidsniveau immers constant!) en gelijk 11 (dan is er sprake van buitengewoon sterke niveaufluctuaties: deze zijn immers naar weerszijden ongeveer 2 maal de standaardafwijking groot!).

Mede op grond hiervan is er geen reden af te wijken van de tot nu toe in Nederland gebruikelijke procedure, waarbij als beschrijvende grootheid L_{eq} wordt gehanteerd.

Een tweede voordeel van deze grootheid is voorts, dat hij direct kan worden gemeten, zonder dat een statistische analyse noodzakelijk is. Er zijn hiervoor in de handel speciale instrumenten verkrijgbaar.

Voor de goede orde zij nog opgemerkt dat steeds bedacht moet worden dat wij de sterkte van het *wegverkeersgeluid* willen beschrijven; in werkelijkheid zal ter plaatse vaak ook ander geluid waarneembaar zijn, bijvoorbeeld vliegtuigen, spelende kinderen, treinen, regen of wind. Bij de metingen moet hier terdege op gelet worden: een microfoon kan nu eenmaal geen onderscheid tussen geluiden van verschillende herkomst maken. Zowel bij het meten van het L_{eq} als bij het maken van statistische analyses dient dus het meetsysteem uitgeschakeld te worden zodra andere geluiden het resultaat mogelijkerwijze kunnen beïnvloeden. Wil men bijvoorbeeld de sterkte van het verkeerslawaai, afkomstig van een grote autoweg meten, zoals dat doordringt in een nabijgelegen woonstraat, dan moet men dus de invloed van het verkeer in die woonstraat zelf uitschakelen; dit geeft in de praktijk natuurlijk moeilijkheden, doch die zijn onvermijdelijk. Bij de in dit hoofdstuk genoemde metingen treffen wij uiteraard in dit opzicht de noodzakelijke voorzieningen.

Figuur 5 geeft nog, ter illustratie, de waarde van het L_{eq} op 7,5 m afstand van een rijstrook, als functie van de verkeersintensiteit op die rijstrook.

4. ENQUÊTES NAAR HINDER DOOR VERKEERSLAWAAI

Een enquête is het aangewezen middel om de omvang van de geluidhinder in een bepaalde situatie vast te stellen; men krijgt betrouwbare resultaten indien bij opzet en uitvoering aan een aantal voorwaarden wordt voldaan. Zo dient men over een voldoende groot aantal ondervraagden in elke situatie te beschikken; de vragenlijst moet zorgvuldig worden opgesteld; de enquête dient "verhuld" te worden uitgevoerd; de onderzoeksituatie moet voldoende gestabiliseerd zijn. Uit de uitkomst van de enquête en de sterkte van het verkeerslawaai in die situatie volgt dan één punt van de dosis-effect curve.

Herhaling van het experiment in andere situaties, met als enig verschil een andere sterkte van het verkeerslawaai, geeft de mogelijkheid meer punten van deze curve te vinden. Het is duidelijk dat dit een grote moeilijkheid oplevert: situaties te vinden die geheel gelijk zijn, be-

halve wat betreft de sterkte van het verkeerslawaai ter plaatse. Bovendien moeten feitelijk ook de bewoners van de huizen onderling gelijk zijn, althans gemiddeld gesproken. Zou men dit niet mogen aannemen - zou bijvoorbeeld een natuurlijke selectie plaatsvinden in die zin dat in de huizen met veel verkeerslawaai minder geluidsgevoelige mensen wonen dan in huizen met weinig verkeerslawaai, doordat een aantal van hen door verhuizen het verkeerslawaai ontvlucht zijn of bij de keuze van hun woning rekening gehouden hebben met het verkeerslawaai - dan is het verkregen beeld van de dosis-effect curve een vertekend beeld. De gevonden curve loopt dan vlakker dan wanneer dit effect niet zou optreden.

Wij bespreken nu zeer beknopt de resultaten van de belangrijkste buitenlandse enquêtes op dit terrein.

- a) Londen, gerapporteerd in 1968 (13). Er werden 11 situaties onderzocht, met huizen op afstanden van 9 tot 35 meter van wegen. Men mat daar het L_{10} , het L_{50} en het L_{90} ; het L_{10} liep van 62 tot 69 dB(A), het L_{90} van 48 tot 54 dB(A). Deze waarden zijn betrokken op het gehele etmaal, zij werden verkregen door middeling van de voor elk uur gevonden waarden. De gemiddelde ontevredenheidsscore op een 7-punts dissatisfactie schaal bleek slecht met de drie grootheden te correleren; de correlatiecoëfficiënten waren respectievelijk 0,60; 0,45 en 0,26. Een combinatie van L_{10} en L_{90} gaf een veel betere correlatie: de zg. Traffic Noise Index (TNI), gedefinieerd als $TNI = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$ gaf een correlatiecoëfficiënt van 0,88. Het bleek voorts dat L_{eq} , eveneens bepaald over het gehele etmaal, een correlatiecoëfficiënt met de ontevredenheidsscore vertoonde van 0,68, dus aanmerkelijk lager dan de TNI en vergelijkbaar met de correlatiecoëfficiënt voor L_{10} . Dit laatste is, gezien hetgeen in hoofdstuk 3 werd vermeld, niet verwonderlijk.

Bestudering van de uitgangsgegevens leert echter het volgende. Slechts in vijf van de elf situaties was de verkeersintensiteit meer dan 12.000 motorvoertuigen per etmaal, of meer dan rond 1.000 voertuigen per uur overdag, respectievelijk meer dan 110 voertuigen per uur 's nachts. Dit betekent dat het onwaarschijnlijk is dat de verkregen waarden van L_{10} , L_{50} , L_{90} en L_{eq} in alle gevallen in werkelijkheid uitsluitend op de sterkte van dit verkeerslawaai betrekking hebben. Er werd immers steeds 100 seconden van elk uur een opname gemaakt; uit die 100 seconden (dus 2,8% van de totale tijd) werden de uurwaarden bepaald. Passeren echter in sommige uren minder dan 100 voertuigen per uur, dan zullen in 2,8% van de tijd slechts hooguit enkele auto's passeren. Vooral L_{90} zal dan bepaald worden door geluidsbronnen op grote afstand, wellicht niet door voertuigen op de weg in kwestie.

Voorts moet worden opgemerkt, dat alle situaties op minder dan 50 meter afstand van de weg gelegen waren. Ook wat dit betreft zijn de resultaten niet zonder meer toepasbaar op ons probleem: uit deze enquête krijgt men namelijk direct een antwoord op de vraag: "Hoeveel hinder door wegverkeerslawaai treedt op in huizen op hooguit 50 meter van een weg?" en kan mede op grond daarvan de toelaatbare intensiteit bepalen. Ons probleem is echter anders: "Hoeveel hinder

door wegverkeerslawaai treedt op in huizen in de omgeving van wegen met een gegeven - hoge - verkeersintensiteit?" om mede op grond van dat antwoord de minimale afstand c.q. de noodzakelijke aanvullende voorzieningen te bepalen. Overigens kan uit de resultaten wél worden afgeleid dat in alle situaties met druk verkeer de hinder groot was: de gemiddelde dissatisfactie-score lag bij elke situatie rond 4,5 of meer. Let wel: een score van 1 betekent: "definitely satisfactory"; een score van 7 betekent: "definitely unsatisfactory".

Rekent men de waarde van de TNI uit voor een paar door ons onderzochte situaties dan vindt men:

1. Op 15 meter afstand van rijksweg 13 bij Delft: TNI = circa 85; de daarbij behorende dissatisfactie-score zou circa 4,8 zijn.

Zou echter op deze rijksweg het nachtverkeer sterk toenemen, terwijl de dagintensiteit dezelfde zou blijven, dan zou de waarde van de TNI dalen; bij gelijke dag- en nachtintensiteit wordt TNI = circa 76, de score circa 3,8. Zou het dagverkeer afnemen tot de nu heersende nachtintensiteit, dan groeit TNI tot 115, met een score van meer dan 6!

Hoewel dit natuurlijk extreme, niet realistische gedachten-experimenten zijn, blijkt hieruit wel een belangrijk nadeel van de TNI: men moet immers verwachten dat bij een toename van het nachtverkeer de hinder juist stijgt, terwijl een afname van het dagverkeer de hinder moet doen afnemen.

2. Aan de Laan van Nieuw-Oosteinde te Voorburg werd enige jaren geleden een TNI ad circa 79 vastgesteld; dit zou een score van circa 4 geven. Dit lijkt niet onredelijk.

- b) Frankrijk: twee enquêtes, en wel de eerste in 1967 met 370 ondervraagden in de omgeving van "autoroutes" (14) de tweede in 1972 met 700 ondervraagden in Parijs en haar voorsteden (15). Voor het onderhavige onderwerp is de eerste enquête het belangrijkste; men vond een correlatie tussen L_{50} en de individuele (!) hinderindex die, voor de meetpunten met meer dan 2.000 voertuigen per uur, 0,61 bedroeg. Deze meetpunten lagen in het gebied van 53 tot 71 dB(A) (L_{50} !).

De hinderschaal bij dit onderzoek liep van 0 (geen enkel bevestigend antwoord op de vragen naar specifieke hinder) tot 10 (alle vragen bevestigend beantwoord). De gemiddelde index was 2,5 bij circa 63,5 dB(A), 5 bij ca. 67 dB(A) en 7,5 bij circa 75 dB(A).

Bij de tweede enquête zijn typische stadssituaties onderzocht; hierbij kan eigenlijk nauwelijks gesproken worden van een onderzoek naar de hinder door verkeerslawaai van bepaalde, identificeerbare wegen; het verkeersgeluid op elke locatie vond zijn oorsprong grotendeels in het verkeer door de straat zelf, of door straten in de directe omgeving. Het is derhalve niet verwonderlijk dat er geen duidelijk verband tussen hinderscore en akoestische parameter gevonden werd, welke parameter men ook gebruikte (L_{10} , L_{50} , L_{eq});

de correlatie-coëfficiënten bedroegen rond 0,32. De TNI bleek hier veel minder goed te functioneren dan bij de Engelse enquête: hij leverde een correlatie-coëfficiënt van slechts rond 0,27.

Opmerkelijk was dat er geen verband gevonden kon worden tussen de via de enquête bepaalde nachtrust-storing en de 's nachts vastgestelde geluidsniveaus.

- c) Oostenrijk, 1964 (16). 400 personen werden ondervraagd, waarvan 265 in woningen, 100 in kantoren en 35 in scholen (onderwijskrachten). Ook hier betreft het echter verkeerslawaaï in typische stadsituaties, zonder identificeerbare drukke straten of wegen als lawaaïbron. Er werd een redelijk samenhang gevonden tussen de mate van storing (niet of nauwelijks gestoord - gestoord - sterk of ondraaglijk gestoord) en de waarde van L_{eq} .
- d) Zweden. In 1966/1967 werd hier een onderzoek ingesteld naar de hinder van verkeerslawaaï in woongebieden langs hoofdverkeerswegen (17). Dit onderzoek is derhalve bij uitstek relevant voor het onderhavige probleem.

Hoofddoel van het onderzoek was een empirische basis te verkrijgen voor grenswaarden voor de hoeveelheid lawaaï die in woningen kan worden toegelaten; daartoe trachtte men de dosis-effect relatie voor het lawaaï van hoofdverkeerswegen te vinden. Het resultaat was een duidelijk verband tussen hinder en L_{eq} , bepaald buiten de woning over een periode van 24 uur, voor waarden van het L_{eq} tussen 50 en 70 dB(A). Bij 50 dB(A) ondervindt omtreeks 10% van de ondervraagden ernstige hinder; bij 60 dB(A) is dit percentage: 30. Zie figuur 6 voor een illustratie van dit resultaat.

- e) West-Duitsland (18). Zeer recent zijn de eerste resultaten bekend geworden van een enquête in München. Hieruit kan worden afgeleid dat het L_{eq} een goede maat is gebleken voor de sterkte van het wegverkeersgeluid.

Verdere belangrijke conclusies uit dit laatste onderzoek zijn:

- bij een L_{eq} tengevolge van het verkeer, buiten, voor de gevel gemeten, overdag, van circa 52 dB(A) begint hinder op te treden, zowel bij geopend als bij gesloten venster. Natuurlijk zijn de niveaus in de woning aanmerkelijk lager bij gesloten venster dan bij geopend venster; bij betrekkelijke lage geluidsniveaus (L_{eq} circa 50 dB(A) of minder) buiten houdt men echter blijkbaar met het oordeel: "hinder of geen hinder" volledig rekening met de omstandigheid "venster open of venster dicht". Zoals in de volgende hoofdstukken wordt toegelicht is er bij deze niveaus namelijk geen sprake van duidelijk functie-storing binnenshuis.
- bij hogere waarden van het L_{eq} zijn de percentages "sterk gehinderden" als volgt:

L_{eq}	dagsituatie:	
	bij open venster sterk gehinderd	bij gesloten venster sterk gehinderd:
60 dB(A)	20%	3%
70 dB(A)	63%	21%
75 dB(A)	73%	23%
	nachtsituatie:	
55 dB(A)	7%	3%
65 dB(A)	53%	13%

Onder sterk gehinderd worden hierbij diegenen verstaan, die vermeldden dat door het verkeerslawaaï "geen concentratie mogelijk was, het hen nerveus maakte, dat zij niet konden inslapen, en/of 's nachts dikwijls wakker werden". Dit was de ernstigste mate van gehinderd zijn die men kon opgeven.

De figuren 7 en 8 illustreren een en ander. De vermelde waarden van het L_{eq} hebben betrekking op de etmaalperioden 6 u tot 22 u (dagsituatie) respectievelijk 22 u tot 6 u (nachtsituatie).

- Er waren verschillen in de indeling van de woningen van de ondervraagden. Maakt men een onderverdeling van de resultaten naar het aantal kamers aan de straatzijde, dan blijkt dat, bij $L_{eq} = 65$ dB(A), overdag, open venster, van alle ondervraagden 42% sterk gehinderd is; van hen wier woningen geen woon- of slaapkamer aan de straatkant hebben 14% sterk gehinderd is; van hen in wier woningen woon- en slaapkamer aan de straatzijde liggen 56% sterk gehinderd is.

Voor de nachtsituatie geldt, bij een $L_{eq} = 57$ dB(A), gesloten venster: dat van alle ondervraagden 5% sterk gehinderd is;

indien zich geen kamers aan de straatzijde bevinden, 1% en

indien zich woon- en slaapkamer aan de straatzijde bevinden, 13% sterk gehinderd is.

Door dit effect geven de overige tabellen derhalve een wat te rooskleurig beeld. Bij deze enquête hadden circa 22% van de ondervraagden een woning zonder woon- of slaapkamer aan de straatzijde. Het percentage woningen in Nederland dat geen woon- of slaapkamer aan de straatzijde heeft is waarschijnlijk aanzienlijk kleiner.

Als hoofdconclusie uit deze buitenlandse onderzoeken zouden wij willen stellen, dat

- indien het geluidsniveau L_{eq} buiten de woningen, overdag, 40 à 45 dB(A) bedraagt, is de hinderomvang waarschijnlijk verwaarloosbaar;
- indien dit geluidsniveau een waarde van 70 à 75 dB(A) te boven gaat kan verwacht worden dat meer dan de helft van de bewoners zich ernstig door het verkeerslawaaï gestoord voelt;

- de enquêtes geven geen definitief houvast bij de keuze van de maat voor de verkeerslawaaiersterkte; voor zover situaties met hinder door het verkeersgeluid van druk bereden wegen en straten onderzocht zijn, blijkt het L_{eq} goed te voldoen, evenals de daarmee dan nauw gecorreleerde maten L_{10} en L_{50} .

5. ISO R/1996-1971 EN DE GELUIDHINDER DOOR HET WEGVERKEER

De aanbeveling R 1996 van de ISO (8) is blijkens de "scope" van dat document zonder meer van toepassing op verkeerslawaaier van druk bereden wegen en straten. Kort samengevat is de inhoud de volgende, waarbij die delen die niet voor ons onderwerp relevant zijn onvermeld blijven.

1. Men meet of berekent de waarden van L_{eq} van het te beoordelen verkeersgeluid in de te beoordelen situatie, buiten de woning: 1,2 à 1,5 m boven de grond, en minstens 3,5 m van de gevel. Eventueel wordt ook op grotere hoogten gemeten, of dichterbij de gevel. Binnen de woning wordt op minstens 1 m van de muren, en op circa 1,5 m van de vensters gemeten.

De meting c.q. berekening dient betrekking te hebben op een zo lange tijdperiode, dat variaties in de sterkte blijken. Voor verkeerslawaaier kan men dus bijvoorbeeld een dag-, een avond- en een nachtwaarde bepalen.

2. Men meet het zg. achtergrondgeluidsniveau in de te beoordelen situatie, bij afwezigheid van het te beoordelen geluid. Dit achtergrondgeluidsniveau is gedefinieerd als het L_{95} . Zowel bij de meting onder 1 als die onder 2 wordt het A-filter van de geluidsniveaumeter gebruikt; men verkrijgt dus geluidsniveaus in dB(A).
3. De beoordeling heeft plaats op basis van het verschil tussen het L_{eq} als bij 1. verkregen en het L_{95} dat uit de meting sub 2. volgt. Is $L_{eq} \leq L_{95}$, dan wordt geen noemenswaardige reactie van de bewoners ("community") verwacht; naarmate L_{eq} meer boven L_{95} ligt is een sterkere reactie te verwachten: Bij toenemende hinder, meer klachten en sterkere actie.
4. Indien een directe meting van L_{eq} en/of van L_{95} niet mogelijk is, is men uiteraard aangewezen op berekening. Voor L_{eq} kan een meting dichterbij de weg worden uitgevoerd. Herleiding van het resultaat naar de situatie die beoordeeld moet worden is dan nodig, op grond van de bekende of alsnog te bepalen geluidoverdracht-gegevens. Men kan ook met de inmiddels ontwikkelde rekentechnieken deze waarde bepalen. Voor L_{95} kan dit uitgevoerd worden door hetzij gegevens te gebruiken die verkregen zijn in een andere duidelijk vergelijkbare situatie, zonder een druk bereden weg of straat in de buurt, hetzij door uit te gaan van richtlijnen, zoals deze voor planologische doeleinden zijn opgesteld. R 1996 geeft hiervoor een aanzet; gesteld wordt dat men, uitgaande van een bepaalde basiswaarde, die gewoonlijk 35 à 45 dB(A) bedraagt, specifieke grenswaarden kan vaststellen, te gebruiken in plaats van een ter plekke gemeten

waarde van L_{95} , voor verschillende woonomgevingen. Aldus ontstaat de volgende tabel. Wij gaan hierbij uit van een basis-waarde van 40 dB(A). Achtereenvolgens noemen wij de dag-, avond- en nachtwaarden.

Woningen op het platteland, herstellingssoorden, stiltere recreatie	40/35/25 à 30
Buitenwijken, weinig wegverkeer	45/40/30 à 35
Woonwijken in steden	50/45/35 à 40
Woonwijken met enkele werkplaatsen of bedrijven, of met doorgaande hoofdstraten	55/50/40 à 45
Stadscentra	60/55/45 à 50

5. Bijzondere aandacht verdient de categorie: "woonwijk met enkele werkplaatsen of bedrijven, of met doorgaande hoofdstraten". Het is duidelijk dat hier gedacht moet worden aan de naaste omgeving van deze hoofdstraten: het leven is daar bedrijviger dan in de rustige buitenwijk, hetgeen leidt tot meer geluid en een hogere waarde van L_{95} . Doordat echter de laatste decennia de verkeersintensiteit sterk is toegenomen en bovendien de vervoersmiddelen zelf allengs meer geluid zijn gaan produceren (enkele uitzonderingen daargelaten) is het L_{eq} van het verkeer bij de huizen langs de hoofdstraat vaak gestegen tot meer dan 65 dB(A), met een duidelijke toename van de hinder ten gevolge hebbende. Er wordt soms gedacht dat men zonder meer een grenswaarde van 55 dB(A) zou kunnen hanteren bij het beoordelen van de geluidimmissie van nieuw aan te leggen auto-wegen of stads-autowegen. Men denkt dan dat de dichtstbijzijnde woonwijk een "woonwijk met doorgaande hoofdstraat" wordt. Dit is niet juist. De aanwezigheid van een dergelijke weg op korte afstand van een wijk verandert op zichzelf het karakter van die wijk in het geheel niet. Het kan nog steeds een rustige woonwijk zijn, die dan blootgesteld wordt aan het lawaai afkomstig van die weg. Hinder blijft dan ontstaan, tenzij men door passende maatregelen deze immissie beneden het "eigen" L_{95} weet te houden, dus beneden zeg 45 dB(A). Bij een zorgvuldige toepassing van R 1996 kan ook in die gevallen waar de invloed van geluid afkomstig van druk wegverkeer beoordeeld moet worden een zinvol en betrouwbaar antwoord verkregen worden. Men realiseer zich echter dat elke norm in eerste instantie bedoeld is voor de specialist op het betreffende terrein, niet voor een leek. Toepassing van een norm anders dan op basis van een grondige kennis van de problematiek leidt onvermijdelijk tot fouten.

6. BENADERING VANUIT FORMULERING FUNCTIONELE EISEN

Uit de publicaties over de geluidhinder door verkeersmiddelen - wegverkeer, luchtverkeer, railverkeer - blijkt duidelijk dat belangrijke oorzaken van geluidhinder zijn: storing van de mondelinge communicatie en storing van rust en slaap. In dit hoofdstuk willen wij nagaan wat in dit opzicht aan gegevens voorhanden is en bruikbaar kan zijn voor het formu-

leren van het gezochte beoordelingssysteem voor wegverkeerslawaai van druk bereden wegen en straten.

Allereerst dient opgemerkt dat zeer veel onderzoek is verricht over de *invloed van stoorgeluid op de verstaanbaarheid van het gesproken woord* in pure laboratorium-situaties. Daarbij werd met proefpersonen nagegaan welk percentage al of niet zinloze woorden of lettergrepen juist werden verstaan bij verschillende sterkten en verschillende spectra van het stoorlawaai. De proefpersonen trachten daarbij zo goed mogelijk uit de bus te komen; zij kunnen voorts hun volledige aandacht aan *het verstaan zelf* geven. In de werkelijkheid van het dagelijkse leven gaat het echter meestal niet om het verstaan alléén: de inhoud van het gesprokene moet begrepen worden, er dient op gereageerd te worden, enz.. Daardoor is slechts een gedeelte van de aandacht beschikbaar voor de zuivere "verstaan-functie". De consequentie hiervan is dat de spraakverstaanbaarheidscriteria en de daarop gebaseerde grenswaarden, afgeleid uit dit soort laboratoriumproeven, ten enenmale onvoldoende stringent zijn voor de meeste praktijksituaties. Helaas is nog weinig onderzoek verricht naar wat wel genoemd wordt het spraakcomfort als functie van storende invloeden als lawaai, echo's, galm en dergelijke, waarbij de proefpersoon dus niet de opdracht krijgt om alleen maar te trachten te verstaan, doch in een meer met de werkelijkheid overeenkomende situatie wordt geplaatst. Bij gebrek aan deze gegevens lijkt het verstandig toch de relatie spraakverstaanbaarheid/lawaai-sterkte te gebruiken, doch de grenswaarden te leggen bij een dusdanig laag lawaainiveau dat geen enkel spraakverstaanbaarheidsverlies behoeft te worden geducht. Men heeft in de loop der jaren verscheidene systemen ontwikkeld voor de berekening van de spraakverstaanbaarheid in aanwezigheid van stoorlawaai. De wetenschappelijk fraaiste is wel die op grond van de zg. Articulatie-Index. Daarbij wordt het frequentiegebied van de spraak (200 Hz tot 6000 Hz) in twintig frequentiebanden verdeeld. Elke band levert een gelijke bijdrage tot de verstaanbaarheid. Men gaat dan na hoe sterk in elke band het stoorgeluid is ten opzichte van het spraakgeluid. Deze sterkteverhouding geeft aan het verlies aan verstaanbaarheid in die band. Dit verlies is volledig (dus de bijdrage van die band is nul) indien het stoorgeluid 12 dB of meer sterker is dan het spraakgeluid; het verlies is nul (dus de bijdrage is maximaal) wanneer het stoorgeluid 18 dB of meer zwakker is dan het spraakgeluid. Sommatie van de verliezen over alle banden geeft het totale verlies aan verstaanbaarheid.

Andere methoden voorspellen het verlies aan spraakverstaanbaarheid door middeling van de octaafbandniveaus van het stoorgeluid (het zg. Speech Interference Level, afgekort SIL) of - nog eenvoudiger - zij gaan uit van het geluidsniveau in dB(A), dB(B) of dB(C) van het stoorgeluid. Men komt dan tot een curve als in figuur 9 is weergegeven.

De Amerikaanse onderzoekers Webster en Klumpp hebben de verschillende methoden vergeleken (19). Proefpersonen moesten 50% van het aangeboden woordmateriaal juist verstaan; daartoe werd van 16, qua spectrum, verschillende soorten stoorgeluid de sterkte gevarieerd. Het bleek dat AI en SIL van de stoorgeluiden daarbij een standaarddeviatie van 2,5 dB vertoonden; het geluidsniveau in dB(A) 4,5 dB; de geluidsniveaus in dB(B) en in dB(C) vertoonden een nog grotere standaarddeviatie.

Het is duidelijk dat wanneer in de te beoordelen situaties het stoorge-luid steeds hetzelfde spectrum bezit, dus alleen in sterkte verschillend is, de methoden onderling geheel gelijkwaardig zijn. Men kan dan volstaan met één enkele sterktemaat; welke maat men kiest is niet relevant. Verkeerslawaaï heeft echter niet steeds hetzelfde spectrum:

- vlakbij de weg is het gehalte aan hoge tonen duidelijk groter dan op grotere afstand;
- afschermingen en gesloten gevels verzwakken de hoge tonen meer dan de lage tonen; achter gebouwen en in woningen met gesloten vensters vindt men dus relatief veel lage tonen en relatief weinig hoge tonen.

Daarom is nagegaan welke fout zou worden gemaakt wanneer deze spectrumveranderingen worden verwaarloosd. Het bleek dat voor afstanden tot 250 meter van de weg lucht- en bodemdemping in dit opzicht geen significante invloed hebben: het geluidsniveau in dB(A) is een even goede "voorspeller" van de spraakverstaanbaarheid als de AI, die van het werkelijke spectrum uitgaat. Bij grotere afstanden loopt de zaak mis indien zowel weg als waarnemingspunt zich op maaiveld-niveau bevinden. Dan behoort bij een bepaalde waarde van de AI een 5 dB(A) hoger geluidsniveau. De meeste doorgaande wegen liggen echter verhoogd. Bovendien worden de akoestische eisen niet alleen aan de begane-grond situatie, doch ook aan situaties op de hogere verdiepingen van een bouwwerk gesteld. Daar blijkt het geluidsniveau in de dB(A) wèl weer een goede "voorspeller" te zijn. Vervolgens hebben wij ons afgevraagd wat de consequenties zijn voor de situaties binnenshuis.

Zolang het om normale gevels gaat, waarbij in de gevel openingen voorkomen (kieren en spleten langs ramen en langs kozijnen, enigszins geopende ramen voor frisse lucht), is de invloed op het spectrum verwaarloosbaar. Dan blijft het geluidsniveau in dB(A) een goede maat. Slechts bij hermetisch gesloten gevels is dit niet meer het geval. De afwijkingen zijn dan echter - net als bij de situatie "ver weg, op maaiveld-niveau" - naar de veilige kant, dat wil zeggen de spraakstoring is wat geringer dan op grond van het aantal dB(A) verwacht zou worden.

Op grond van deze overwegingen stellen wij voor de verkeerslawaaïsterkte ook met het oog op de verstaanbaarheid te beschrijven in termen van het geluidsniveau in dB(A). Op grond van hetgeen in hoofdstuk III van dit rapport werd opgemerkt, is niet te verwachten dat de fluctuaties in de geluidsterkte afzonderlijk in rekening moeten worden gebracht. Volstaan kan worden met een enkele maatstaf, bij voorkeur het $L_{A, eq}$. Onbekend is echter in welke mate bij een bepaalde waarde van dit niveau de spraakverstaanbaarheid, laat staan het luistercomfort, kleiner (of eventueel groter) zal zijn dan bij een gelijk aantal dB(A) van een geluid dat in sterkte in het geheel niet varieert. Het lijkt niet onredelijk voorlopig een reserve hiervoor in acht te nemen. Dit kan echter bij het vaststellen van de grenswaarden geschieden.

Wat is nu de spraakstoring als functie van dit geluidsniveau? Het spreekt vanzelf dat hierbij nog andere factoren een rol spelen. De afstand tussen spreker en luisteraar, de akoestische omgeving (veel of weinig galm, en de sterkte waarmee gesproken wordt. Wat het laatste

facet betreft moet opgemerkt worden dat men constateren kan dat in rumoeriger omgevingen luider wordt gesproken dan in stille omgevingen - de spreker past zich gedeeltelijk aan de lawaaisterkte aan. Zo blijkt het mogelijk nog een gesprek te voeren tot op een afstand van één meter bij een geluidsniveau van ruim 70 dB(A); bij 30 cm afstand is dit ruim 80 dB(A). Dit zijn echter bepaald niet de normale omstandigheden in woningen.

Classificeren wij de verstaanbaarheidskwaliteit als volgt:

Articulatie-Index gelijk 1: uitstekend

"	"	groter dan 0,8: goed
"	"	0,6 tot 0,8: redelijk
"	"	0,4 tot 0,6: matig
"	"	0,2 tot 0,4: onvoldoende
"	"	kleiner dan 0,2: slecht

dan kan men uitrekenen wat de bijbehorende geluidsniveaus(A) van het verkeerslawaaï zijn, onder de volgende veronderstellingen:

Afstand spreker - luisteraar circa 4 meter; normale woonkamer, normale gevel met enigszins geopend venster. Het resultaat geeft figuur 10. Hierbij is uitgegaan van gegevens omtrent de sterkte van de spraak vermeld in (20). Dit betreft spraak van gemiddelde sterkte.

Bij kleinere afstanden tussen spreker en luisteraar worden de toelaatbare geluidsniveaus uiteraard hoger, bij grotere afstanden nemen zij af. Aldus kan men uit de dosis-effect curve voor de spraakverstaanbaarheid in de woonkamer-situatie ook de dosis-effect curve voor wandelaars buiten (afstand zeg één meter) en die voor schoollokalen (afstand zeg 8 meter) afleiden. Zoals reeds vermeld gelden deze curven voor de normale situatie: afstanden tot de weg niet te groot, niet vlak boven het maaiveld.

Men kan op analoge wijze nagaan wat de invloed is van verkeerslawaaï op het beluisteren van muziek. Ook daar geldt dat, zolang de zwakste componenten van het signaal niet gemaskeerd worden door het verkeerslawaaï, geen kwaliteitsverlies zal optreden. Naarmate dit wel het geval is, neemt het kwaliteitsverlies toe. Nu is bij muziek de sterkteverhouding tussen de krachtigste en de zwakste componenten groter dan bij spraak; dit zg. dynamisch bereik kan meer dan 40 dB(A) beslaan. Van muziek die langs elektronische weg wordt overgebracht (grammofoon, radio, TV, tape) wordt het bereik kunstmatig beperkt tot omstreeks 40 dB(A), om storing te vermijden tengevolge van de eigen ruis van het overdrachtssysteem. Bij spelen op muziekinstrumenten in de woning (viool, blokfluit, piano) is het dynamisch bereik circa 50 dB(A). Beperkt men nu de sterkste passages tot 75 dB(A) - zulks om overlast voor de bureu te vermijden - dan zijn de zwakste componenten dus 25 tot 35 dB(A), van "levende" respectievelijk elektronisch overgebrachte muziek. Verkeersgeluid van deze sterkten is dan dus net enigszins storend.

Eenzelfde redenering kan worden gevolgd met betrekking tot het beluisteren van het gesproken woord via de radio, men zal dan een zodanige sterkte kiezen dat eventuele opmerkingen van kamergenoten nog verstaanbaar zijn, dat wil zeggen een gemiddelde spraaksterkte die overeenkomt met de normale spraaksterkte bij gesprekken. Men heeft dan bovendien de zekerheid dat men eventuele burens niet stoort. Immers bij een normale geluidsisolatie tussen woningen - niet wezenlijk onder de minimum-eisen van NEN 1070 voor woningen in de klasse "matig" - zijn gesprekken in het ene huis niet onhoorbaar in het buurhuis. Een radio die op de sterkte van een normaal gesprek speelt is dit dus evenmin. Luid spreken (zoals bij feestjes) of een luid spelende radio is wel hoorbaar - en dus hinderlijk! - in deze situatie.

Een recent in Engeland uitgevoerd onderzoek (21) bevestigt bovenstaande conclusies. Men heeft daar 26 proefpersonen met redelijk goed gehoor de volgende taken uit laten voeren:

- a) men moest in een rustige omgeving het geluidsniveau van een met een luidspreker weergegeven spraaksignaal op een prettige sterkte instellen. Het signaal was een mannenstem die een kort verhaal voorlas.
- b) Er werd vervolgens in de luisterruimte kunstmatig verkeerslawaai geproduceerd; men moest de sterkte van dit verkeerslawaai zo ver opvoeren dat het juist begon te ontspannen en plezierig luisteren te verstoren; de instructie luidde letterlijk "we want you to adjust its level until it just starts to interfere with your ability to relax and enjoy listening". Hierbij werd het spraakniveau op een constante waarde ($L_{10} = \text{dB(A)}$) ingesteld. Deze was voor alle proefpersonen dezelfde.

Men gebruikte verschillende soorten verkeerslawaai, elk bestaande uit een continue achtergrondgeluidsniveau - voorstellend een continue verkeersstroom op wat grotere afstand - met daaroverheen met verschillende sterkten (5 of 20 dB boven het achtergrondgeluidsniveau) het geluid van passerende vrachtauto's, op onderling verschillende afstanden (5 seconden, 15 seconden of 40 seconden).

Ook de duur van elke geluidspiek werd gevarieerd (5 of 15 seconden). Alle bekende maatstaven werden toegepast bij de beschrijving van de verkeerslawaai-sterkte.

De resultaten waren:

- ad a) in de rustige omgeving stelde men het L_{10} van de spraak in op circa 49 dB(A);
- ad b) het L_{10} bleek de beste "beschrijver" te zijn van de sterkte van het verkeerslawaai waarbij juist storing begint op te treden; deze sterkte lag bij 48 dB(A); de onderzoekers leiden hieruit af dat "a probable acceptable indoor noise level for listening to speech is of the order of 45 dB(A) (L_{10})". Deze waarde geldt bij een spraakniveau van 54 dB(A) (L_{10}).

Een L_{10} van 45 dB(A) komt overeen met een L_{eq} van rond 43 dB(A); laatstgenoemde waarde is dan de grens van aanvaardbaarheid voor luisteraars met goede oren. Zoals Plomp heeft aangetoond (22) hebben mensen met gehoorverliezen - door leeftijd of door andere oorzaken - behoefte aan omstreeks 7 dB méér afstand tussen spraaksignalen en stoorsignalen. Dit brengt de grens van volledige aanvaardbaarheid op de reeds eerder aangegeven waarde van omstreeks 35 dB(A). Als men uitgaat van de door de proefpersonen geprefereerde waarde van het spraakniveau (L_{10}) circa 49 dB(A), dus 5 dB(A) minder dan bij de proeven sub b) dan komt men voor normaal horenden op een aanvaardbaarheidsgrens van rond $43 - 5 = 38$ dB(A) (L_{eq} !).

Gezien de betrekkelijk geringe spreiding tussen de uitspraken van de bij dit onderzoek betrokken proefpersonen hoeft niet te worden gevreesd dat bij een herhaald onderzoek op grotere schaal, waarbij meer proefpersonen zouden worden betrokken, wezenlijk andere conclusies zouden worden gevonden.

Over de mogelijkheid telefoongesprekken te voeren in aanwezigheid van stoorgeluiden is vrij veel bekend. Uit de gegevens kan afgeleid worden dat - indien men ook bij slechte verbindingen de andere partij wil kunnen verstaan - dezelfde maatstaven kunnen worden aangelegd als bij directe gesprekken: L_A 35 dB(A) of minder: verstaanbaarheid uitstekend; L_A omstreeks 50 dB(A): verstaanbaarheid matig; L_A 65 dB(A) of meer; verstaanbaarheid slecht.

De sterkte van de normale waarschuwingssignalen thuis - huilende kinderen, wekkers, deurbellen e.d. - is feitelijk aangepast aan de goede woon-situatie. Vaak zal de geluidsbron zich in een andere ruimte bevinden dan degene die gewaarschuwd moet worden; de niveauverschillen tussen ruimten in een woningen kunnen tot 40 dB(A) bedragen. Een waarschuwingssignaal van de sterkte van zeg 65 dB(A) in de "zendkamer" - om aldaar nog op te vallen tijdens een periode van activiteit (gesprek, muziek) - is dan juist hoorbaar in de andere vertrekken, indien daar het achtergrondgeluidsniveau ten hoogste 35 dB(A) bedraagt. Let wel: deze waarschuwingssignalen zijn herkenbaar óók als hun niveaus tot maximaal 10 dB onder het achtergrondgeluidsniveau liggen, door hun eigen karakter (rythme, spectrum).

Wat betreft de *invloed van verkeerslawaai op de slaap* kan het volgende worden vermeld:

Na meer dan vijftien jaar onderzoek naar de fysiologische gevolgen of effecten van lawaai tijdens de slaap is het nog steeds niet duidelijk welke fysiologische grootheden de behoefte aan slaap en de slaapkwaliteit bepalen.

Als middel om dergelijke effecten te bestuderen is tot nu toe steeds het electro-encefalogram (EEG) gebruikt. In het slaap-EEG worden, op grond van het al of niet aanwezig zijn van bepaalde karakteristieke golfpatronen, verschillende slaapstadia onderscheiden, te weten W(wakker), 1, 2, 3, 4 en REM (Rapid Eye Movements).

Na inslapen (W en 1) treden de overige slaapstadia in min of meer regelmatige cyclische afwisseling op, de grafische voorstelling van dit cyclische verloop wordt slaappatroon genoemd.

Aanvankelijk leken de hoeveelheden stadium 4 en stadium REM bepalend voor een goede nachtrust. Bij beroving van deze slaapstadia treedt een inhaaleffect op en ook werden verbanden gevonden met een verminderd welbevinden overdag. Deze laatste bevindingen zijn echter in latere onderzoeken weer ter discussie gesteld en tegenwoordig wordt dan ook bij het slaaponderzoek tevens naar andere grootheden in slaap-EEG en slaappatroon gekeken. (Een nog te weinig ingebouwde factor is bovendien de gewenning).

Op grond van fysiologische gevolgen kunnen dus vooralsnog geen uitspraken worden gedaan over toelaatbare geluidsniveaus tijdens de slaap. Normen voor toelaatbaarheid van verkeerslawaaï tijdens de slaap moeten daarom voorlopig gezocht worden in de relatie tussen het lawaainiveau en de subjectieve reacties daarop.

De gerapporteerde slaapklachten hebben meestal betrekking op het inslapen bij het begin van de nachtrust en het niet meer kunnen inslapen na vroegtijdig ontwaken. Wanneer dit leidt tot een vermindering van de gebruikelijke slaapduur, gebruik van slaapmiddelen of gebruik van kalmerende middelen is de hinder evident. Afgezien daarvan zou, door het "meer moeite moeten doen" om in slaap te vallen en de slaap te handhaven, sprake kunnen zijn van een verhoogde psychische belasting. In hoeverre dit op langere termijn tot overbelasting zou kunnen leiden is nog onbekend.

In die grootte van de subjectieve reacties is, gezien de resultaten van buitenlandse onderzoeken, veel spreiding. Een nader onderzoek in Nederland, in een epidemiologisch kader, lijkt daarom aan te bevelen. Juist omdat over de fysiologische gevolgen en de psychologische gevolgen op lange termijn nog te weinig bekend is, kan men intussen niet voorzichtig genoeg zijn bij het vaststellen van een toelaatbaar lawaainiveau. Die toelaatbaarheid zal daarbij afgestemd moeten zijn op de lawaai-gevoelige mens.

De diverse aanbevelingen voor toelaatbare geluidsniveaus in slaapkamers overziend, zoals dat bijvoorbeeld gedaan is in een rapport van de U.S. Environmental Protection Agency: Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety, March 1974 (23), lijkt een niveau van 35 dB(A) een noodzakelijke grenswaarde.

7. GRENSWAARDEN

Uit de vorige hoofdstukken kunnen de volgende conclusies ten aanzien van de grenswaarden worden afgeleid. Bepalen wij ons eerst tot de grenswaarden *overdag*.

De enquête-resultaten tonen aan dat bij een L_{eq} , buiten, van hoogstens 45 à 50 dB(A) geen ernstige hinder te verwachten is in woonsituaties in stedelijke omgevingen. Er is niet geëncueteerd onder bewoners op het platteland; daar zou een lagere grenswaarde kunnen gelden voor de situatie "geen ernstige hinder". Daar komt immers als belangrijke motivatie voor de hindergevoelens het verstoorte karakter van de omgeving naar voren. Bij een stedelijke omgeving hoort veel meer "man-made noise" dan bij een landelijke omgeving. Met meetresultaten kan bewezen worden dat de normale geluidsniveaus in beide omstreeks 10 dB(A) verschillen. De natuur is duidelijk rustiger dan de (gemechaniseerde) mens, zolang het niet hard waait, de vogels voluit zingen of er een onweer losbarst.

De functionele analyse toont aan dat bij een L_{eq} buiten van ten hoogste 45 dB(A), in vertrekken aan de geëxponeerde gevel gelegen, bij geopende vensters (niveauverschil buiten - binnen circa 10 dB(A)) geen merkbaar verlies aan communicatie optreedt: geen gespreksstoring, geen problemen bij telefoongebruik, geen verlies aan kwaliteit bij het beluisteren van muziek, van waarschuwingssignalen binnenshuis. Het is te verwachten dat men bij die niveaus ook buitenshuis geen hinder van het verkeerslawaai zal ondervinden bij het voeren van gesprekken e.d.. Aan het andere einde van de dosis-effect curve vindt men een buitenniveau van 75 dB(A). Dan is de hinder zeer groot. Meer dan de helft van de bewoners voelt zich ernstig gehinderd. Gesprekken op normale sterkte zijn binnenshuis noch buitenshuis mogelijk. Men moet aanmerkelijk dicht bij elkaar blijven en luider spreken dan normaal. Telefoongebruik en het genieten van muziek is vrijwel uitgesloten, tenzij men door het hermetisch sluiten van de vensters, eventueel aangevuld met bouwkundige voorzieningen, zich binnenshuis meer dan gebruikelijk tegen het lawaai van buiten weet te beschermen. Men kan de situatie halfweg tussen beide punten - geen noemenswaardige hinder respectievelijk zeer ernstige hinder - als matig kwalificeren. Het buitenniveau is dan rond 60 dB(A). Natuurlijk kan men geen wetenschappelijk verantwoorde argumenten aanvoeren voor deze qualificatie: matig halfweg tussen goed en slecht. Dit is echter algemeen gebruikelijk; het vrijwel lineaire verloop van de dosis-effect curve voor lawaai-invloeden tussen de punten "gering effect" en "groot effect" indien men de dosis met een logaritmische maat (L_{eq} , L_A , CNL, L_{dn}) beschrijft rechtvaardigt ons inziens deze benadering voldoende.

Desgewenst kan nog een verdere onderverdeling van het totale lawaai-bereik worden gemaakt; een voorstel hiervoor luidt:

Geluidsniveaus buitenshuis,

L_{eq} in dB(A), overdag	Kwalificatie
40 of minder	uitstekend
45	goed
50	vrij goed
55	redelijk
60	matig
65	vrij slecht
70	slecht
75	zeer slecht

Het zij nogmaals herhaald: deze kwalificatie heeft uitsluitend betrekking op de woonsituatie in een gemiddelde woonwijk, en op geluid afkomstig van een druk bereden weg of straat in de omgeving.

De grenswaarde voor de nacht is veel moeilijker wetenschappelijk aan te geven; de functionele eisen liggen wat betreft de communicatie op ongeveer hetzelfde niveau; over de slaapstoring is helaas weinig concreets te zeggen. De enquêteresultaten hebben betrekking op situaties met een nagenoeg normale verdeling van de verkeersintensiteit - en daardoor ook van de geluidsniveaus - over het etmaal; uitsluitel over dag of nacht apart geven zij, dus nauwelijks. Men mag echter aannemen dat bij een goede situatie - buitenniveau hoogstens 45 dB(A) overdag - geen slaapstoring op zal treden als 's nachts, zoals gebruikelijk, de niveaus circa 10 dB(A) lager zullen liggen. Aan de andere kant moet worden opgemerkt dat, bij een buitenniveau van 75 dB(A) of meer overdag, dus 's nachts circa 65 dB(A) of meer, van rustig slapen bij een normale gevelventilatie nauwelijks sprake zal kunnen zijn. Op dit punt moet nog even worden gememoreerd dat wij, conform de conclusies van hoofdstuk III, onder "het" geluidsniveau van het verkeerslawaai steeds het equivalent niveau L_{eq} verstaan. Het zal duidelijk zijn dat dit voor de beide uiterste -goed vastliggende - punten van de dosis-effect curve geen vraagtekens behoeft op te roepen. Een buitenniveau van 45 dB(A) treedt eerst op een grote afstand van de druk bereden weg op: bij bijvoorbeeld 2000 motorvoertuigen per uur en een snelheid van 100 km per uur eerst op zeg 500 meter afstand.

Er is dan nauwelijks meer sprake van fluctuaties in het geluidsniveau; er zijn geen afzonderlijke voertuigen meer hoorbaar. Het L_{10} is dan nog slechts enkele dB(A) hoger dan het L_{eq} . Een buitenniveau van 75 dB(A) treedt op als de afstand tot de weg uit dit voorbeeld rond 10 meter is. De fluctuaties zijn dan groter. Het L_{10} ligt op rond 80 dB(A), het L_{90} is rond 70 dB(A). Ook in de stilste ogenblikken is er nog zoveel lawaai dat men nauwelijks met elkaar kan praten en in de luidste ogenblikken gaat dit helemaal niet. Uit deze voorbeelden moge wederom blijken dat het baseren van het beoordelingssysteem op het L_{eq} verantwoord is.

De vraag die vervolgens aan de orde dient te komen is: kan met een enkele grenswaarde voor de dagsituatie worden volstaan, òf moet men met meerdere grenswaarden werken, voor de dag, de avond en de nacht afzonderlijk? Of, de derde mogelijkheid, kan men de verkeerslawaai-sterkte over het gehele etmaal met één waarde karakteriseren, en dus met één etmaalgrenswaarde werken?

1. Aandacht schenken aan alleen de dagsituatie is slechts verantwoord indien òf alleen de dagsituatie uit akoestisch oogpunt belangrijk zou zijn, òf het akoestische verschil tussen dag- en nachtsituatie steeds hetzelfde zou zijn. Aan geen van beide voorwaarden wordt voldaan: deze mogelijkheid vervalt derhalve.
2. Het werken met afzonderlijke waarden voor dag, avond en nacht is tot nu toe gebruikelijk, zie bijvoorbeeld ISO/R 1996 - 1971. De voorlopige immissie-aanbevelingen (vervolg circulaire geluidhinder van 1-5-1974 (24) inzake de toelaatbare geluidsniveaus bij woon-

bestemmingen, voor zover veroorzaakt door verkeer op autosnelwegen), zijn gesplitst in een dag- en een nachtwaarde. De dagwaarde ligt steeds 10 eenheden hoger dan de nachtwaarde. Wordt in een gegeven situatie - eventueel na het treffen van voorzieningen aan en bij de weg - wèl aan de grenswaarde voor de dag, doch nog niet aan die voor de nacht voldaan, dan kan men door ingrijpen in de verkeerssamenstelling en -afwikkeling ook 's nachts een toelaatbare toestand bereiken. In het algemeen is het praktisch effect van deze maatregelen echter beperkt; meestal zal men het totale pakket maatregelen moeten afstemmen op de meest kritieke periode, en dat kan de nacht zijn.

Vanzelfsprekend denke men hierbij niet slechts aan het rustigste gedeelte van de nacht - veelal beperkt tot enkele uren, bijvoorbeeld 2 uur tot 4 uur - doch aan de gehele periode van tenminste 12 uur 's nachts tot 6 uur 's morgens, liever nog aan de periode 23 uur tot 7 uur.

3. Ook van de derde mogelijkheid - het werken met een integrale waarde - zijn voorbeelden bekend. De in hoofdstuk III reeds genoemde beoordelingsmethode voor vliegtuigen bevat een formule voor de totale lawaai-belasting waarin ook het moment van overvliegen van elk vliegtuig verdisconteerd is. Dit is terecht; zou men daar met het eerste alternatief werken, dan zou bij toenemend nachtverkeer de situatie ten opzichte van de grenswaarden onveranderd blijven, terwijl toch de hinder stellig zou toenemen. Het tweede alternatief is voor luchtverkeer ook geen goede oplossing; men kan immers desnoods een luchtvaartterrein 's nachts geheel sluiten. Hierdoor zal de hinder stellig belangrijk afnemen, terwijl de situatie overdag ongewijzigd blijft. Zou men een dergelijke mogelijkheid ook voor het wegverkeer overwegen - in navolging van bijvoorbeeld voorschriften met betrekking tot zg. Kurzones, waar het gemotoriseerd verkeer in de bebouwde kom 's nachts geheel wordt stilgelegd, dan komt het derde alternatief ook voor wegverkeerslawaai in aanmerking.

In West-Duitsland is door Reinhold (25) een formule voorgesteld om het totale geluidsniveau op een bepaalde plaats aan te geven. Deze formule luidt:

$$L_{eq,etmaal} = 10 \log \frac{10^{L_{eq,dag}/10} + 3 \times 10^{L_{eq,avond}/10} + 10 \times 10^{L_{eq,nacht}/10}}{3}$$

Hierin stellen $L_{eq,dag}$, $L_{eq,avond}$ en $L_{eq,nacht}$, het equivalent niveau voor, respectievelijk bepaald voor de dagperiode (7 uur tot 19 uur), de avondperiode (19 uur tot 23 uur) en de nachtperiode (23 uur tot 7 uur).

Men ziet gemakkelijk in dat het $L_{eq,etmaal}$ gelijk is aan het $L_{eq,dag}$ indien het verschil dag - avond 5dB en het verschil dag - nacht juist 10 dB bedraagt; immers dan zijn de drie termen in de teller gelijk. Bij een kleiner verschil dag - avond of dag - nacht wordt

het $L_{eq,etmaal}$ iets hoger dan het $L_{eq,dag}$, bij een groter verschil iets lager. Toetsing van deze formule in een aantal praktijk-situaties, leerde echter dat er nauwelijks sprake is van enig compenseren van wat meer geluid overdag door extra weinig geluid 's nachts en v.v.; de resulterende variaties in de waarde van het $L_{eq,etmaal}$ zijn betrekkelijk klein. De berekeningsmethodiek wordt echter hierdoor wel gecompliceerder. Dezelfde bezwaren gelden voor de in Amerika voorgestelde eenheid L_{dn} , die weer op een andere wijze dan de Reinholdformule een maat voor het totale geluidsniveau oplevert. Daarom verdient het ons inziens de voorkeur te blijven werken met afzonderlijke grenswaarden voor de perioden; men kan dan een etmaalwaarde definiëren als de hoogste van de drie volgende waarden:

- het equivalent niveau gedurende de dagperiode
- het equivalent niveau gedurende de avondperiode, vermeerderd met 5 dB(A)
- het equivalent niveau gedurende de nachtperiode, vermeerderd met 10 dB(A).

4. Aangezien de verkeersintensiteit - en daarmee het geluidsniveau in de omgeving - gedurende de avond geleidelijk afneemt van de dagwaarde naar de nachtwaarde kan men volstaan met het beschouwen van de waarde overdag en de waarde 's nachts. De avondwaarde ligt daar dan automatisch tussenin. Er zij op gewezen dat dit niet geldt voor luchtverkeer, railverkeer of industrie als bron van storend geluid: daar kan de avond-intensiteit hoger zijn dan de dag-intensiteit (avondspits bij luchtverkeer!), gelijk zijn aan de dag-intensiteit (railverkeer!) of gelijk zijn aan de nacht-intensiteit (bedrijven waar alleen overdag gewerkt wordt). Voor die andere geluidsbronnen moet dus de avond-periode afzonderlijk in beschouwing worden genomen.

Dan komt de vraag of er onderscheid dient te worden gemaakt tussen werkdagen en zon- of feestdagen. Ook hier geldt dat dit onderscheid slechts zinvol is indien duidelijke plaatselijke verschillen bestaan in de verdeling van de verkeersintensiteit over de dagen en indien het reëel mogelijk is een dergelijke verdeling te voorspellen en/of te beïnvloeden. Voorshands lijkt een en ander niet het geval.

Soortgelijke opmerkingen kunnen gemaakt worden over de verschillen tussen de seizoenen, hoewel daar wel een significant verschil in hinder binnenshuis verwacht kan worden door de noodzaak van frequenter en wijder openen van vensters gedurende de zomer. Aangezien de beoordelingsmethoden echter in eerste instantie gebaseerd is op de situatie met gedeeltelijk geopende vensters, is in wezen reeds bereikt dat - als de situatie goed wordt bevonden - de situatie juist in de gevoeligste periode (de zomer) goed is, en in de winter dus vanzelfsprekend ook goed zal zijn. De gegevens omtrent de lawaai-last dienen dan echter wel betrekking te hebben op de zomer-situatie.

Samenvattend luidt de conclusie dus: voor woningen is een geluidsbelasting vóór de gevel, veroorzaakt door verkeer op druk bereden wegen en straten, met een equivalent geluidsniveau van 45 dB(A) of minder alleszins acceptabel ("streefwaarde"); een lawaai-belasting van 75 dB(A) of meer is ondraaglijk te achten ("gevaarengrens").

Het zij nogmaals herhaald: deze uitspraak slaat slechts op het verkeerslawaai dat van dit soort straten en wegen afkomstig is. Het heeft geen betrekking op de verkeersgeluiden afkomstig van de individuele voertuigen die door de straat waaraan de woningen gelegen zijn passeren indien deze straat als een normale, rustige woonstraat gekenschetst kan worden.

8. DE SITUATIE TUSSEN DE GRENSWAARDEN

Ergens tussen de waarden 45 dB(A) en 75 dB(A) zullen de beleidsgrenzen moeten worden getrokken; onontkoombaar verschillend voor bestaande situaties en voor ontworpen situaties. Het behoeft geen toelichting dat niet met een enkele grenswaarde, afgestemd op bestaande slechte situaties, volstaan kan worden; dit zou namelijk impliceren dat men - niet in staat zijnde deze slechte situaties op korte termijn te saneren - door zou gaan nieuwe slechte situaties te laten ontstaan. Bovendien is er alle aanleiding bij het vaststellen van grenswaarden een zeker tijdschema te hanteren: het is immers technisch en economisch mogelijk lawaai-bestrijding aan de bron - het motorvoertuig -, bij het onderhoud en bij het gebruik te plegen, waardoor de totale geluidemissie van het wegverkeer verminderd kan worden.

Het lijkt realistisch om het totale effect dat, voor de hier in het geding zijnde wegen, waarop in het algemeen met snelheden van tenminste 70 km/uur zal worden gereden, met deze maatregelen te bereiken valt voorlopig op 5 dB(A) te schatten. Bij deze snelheden zijn de mogelijkheden tot lawaai-bestrijding immers beperkt door het feit dat er een minimum geluidproductie ontstaat door het zg. bandenlawaai. Zelfs indien de motorvoertuigen geen enkel hoorbaar geluid produceerden met hun voortbewegingssysteem (motor, inclusief inlaat en uitlaat en koeling, versnellingsbak, aandrijfmechanisme) zou door dit bandenlawaai nog een beslist niet verwaarloosbaar geluidsniveau overblijven, al zou dit wel aanmerkelijk lager zijn.

Hieruit volgt dat de streefwaarde voorlopig op 50 dB(A) zou kunnen worden gelegd; ten aanzien van de hoogste toelaatbare waarde mag ons inziens geen water in de wijn worden gedaan. Reeds eerder werd vermeld dat de streefwaarde van 45 dB(A) in principe geldt voor de situatie in een overigens rustige woonomgeving; men denke aan buitenwijken.

In de drukkere straten in de stad is het normale achtergrondgeluidsniveau omstreeks 5 dB(A) hoger, zonder dat dit de leefbaarheid ernstig aantast. Men zou derhalve voor de stadssituatie - denk aan een stedelijke uitvalsweg - een streefwaarde van 50 dB(A) kunnen hanteren, eventueel weer tijdelijk verhoogd met 5 dB(A) tot 55 dB(A). Uiteraard is dan deze waarde van toepassing voor woningen in een wijk met een duide-

lijk stedelijk karakter; zoals reeds eerder opgemerkt zal men in een van nature rustige buitenwijk, indien doorsneden door de genoemde uitvalsweg, deze geluidsbelasting als een onnodige, storende factor ervaren.

Nog verder zou men kunnen gaan indien de directe omgeving van de invalsweg tevens het karakter bezit van een gemengde wijk, met winkelcentra, werkplaatsen, bedrijven e.d.. Een "eigen" achtergrondgeluidsniveau van 55 dB(A) is daar niet abnormaal - wederom aan de straatzijde! - zodat een extra lawaai-belasting van deze grootte, afkomstig van de uitvalsweg, niet onacceptabel zou zijn. Ook hier is een tijdelijke toeslag met 5 dB(A) van toepassing.

Een bijzonder aspect van het verkeerslawaai van de druk bereden wegen dient men hierbij terdege in het oog te houden. Zodra langs de weg een gesloten bebouwing aanwezig is, wordt achter die bebouwing een geluidsniveau aangetroffen, dat tenminste 10 dB lager ligt dan aan de direct aan de weg geëxponeerde zijde. De stedenbouwkundige indeling van de wijk is derhalve van bijzonder groot belang; bij een bebouwing met niet aangesloten woonblokken (hoogbouwflats of eengezinswoningen "twee-onder-een-kap") breidt het verkeerslawaai zich als een olievlek tot op veel grotere afstanden van de weg uit.

Men kan zich voorts afvragen of de boven afgeleide vaste punten van de dosis-effect curve (45 dB(A) of minder: goed; 75 dB(A) of meer: slecht), die zijn afgeleid voor de standaard-situatie "woonvertrekken met ventilatie via de gevel, niveauverschil buiten-binnen rond 10 dB(A)" ook gelden voor de hoogste verdiepingen van hoge woongebouwen. Men zal daar immers - door de hogere windsnelheden - een beter gesloten gevel nodig hebben om tochtverschijnselen te beperken dan op de laagste verdiepingen. Schat men het effect hiervan op een toename van het niveauverschil buiten-binnen met 5 dB(A), dan zou men de gehele dosis-effect curve voor die situaties met 5 dB(A) kunnen opschuiven, dus de grenswaarden voor deze hoogste verdiepingen eveneens 5 dB(A) hoger kunnen kiezen. Bij welke verdieping dit effect gaat optreden is niet met zekerheid te zeggen. Te denken ware aan de vijfde of de zesde verdieping. Bedacht dient echter te worden dat in het algemeen de geluidsisolatie van de ramen in de gevel bij toenemende verdiepingshoogte afneemt, door het zog. coïncidentie-effect.

Bij onderzoek werd dan ook gevonden dat bij een hoog gebouw nabij een drukke weg de geluidsniveaus vóór de gevel van beneden naar boven gaande afnamen, doch de geluidsniveaus binnen, bij gesloten vensters, toenamen. De bewoners beneden konden zich dus, door hun vensters te sluiten, een grotere "rust" bezorgen dan de bewoners boven; de laatsten waren al in het nadeel door de reeds vermelde tochtbezwaren bij geopend raam. Laat men nu bovendien op de hogere verdiepingen een grotere lawaai-belasting toe, dan komen de bewoners van de hogere verdiepingen dus dubbel ongunstig uit.

Op grote afstanden van de weg speelt dit "scheve-inval effect" een veel geringere rol. Men kan dus stellen dat bij een L_{eq} voor de laagste verdiepingen van 50 dB(A) een wat hoger L_{eq} voor de hoogste verdiepingen

acceptabel kan zijn. Bij een L_{eq} van 60 dB(A) voor de laagste verdiepingen is dit echter niet het geval. Om eenzelfde geluidssituatie in de woning te bereiken dient men - bij veel lawaai buiten - op hogere verdiepingen een betere gevelisolatie te bewerkstelligen dan op de laagste verdiepingen.

9. BETEKENIS VAN GRENSWAARDEN IN DE PRAKTIJK

Een belangrijk aspect dat bij de problematiek van het stellen van grenswaarden helaas dikwerf veronachtzaamd wordt is het vraagstuk van de significantie van overschrijdingen.

Een wettelijk vastgestelde grenswaarde mag niet overschreden worden; dat is duidelijk. Wat is echter een overschrijding? Er moet sprake zijn van:

- a) een objectief, met vrijwel volledige zekerheid, vastgestelde overschrijding;
- b) een met het oog op het betrokken effect wezenlijke overschrijding.

Als voorbeeld zij aangehaald de, op grond van artikel 7 van de Wegenverkeerswet, in het Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens opgenomen bepalingen inzake de maximumsnelheden voor motorvoertuigen. Binnen de als zodanig aangeduide bebouwde kom is deze snelheid 50 km/uur. Aangezien de meetnauwkeurigheid waarmee het bevoegde gezag de snelheid van een motorvoertuig kan vaststellen omtreeks ± 2 km/uur bedraagt, is van een met zekerheid vastgestelde overschrijding eerst sprake bij een voertuigsnelheid van minstens 53 km/uur.

De dan met zekerheid geconstateerde overschrijding van 1 km/uur is echter nauwelijks van belang; gebruikelijk is derhalve om eerst tot vervolging over te gaan bij geconstateerde overschrijdingen van 5 km/uur of meer. Hetzelfde geldt met betrekking tot de geluidsproblemen. Indien de wettelijk vastgestelde grenswaarde ergens 50 dB(A) bedraagt, zal men pas zinvol van overschrijdingen kunnen spreken als er zowel met de meetnauwkeurigheid als met de menselijke waarneembaarheid terdege rekening wordt gehouden. De nauwkeurigheid van de gebruikelijke akoestische meetapparatuur, geschikt voor gebruik buiten het laboratorium, bedraagt circa ± 2 dB(A) voor geluiden met een betrekkelijk vlak spectrum als wegverkeersgeluid. Naarmate echter de afstand tussen geluidsbron en meetpunt groter wordt is de overdracht van het geluid sterker afhankelijk van de tijdens de meting optredende atmosferische omstandigheden. Deze spelen bij de zg. nabijheidsmeting van het geluid van bromfietsen (50 cm van het uiteinde van de uitlaat) in het geheel geen rol. Bij een meting van wegverkeerslawaai op enkele honderden meters afstand van de weg kan de variatie in overdracht zeker enkele dB's, in extreme gevallen zelfs meer dan 5 dB bedragen.

Wat de waarneembaarheid betreft kan vermeld worden dat bij het vergelijken van geluidsbronnen onderling (typekeuring bromfietsen, auto's,

vliegtuigen) een verschil van één dB nog net waarneembaar genoemd kan worden; dat komt overeen met een verschil in geluidsvermogen van rond 25%. Een dergelijk verschil is voor een geoefende waarnemer bij afwisselend beluisteren net hoorbaar. Bij de vergelijking van situaties met duidelijk hoorbaar lawaai ligt de waarnemingsgrens echter duidelijk hoger. Een verschil van 2 dB is niet belangrijk. Pas bij 5 dB is er duidelijk sprake van een verschil. De zuivere meetnauwkeurigheid is dus groter dan de beoordelings-nauwkeurigheid.

De consequentie hiervan is evident, indien men bij het vaststellen van een grenswaarde, op grond van de relevante dosis-effect curven, mede in acht nemend technische, economische en andere omstandigheden, geen rekening houdt met deze problematiek, legaliseert men slechtere situaties dan de bedoeling was. Wil men derhalve wèl met deze problematiek rekening houden, dan dient de grenswaarde lager te worden gesteld.

Dus: acht men 50 dB(A) nog net acceptabel: men stelde de grenswaarde op 45 dB(A); acht men echter 60 dB(A) nog net acceptabel: men stelde de grenswaarde op 55 dB(A). Als voorbeeld van een uitwerking van dit principe zij verwezen naar de voorschriften inzake de typekeuring van motorvoertuigen op hun geluidproduktie (26); daarin staat te lezen dat het meetresultaat met 1 dB moet worden verlaagd alvorens vergelijking met de gestelde grenswaarde plaatsvindt.

Men dient eveneens bij het treffen van maatregelen en bij het beoordelen van veranderingen in een situatie met deze aspecten rekening te houden. Stel, de grenswaarde is 50 dB(A). Men constateert 56 dB(A): er is dus een duidelijk waarneembare overschrijding, groter dan de mogelijke fout in de meting. De te treffen maatregelen moeten dan ontworpen en uitgevoerd worden, gebaseerd op een totaal effect van tenminste 6 dB(A), in de eerste plaats omdat anders hun effect nauwelijks of niet waarneembaar zou zijn, in de tweede plaats omdat hun effect anders niet betrouwbaar met geluidmetingen zou kunnen worden aangetoond. Ook hiervoor is een parallel te vinden bij de situatie rond de maximum snelheden voor motorvoertuigen. Wordt een voertuigsnelheid van bijvoorbeeld 65 km/uur geconstateerd, op een plaats waar slechts 50 km/uur toegestaan is, dan is de overschrijding minstens 13 km/uur (bij de aangenomen meetnauwkeurigheid van 2 km/uur); daarop wordt de omvang van de sanctie gebaseerd. Men neemt terecht niet als basis het verschil tussen geconstateerde snelheid en vervolgingsgrenswaarde.

Hetzelfde geldt, met name, bij een toename van de lawaai-belasting tengevolge van een wegreconstructie of een verandering in de routestructuur. Was de uitgangswaarde bijvoorbeeld 53 dB(A) - dus nog geen wezenlijke overschrijding van de in het voorbeeld aangenomen vastgestelde grenswaarde - en neemt de lawaai-belasting toe met bijvoorbeeld 3 dB(A) tot 56 dB(A), dan is weliswaar deze toename op zichzelf slechts nauwelijks waarneembaar, doch de totaal resulterende overschrijding is van wezenlijke betekenis.

10. DE SITUATIE BIJ ANDERE GEBOUWEN DAN WONINGEN

In dit rapport is tot nu toe de aandacht geconcentreerd op de woon-situatie. De grenswaarden die werden afgeleid hebben dan ook duidelijk op die situatie betrekking. In dit hoofdstuk willen wij ons afvragen in hoeverre andere grenswaarden zouden moeten gelden voor andere gebouwen dan woningen. Het is logisch ook daarbij in eerste instantie uit te gaan van de functionele eisen met betrekking tot de spraakverstaanbaarheid, waarover immers het meeste met zekerheid te zeggen is.

In scholen, kerken, schouwburgen en dergelijke worden aan de spraakverstaanbaarheid in principe dezelfde eisen gesteld als in woningen; zonder moeite moet de spraak, ook van een matige spreker, verstaanbaar zijn, ook voor een luisteraar die niet over een prima gehoororgaan beschikt. De afstanden tussen spreker en luisteraar zijn achter veel groter; daardoor is het aanvaardbare niveau van het verkeerslawaai duidelijk lager. Voor klasselokalen in scholen komt men (afstand omstreeks acht meter) tot een onderste grenswaarde binnen van 30 dB(A) en een bovenste grenswaarde van 60 dB(A); voor kerken en schouwburgen zijn deze waarden 25 dB(A) respectievelijk 55 dB(A). Voor zover deze ruimten via de gevel geventileerd moeten worden - dit is met name bij vele scholen het geval - kan weer hetzelfde niveauverschil van omstreeks 10 dB(A) buiten-binnen aangehouden worden; dit betekent dus dat aan het buiten-niveau van de scholen een zwaardere eis moet worden gesteld dan aan het buitenniveau van woningen: hier ligt de aanvaardbaarheidsgrens 5 dB lager. Bij kerken, en zeker bij schouwburgen, heeft het echter vrij weinig zin om eisen te stellen aan het geluidsniveau buiten; voor een nieuwe situatie kan men - op grond van een gegeven buitenniveau - een geschikte bouwkundige constructie kiezen die de vereiste geluidsisolatie teweeg brengt.

In bestaande situaties is het eenvoudiger (hoewel vaak kostbaar!) de gevelisolatie te verbeteren dan de verkeerslawaai sterkte buiten te verminderen. Bijzondere aandacht verdienen voorts ziekenhuizen, verpleeghuizen, bejaardenhuizen en dergelijke. In het algemeen geldt dat zieken en bejaarden geluidsgevoeliger zijn dan gezonde mensen respectievelijk mensen van middelbare leeftijd. Een overmaat aan lawaai vertraagt de genezing, onder andere door het verlies aan kwaliteit van de slaap.

Voorts hebben bejaarden veelal een minder scherp gehoor; daardoor is hun verstaanbaarheid in lawaai minder goed dan van mensen zonder gehoorverliezen. Dat is - gedeeltelijk - te compenseren door hen een extra rustige omgeving te geven; te denken is aan een 5 tot 10 dB(A) lager achtergrondgeluidsniveau. Men plaatse dus in geen geval de gebouwen in de directe omgeving van drukke wegen, onder het motto: "de bewoners zijn toch al wat dovig, zij hebben dus niet zoveel last van het lawaai". Dit is een volkomen foutief uitgangspunt; het omgekeerde is waar.

11. AKOESTISCHE ASPECTEN VAN EEN ZONERINGSSYSTEEM

Men wil met een zoneringsysteem bereiken dat:

- reeds in een vroeg stadium van het ontwerp van een weg en van de in de omgeving van een weg op te richten geluidsgevoelige bebouwing het geluidsaspect wordt onderkend en dat passende maatregelen - aanhouden van afstand, detaillering van de weg, detaillering van de bebouwing - worden getroffen om de omvang van de geluidhinder tot een maatschappelijk aanvaardbare of toelaatbaar geachte waarde te beperken;
- in een vroeg stadium van het ontwerp van veranderingen van hetzij een weg, hetzij een geluidsgevoelige bebouwing dezelfde procedure wordt gevolgd;
- akoestisch slechte situaties rond bestaande wegen worden geïnventariseerd; op grond van die inventarisatie kan een programma voor verbeteringen worden opgesteld.

Er wordt voor elke weg een zone gedefinieerd, die het akoestische invloedsgebied van die weg omvat. Men zou dit invloedsgebied kunnen definiëren als het gebied waarbinnen het verkeersgeluid van een weg bij voor de waarneming gunstige weersomstandigheden net hoorbaar is; men krijgt dan uiteraard een grote zone. Een andere definitie zou kunnen zijn: de zone is het gebied waarbinnen het wegverkeersgeluid ondraaglijk sterk is; de zone wordt dan klein. Beide extremen hebben evidente bezwaren: in het eerste geval is het uitermate moeilijk met enige zekerheid een zonegrens aan te geven; in het tweede geval bestrijdt men slechts de ondraaglijke hinder; situaties met ernstige, doch nog niet ondraaglijke hinder komen niet aan het licht.

Wij zouden derhalve de voorkeur geven aan de definitie: de zone is het gebied waarbinnen het geluid van de verkeersweg duidelijk hoorbaar is, doch nog lang geen ondraaglijke hinder veroorzaakt. Daarmede is dus tevens een houvast voor het geluidsniveau aan de buitengrens van de zone gevonden: net duidelijk hoorbaar. Aangezien aan de buitenzijde van de zone niet gesproken kan worden van een woonomgeving "in de nabijheid van een autoweg of drukke straat" moet men hier uitgaan van een rustiger woonomgeving, een buitenwijk van een kleinere stad of een woonkern op het platteland. Daar zijn de normaal voorkomende achtergrondgeluidsniveaus overdag rond 45 dB(A); dit brengt de grenswaarde aan de buitenkant van de zone op 45 dB(A). Het wegverkeersgeluid is dan op de stille momenten net duidelijk hoorbaar. Is de overheid van mening dat het reëel is te veronderstellen dat binnen afzienbare tijd de emissie van de verkeerswegen met 5 dB(A) kan worden verlaagd - door herziening van de type-keuringseisen, door beter onderhoud en minder rumoerig gebruik van de voertuigen - dan kan men eventueel deze buitenste zonegrens tot 50 dB(A) verhogen.

Er zij hierbij op gewezen dat eventuele andere belangrijke geluidsbronnen als vliegtuigen of industrieën buiten beschouwing zijn gelaten.

Vraagt men zich nu af hoe in werkelijkheid de zone (in de bovenomschreven betekenis) langs een verkeersweg eruit ziet, dan blijkt dat slechts bij hoge uitzondering er sprake is van een gemakkelijk aan te geven strook ter weerszijden van de weg. Immers: de geluidoverdracht vanaf de weg naar de omgeving is afhankelijk van de eigenschappen van de bodem; op een afstand van tientallen meters van de bodem is de overdracht sterker dan vlak boven de bodem; obstakels in de omgeving van de weg zoals gebouwen, en in mindere mate ook groepen bomen en planten belemmeren de voortplanting van het geluid. De zone is dus:

- groter op een hoogte van bijvoorbeeld 20 meter dan op een hoogte van bijvoorbeeld 1,5 meter;
- in de bebouwde en/of beboste omgeving veelal grillig van vorm; er kunnen in de zone gebieden met weinig lawaai voorkomen, direct achter hogere bouwwerken gelegen.

Opgemerkt zij dat een en ander eveneens het geval is als men een zone op grond van "geluidslast groter dan een bepaalde waarde" definieert rond een industrieterrein met in hoofdzaak laag gelegen bronnen. Is echter de geluidsbron hoog gelegen - industrie geluid: schoorstenen, fakkels, koeltorens; vliegtuiggeluid - dan wordt de zone wèl eenvoudig van vorm; de lawaai kaarten van de gebieden rond luchtvaartterreinen zijn hiervan goede voorbeelden. Het is duidelijk dat voor de zonering rond verkeerswegen dit systeem - vaststelling van de werkelijke ligging van de buiten-contour - in de praktijk niet bruikbaar is. De ligging van die contour hangt immers af van de realisatie van geplande objecten, en men wil juist bereiken dat men bij die realisatie reeds met de akoestische situatie rekening houdt. De oplossing is duidelijk:

Men definieert de zone als het gebied waarbinnen - *bij ongestoorde geluidvoortplanting* - het wegverkeersgeluid tenminste net duidelijk hoorbaar zou zijn indien het achtergrondgeluid de sterkte zou hebben als in een normale, vrij rustige, woonomgeving. Men kan dan, uitgaande van een grenswaarde van bijvoorbeeld 50 dB(A), de zonegrens vastleggen op grond van nader te omschrijven rekenregels, zodanig dat in de werkelijkheid, door de invloeden van extra bodemdemping, extra afscherming door gebouwen, extra demping door beplanting, hoogteverschillen en dergelijke de geluidsniveaus alleen *lager* kunnen uitvallen, niet wezenlijk hoger. Er wordt aldus een gebied aan weerszijden van een weg aangeduid als "mogelijkst door het verkeersgeluid overbelast". Daar is een akoestische studie van de in werkelijkheid te verwachten situatie noodzakelijk.

Ten overvloede zij erop gewezen dat deze benadering noodzakelijkerwijze vrij grote zones impliceert. Buitenstaanders zouden uit deze grote zones kunnen afleiden dat steeds een "ideale, geheel hindervrije situatie" wordt nagestreefd. Dit is natuurlijk niet juist. Een tweede vraagstuk bij de uitwerking van het zoneringssysteem betreft de aan te nemen verkeersintensiteit. Kan men eventueel bij het luchtverkeer de geluidemissie achteraf beperken door bepaalde restricties op te leggen aan het gebruik van de luchthaven - weigeren van toestemming tot het uitvoeren van bepaalde lijndiensten of chartervluchten, voorschrijven dat daarbij gebruik wordt gemaakt van relatief geluidarme vliegtuigen - bij wegver-

keer is dit vrijwel onmogelijk. De hier beschouwde autowegen en stedelijke toegangswegen kunnen meestal niet uit geluid-oogpunt in hun gebruik beperkt worden tot een bepaald maximaal aantal voertuigen per dag, of gesloten worden voor zwaar verkeer; ook levert dit vaak nieuwe problemen op langs de "vervangende" straten. De meest voor de hand liggende beperking betreft de snelheid waarmee de verschillende categorieën voertuigen de weg mogen gebruiken. De zonering dient derhalve betrekking te hebben op de slechts denkbare verkeerssituatie, zolang die werkelijkheid kan worden. Vaak zal dit de maximale capaciteit van de weg zijn. Het is ook in akoestische opzicht goed een zekere reserve in te bouwen - zoals dit bij welhaast alle andere technische eisen het geval is - teneinde onverwachte tegenvallers te kunnen opvangen!

Zijn de afmetingen van de zone aldus vastgelegd, dan kan men binnen de zone tot een beschrijving van de verwachte of optredende situatie overgaan. Onderscheid dient dan gemaakt te worden tussen bestaande situaties, waar dus met maatregelen verbeteringen in de situatie zouden moeten worden aangebracht, veranderingssituaties waar in het kader van de verandering tevens met akoestische aspecten rekening moet worden gehouden en nieuwe situaties, waar bij de realisering van weg of bebouwing een goed leefklimaat moet worden behouden of bereikt.

Het eenvoudigste zou zijn te bepalen dat voor alle woningen, waarvoor een geluidsbelasting voor de gevel, hoger dan de grenswaarde aan de zonegrens, aangetroffen wordt of te verwachten is, maatregelen dienen te worden getroffen. Aldus zou worden bereikt dat op den duur geen woningen meer een gevelbelasting zouden ondervinden hoger dan de grenswaarde, dus dat overal een zeer goede situatie zou zijn verkregen. Dit is echter geen realistische benadering. Het zou immers meebrengen dat men in nieuwe situaties overal de in de omgeving noodzakelijk of gewenst geachte geluidsgevoelige bebouwing tegen de verkeerslawaai-belasting zou moeten beschermen door aaneengesloten bouwwerken zonder geluidsgevoelige vertrekken aan de geëxponeerde zijde, of door speciale geluidwerende voorzieningen nabij de weg (hoge geluidschermen of -wallen). Het overal vrij van woonbebouwing houden van de geluidszone is immers niet mogelijk. In veranderingssituaties of in bestaande situaties zou deze extreme benadering meebrengen dat men of bestaande drukke wegen voor het verkeer zou moeten sluiten, of de aanwezige woonbebouwing amoveren of zeer ingrijpend veranderen, of met uit andere oogpunten bezwaarlijke kunstwerken (hoge schermen, overkappingen) de geluidemissie van de weg drastisch zou moeten verminderen.

Bovendien kan men aannemen, ook op grond van de enquête-resultaten, dat in de huizen die het dichtstbij de weg zijn gelegen, die dus het karakter "woning nabij een autoweg of drukke straat" hebben, meer verkeersgeluid wordt geaccepteerd dan in verder weg gelegen woningen. Er is derhalve behoefte aan een tweede stel grenswaarden voor de lawaai-belasting van gevels van woningen in de zone, die beslist nergens mogen worden overschreden; bij overschrijding in bestaande situaties zijn op korte termijn saneringsmaatregelen op hun plaats: de *gevaarengrens*. Deze grens zou, gezien de resultaten van enquêtes en functionele analyses op ten hoogste 75 dB(A) mogen worden gelegd. Een lagere grenswaarde lijkt ech-

ter voor veranderingssituaties en nieuwe situaties zeer wel haalbaar: de meeste van de nu als "saneringsgevallen" te kenschetsen situaties zijn immers louter ontstaan doordat bij ontwerp en uitvoering geen enkele aandacht aan de lawaai-aspecten werd gegeven; bij enige aandacht zouden deze situaties zonder veel kosten kunnen zijn vermeden.

Een op feitelijkheden gefundeerd voorstel voor deze lagere grenswaarde kan in dit stadium nauwelijks gegeven worden; men zou geneigd zijn het principe van de zonering rond luchtvaartterreinen te volgen: voor elke situatie afzonderlijk grenswaarden te formuleren, uitgaande van de plaatselijke omstandigheden. Dit is echter bij het wegverkeerslawaai waarschijnlijk geen aanvaardbare procedure en zou tot willekeur en rechtsonzekerheid kunnen leiden. Op grond van onze ervaring in een aantal praktijkgevallen zouden wij willen voorstellen voor deze grenswaarde te kiezen:

voor nieuwe situaties: hoogstens 5 dB(A) boven de zonegrenswaarde, dus, uitgaande van 50 dB(A): 55 dB(A);

voor veranderingssituaties: 10 tot 15 dB(A) boven de zonegrenswaarde, dus, uitgaande van 50 dB(A): 60 à 65 dB(A).

Worden nog hogere waarden buiten verwacht, dan dienen maatregelen aan de gevel te worden getroffen. Deze waarden gelden uiteraard voor de ongunstigste woningen in het project; de overige woningen zullen automatisch in een betere situatie komen te verkeren. Een goede evaluatie van een project houdt derhalve in dat men nagaat hoeveel woningen worden blootgesteld aan een lawaai-belasting van verschillende grootte; uit akoestisch oogpunt verdient uiteraard de realisatie waarbij het kleinste aantal woningen een relatief grote waarde krijgt te verwerken de voorkeur.

Het lijkt hier aanbevelenswaardig een stedenbouwkundig plan te maken dat - op grond van eenvoudige aanwijzingen - een minimaal aantal dergelijke woningen oplevert; dit plan vervolgens door middel van rekentechnieken of modeltechnieken op zijn akoestische merites te toetsen en op grond van de uitkomsten van die toetsing waar nodig te corrigeren.

12. BOUWKUNDIGE MAATREGELEN AAN WONINGEN - PERSPECTIEVEN BIJ ONTWERP EN BIJ SANERINGSPROJECTEN

Het is nuttig om, vooruitlopend op meer gedetailleerde behandeling van dit onderwerp in het kader van andere onderzoekprojecten van de I.C.G., in dit rapport alvast enkele opmerkingen op te nemen over dit onderwerp.

De geluidsisolerende eigenschappen van de gevel worden bepaald door de akoestisch zwakste gedeelten van de gevel. Normaal zijn dit de vensters. Bij gesloten vensters komt geluid binnen zowel door de ruiten als door de kieren tussen glas en sponning en tussen kozijn en overige gevel-elementen. Het komt voor dat deze overige gevel-elementen (bijvoorbeeld borstwering) uit zeer lichte panelen worden vervaardigd, waardoor hun geluidsisolatie niet of nauwelijks beter is dan van de ruiten zelf. Normaal is dit echter niet het geval.

Verbetering van de geluidsisolatie van de gevel betekent dus:

- bij het ontwerp: beperken van de verhouding glasoppervlak tot totaal oppervlak;
- bij ontwerp en uitvoering: streven naar winddichtheid, ventilatie realiseren via afsluitbare openingen. De bewoner kan dan kiezen tussen meer frisse lucht in combinatie met meer geluid, eventueel kortstondig voor "doorspuien", en minder ventilatie met meer rust. Voorts: dubbele ruiten met een luchtpauw van 5 cm of meer, of dikkere ruiten dan normaal (zeg 8 mm!) geven significant betere geluidsisolatie dan de normaal toegepaste enkele ruiten van nominaal 4 mm dik;
- bij maatregelen achteraf: vervangen van dunne ruiten door dikkere; eventueel plaatsen van voorzetruiten (aan de buitenkant in verband met condensproblemen!). Denken om schoonmaak- en doorzichtaspecten!

Aangezien deze maatregelen aan de gevel slechts effect hebben zolang de vensters gesloten zijn is het redelijk aan dit effect een strenge eis te stellen, zodanig dat het binnenklimaat in de woningen tenminste even goed, liefst zelfs beter is dan dat in overeenkomstige woningen met een normale gevel en minder verkeersgeluid buiten. Men compenseert dan in zekere zin het slechte woonklimaat buiten en de onvermijdelijke consequentie: bij open vensters veel lawaai binnen. Bovendien moet men zich realiseren dat een maatregel die slechts enkele dB's verbetering bewerkstelligt, geen met het oor waarneembaar effect oplevert. Slechts indien men een combinatie van dergelijke maatregelen neemt, bijvoorbeeld snelheidsbeperkingen, eliminatie en luidruchtige voertuigen en een kleine verbetering van de gevel, elk goed voor zeg 3 dB, doch tezamen bijna 10 dB verbetering gevend, zijn op zichzelf weinig effectieve maatregelen verantwoord. Uiteraard moeten dan alle maatregelen niet slechts in theorie, doch ook in werkelijkheid effect hebben. De in Amsterdam langs de Coentunnel-traverse geplaatste borden die een lage maximumsnelheid aanduiden, met de toelichting "Geluidhinder", hebben, onder andere door het ontbreken van controle op de naleving en het toepassen van effectieve sancties op overtredingen, dan waarschijnlijk ook een averechts resultaat: het akoestisch effect is vrijwel verwaarloosbaar, terwijl de omwonenden deze borden ervaren als een door de overheid gevonden zeer goedkope "oplossing" van het lawaai probleem. Dit kan de omvang van de ervaren geluidhinder aanzienlijk vergroten (27). Voorts zij vermeld dat vele eengezins-rijenwoningen dikwijls van een kapconstructie zijn voorzien met een zeer matige geluidsisolatie. Voor het bereiken van een meer dan normale geluidwering in op de zolderverdieping gelegen slaapvertrekken moet dan niet alleen de isolatie van de vensters, doch ook de isolatie van de bouwkundige kapconstructie worden verbeterd. In bestaande woningen is dit een ingrijpende maatregel. Tenslotte zij vermeld dat een betere akoestische isolatie - kleiner relatief raamoppervlak, dubbele vensters, effectieve kierdichting - tevens een betere warmte-isolatie met zich meebrengt. Helaas is echter de behoefte aan een goede warmte-isolatie in de winter het grootst, terwijl de akoestische situatie gewoonlijk 's zomers kritiek is (grotere verkeersintensiteit, meer behoefte aan open ramen!).

13. SAMENVATTING EN CONCLUSIE

Langs verschillende wegen is getracht een bruikbaar en betrouwbaar beoordelingssysteem voor de aanvaardbaarheid van wegverkeersgeluid in de woonsituatie te vinden. In grote lijnen geven zowel de benadering via geluidhinder-enquête als een functionele analyse hetzelfde antwoord. Uitgaande van de situatie in de warmere perioden van het jaar, waarbij men wegens de behoefte aan ventilatie de vensters van de woning enigszins opent, komt men tot de uitspraak dat bij een sterkte van het verkeerslawaai buiten - beschreven met de grootte equivalent geluidsniveau - van 45 dB(A) of minder, gedurende de dagperiode, geen wezenlijke storing of ernstige geluidhinder te verwachten is. Is deze sterkte echter 75 dB(A) of meer dan is de situatie duidelijk onaanvaardbaar: de bewoners van de woningen moeten zich aanzienlijke beperkingen opleggen, zowel wat betreft ventilatie-mogelijkheden als wat betreft hun verlangens inzake communicatie. Een groot percentage bewoners voelt zich ernstig gehinderd. Op basis van deze feitelijkheden zijn een aantal uitgangspunten voor een zoneringsysteem rond wegen geformuleerd, alsmede de belangrijkste akoestische aspecten daarvan nader toegelicht.

Delft, september 1975

Technisch Fysische Dienst

ir. G.J. Kleinhoonte van Os

Verantwoording:

Dit rapport is het resultaat van samenwerking van wetenschappelijke medewerkers van twee TNO-instituten: het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO en de Technisch Fysische Dienst TNO-TH.

Deze medewerkers zijn:

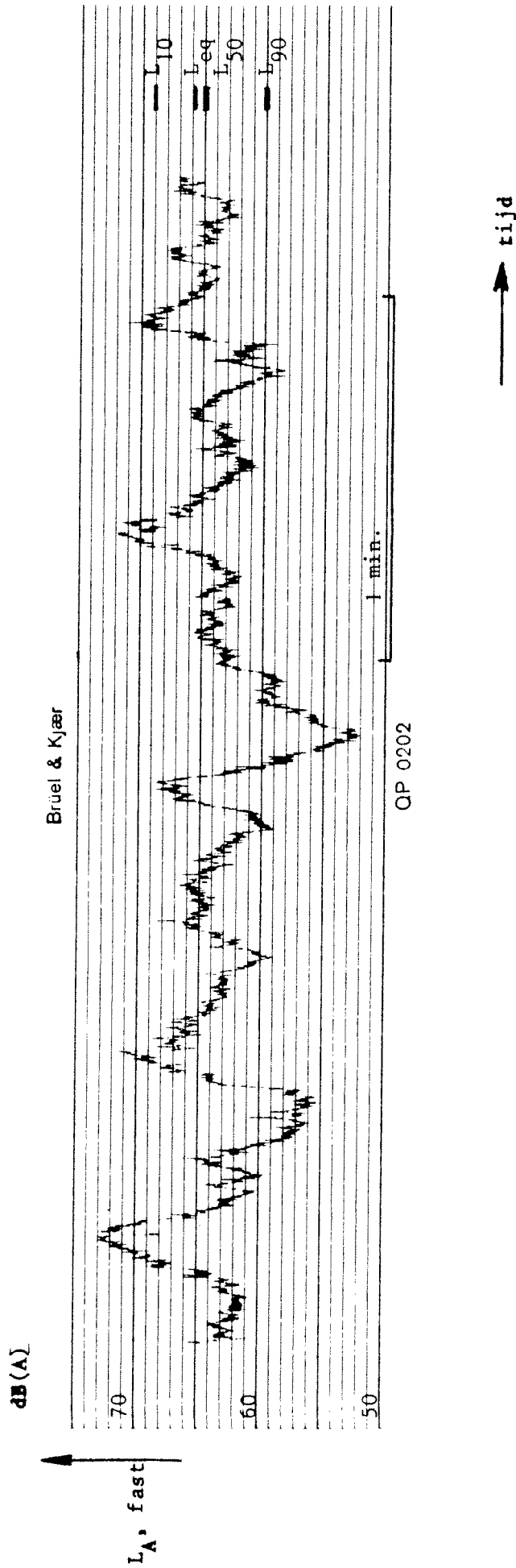
Drs. C. Bitter, ir. J. van den Eijk, ir. A.A. Jurriëns, drs. J.P. Kaper, ir. E. Gerretsen, ir. G.J. Kleinhoonte van Os, ir. W.A. Oosting.

Uit praktische overwegingen is dit rapport als TPD-rapport uitgebracht en alleen door de coördinator van de projectgroep Geluid van TNO ondertekend.

LITERATUURLIJST RAPPORT 307.247

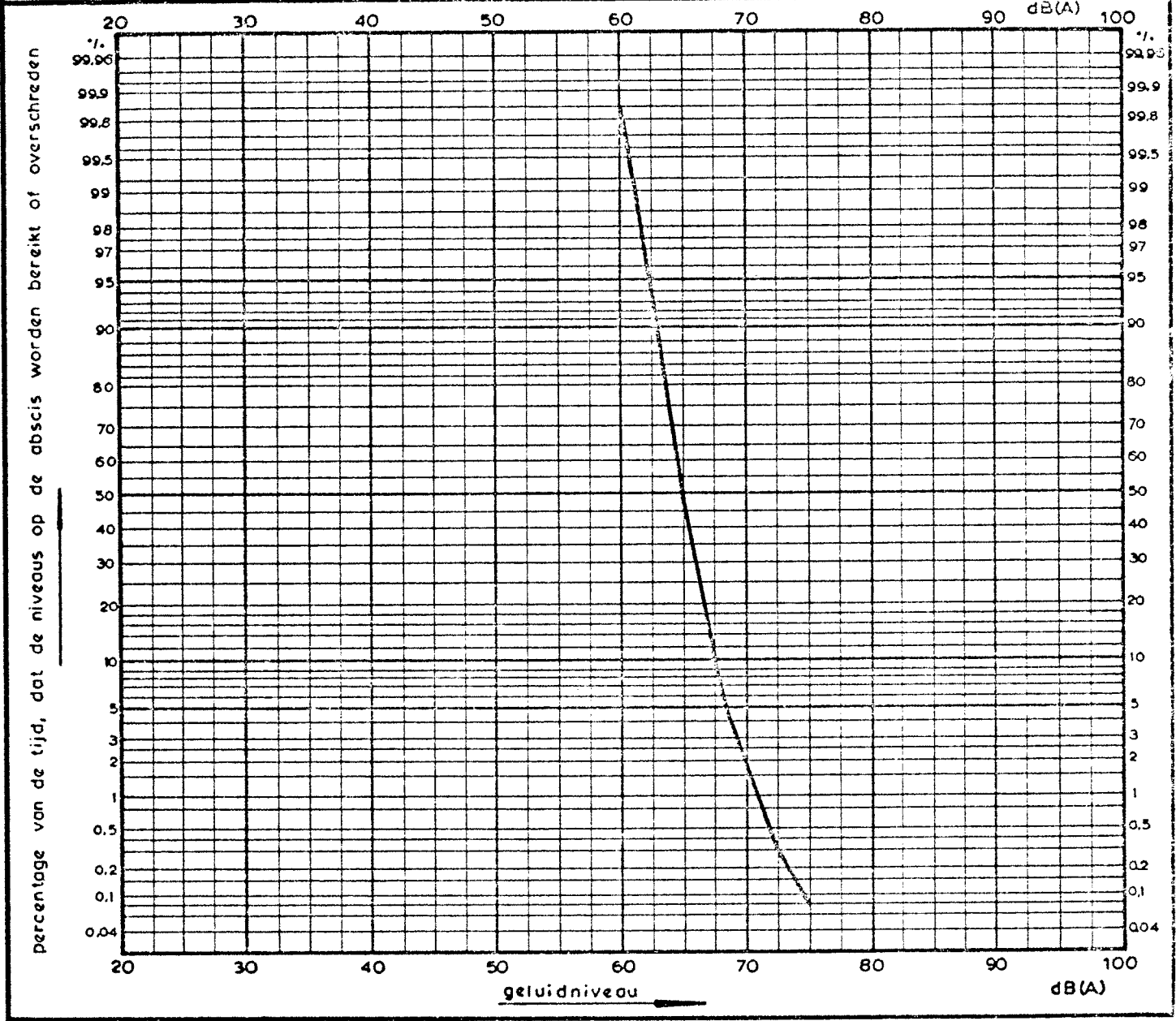
- (1) Geluidhinder, rapport van de Gezondheidsraad, Commissie Geluidhinder en lawaaibestrijding, 1971
- (2) Wegenverkeersreglement, artikel 66 en de daarop gebaseerde beschikkingen
- (3) EG-Enquête Untersuchung der Umweltbelästigung und Umweltschädigung durch den Strassenverkehr in Stadtgebieten - Lärm und Abgase, Teilstudie I. 1.2; Frietsche G., 1972
- (4) Wegenverkeersreglement, artikel 65
- (5) Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens, artikelen 93 en 98
- (6) Bevolkingsonderzoek naar hart- en vaatziekten en vliegtuiglawaai, Knipschild P., Coronellaboratorium Amsterdam, 1974
- (7) Geluidhinder door Vliegtuigen, eindrapporten van de adviescommissie Geluidhinder door Vliegtuigen, 1967
- (8) Assessment of noise with respect to community response, ISO Recommendation R 1996-1971
- (9) The sound insulation of single and double glazings with respect to traffic noise, Oosting W.A., AICB proceedings, 1970
- (10) Publikaties 123 en 179, International Electrotechnical Committee
- (11) Subjective reactions to steady and varying noise environments, Fuller H.C. and Robinson D.W., NPL Acoustics Report AC 62, 1973
- (12) Statistical correlates of the energy-equivalent sound level, Driscoll D.A., 1973, Webster W.J., Haag F.J. and Farinacci J.W., J.A.S.A. 56, 4, 1974
- (13) Subjective response to road traffic noise, Griffiths, J.D. and Langdon F.J., J. Sound Vib. 8, 1, 1968
- (14) La gêne due au bruit de la circulation automobile, Bachelon. Cahier du CSTB nr. 762, 1967
- (15) Etude de la gêne due au trafic automobile urbain, Aubrée D., Anzou S. et Rapin J.M., Rapport CSTB, 1972
- (16) Störung der Bevölkerung durch Verkehrslärm, Bruckmayer F. und Lang J., Oester. In. Zeitschrift, 1967
- (17) Traffic noise in residential areas, National Swedish Institute for Building Research, report 36 E, 1968

- (18) Strassenverkehrslärm in Wohngebieten, Rucker A., Kampf dem Lärm 22, 1975
- (19) Articulation index and average curve-fitting, Webster J.C. and Klumpp R.G., J.A.S.A. 35, 1963
- (20) Statistical measurements on conversational speech, White, S.D., J.A.S.A. 11, 1940
- (21) A laboratory study of nuisance due to traffic noise in a speech environment. Rice C.G., Sullivan B.M., Charles J.G. and Gordon C.G., J. Sound Vib. 37, 1, 1974
- (22) Spraakverstaanbaarheid bij een enkele stoorbron, Plomp R., NAG-publikatie 32, 1975
- (23) Information on levels of environmental noise requisite to protect the public health and welfare with an adequate margin of safety, EPA 550/9-74-004, 1974
- (24) Vervolg circulaire geluidhinder van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, mei 1974
- (25) Eine Beurteilungsgrösze für die allgemeine Lärminmission an den Bundesfernstrassen, Reinhold G., Kampf dem Lärm 21, 1974
- (26) Beschikking nr. RV 34288 van de minister van Verkeer en Waterstaat, d.d. 27 mei 1971, Ned. Staatscourant 105, 1971.
- (27) On the possibilities of changing the annoyance reaction to noise by changing the attitudes to the source of annoyance, Sörensen S., Nordisk Hygienisk Tidskrift, suppl. 1, 1970

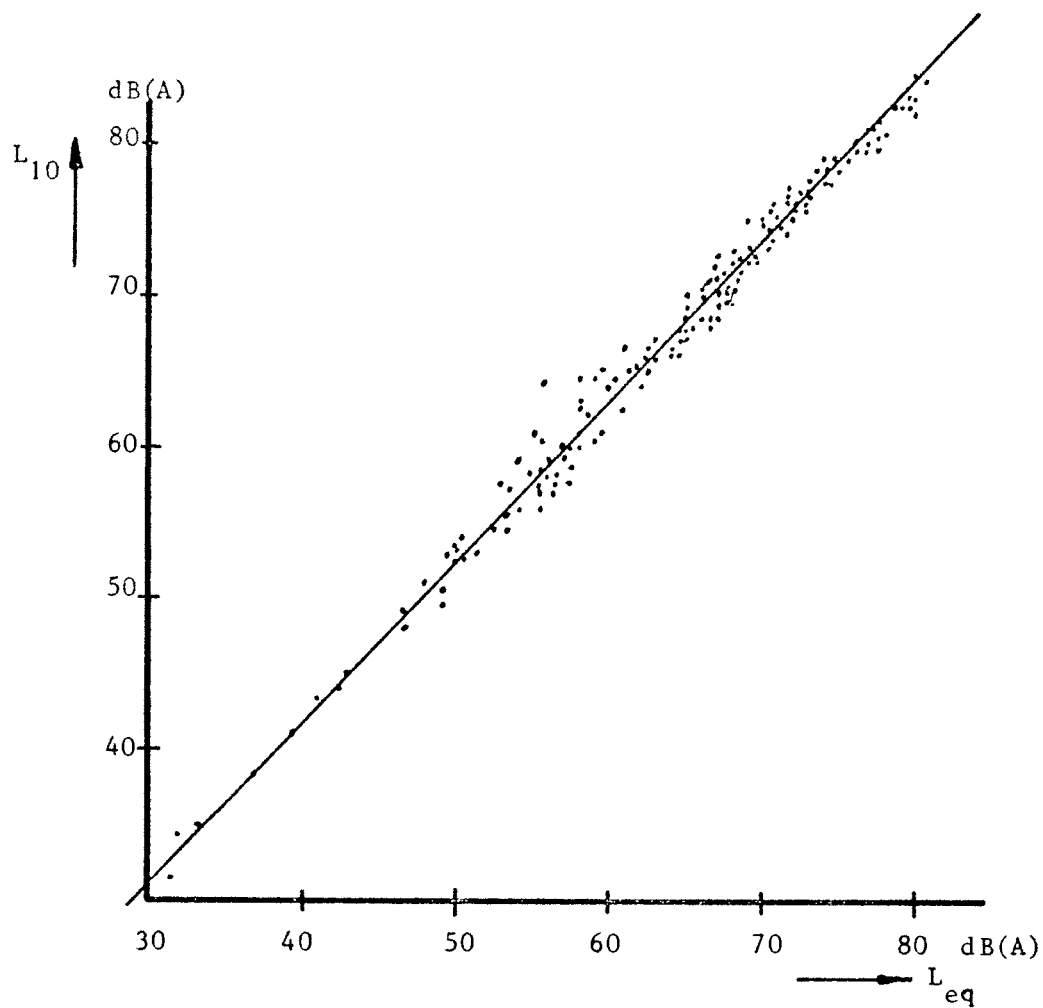


figuur 1: Het geluidniveau (L_A , fast) als functie van de tijd op een relatief grote afstand van een druk bereiden autosnelweg. Aan de rechterzijde zijn de waarden van L_{eq} en van enkele statistische grootheden aangegeven.

plaats:	bijzonderheden:	$L_5 = 68,5$ dB(A) $L_{10} = 67,5$ dB(A) $L_{50} = 65$ dB(A) $L_{90} = 63$ dB(A) $L_{95} = 62,5$ dB(A) $L_{eq} = 66$ dB(A) $L_{NP} =$ dB(A)
datum: 21 december 1973	windsnelheid: m/s tijd: 14.30-14.47	$L_{NP} = L_{eq} + 2,56 \sigma$



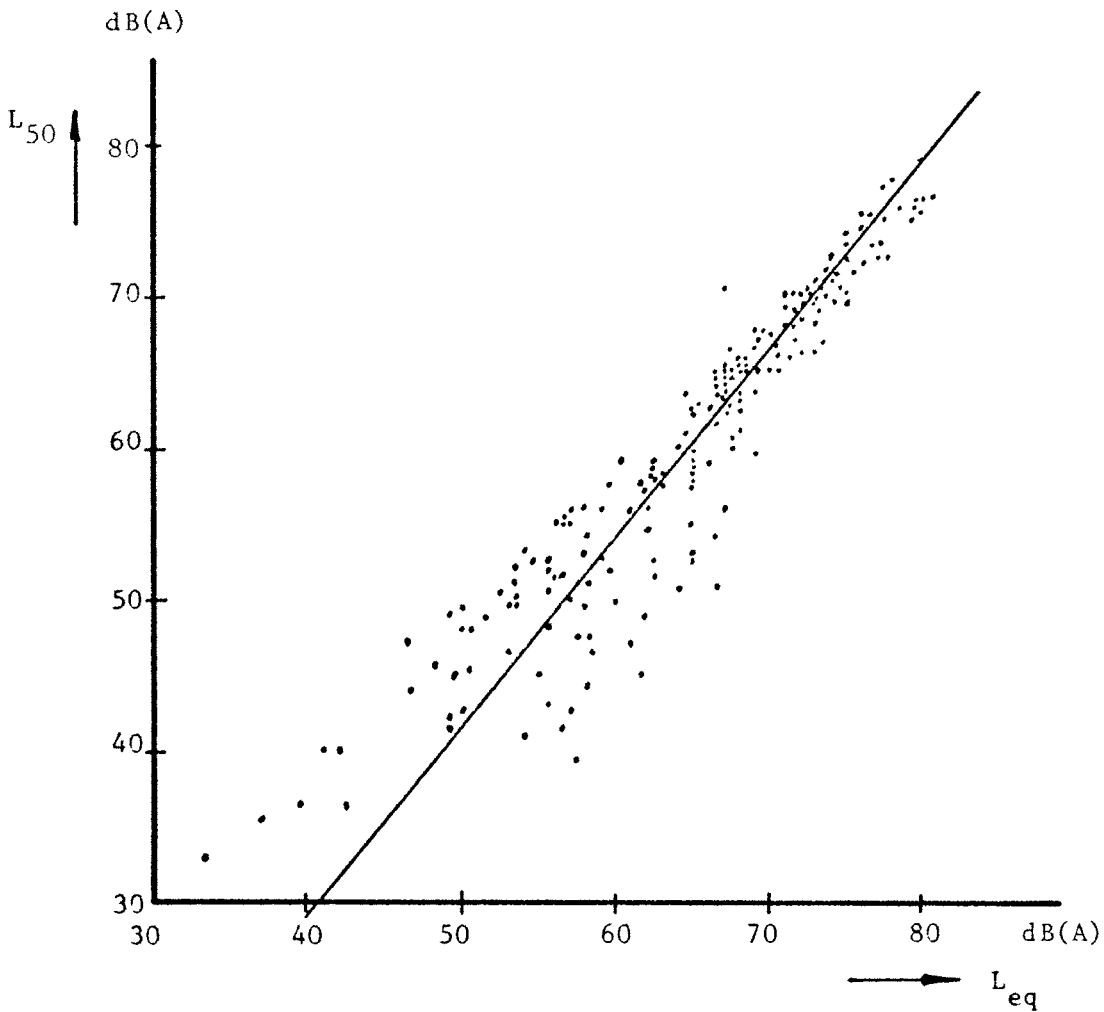
figuur 2: Voorbeeld van een statistische analyse van wegverkeersgeluid.



figuur 3: De samenhang tussen de statistische grootte L_{10} en het equivalente geluidniveau L_{eq} , in een groot aantal praktijkgevallen.

Het uit de meetpunten berekende verband (methode der kleinste kwadraten) luidt:

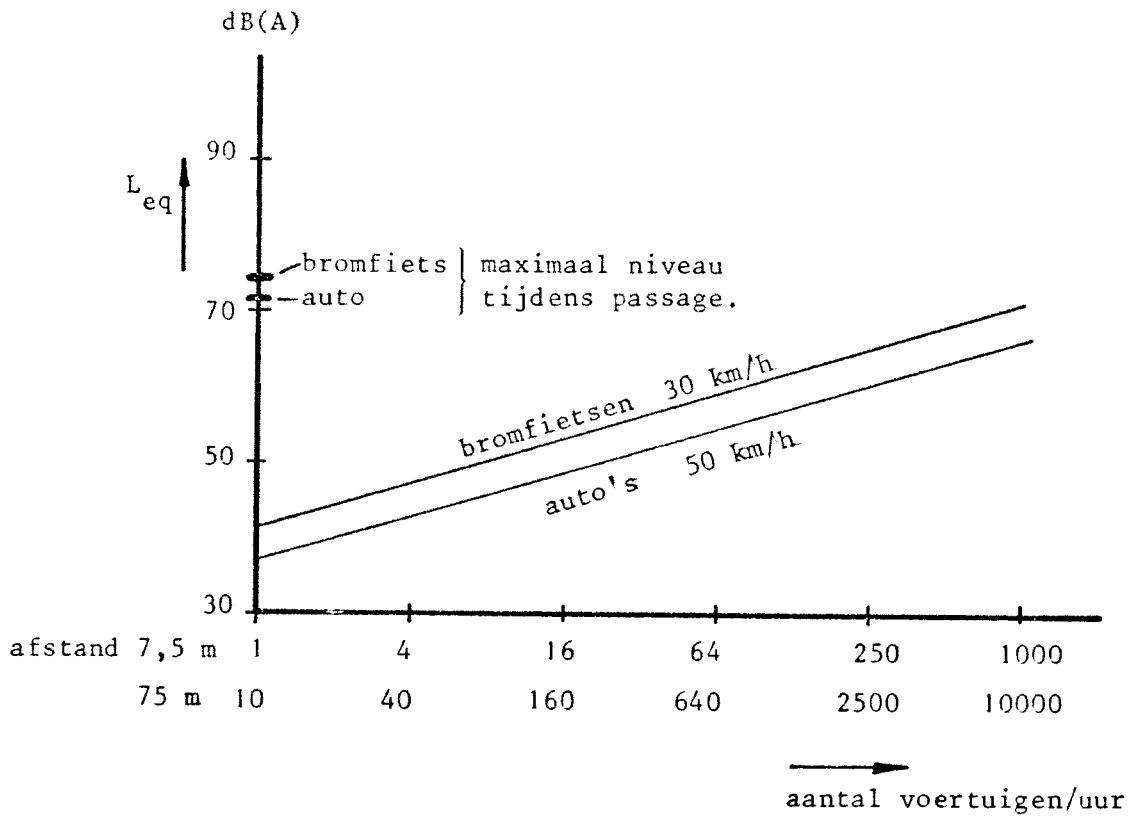
$$L_{10} = 1,065 \cdot L_{eq} - 0,835; \text{ correlatie-coëfficiënt gelijk } 0,99 ; \text{ standaardafwijking groot } 0,8 \text{ dB(A).}$$



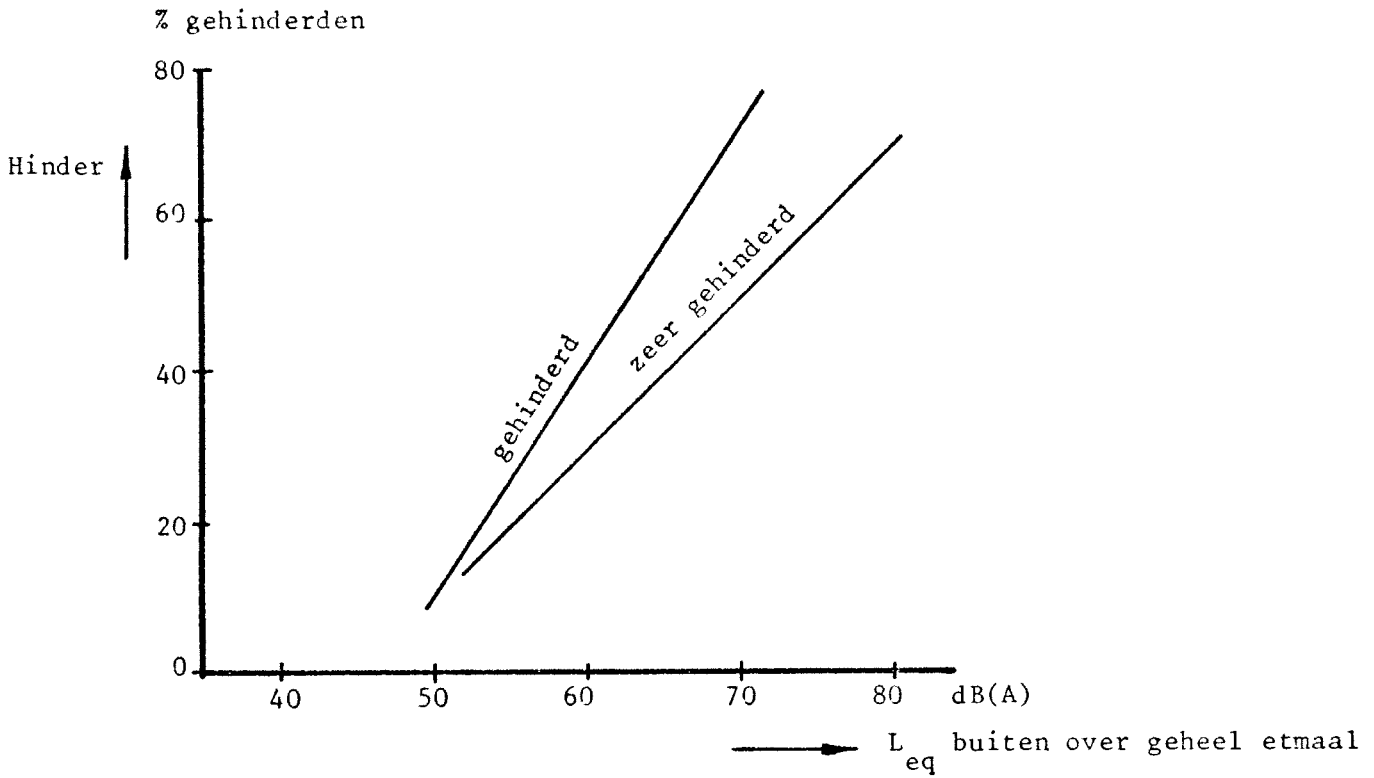
figuur 4: De samenhang tussen de statistische grootte L_{50} en het equivalente geluidniveau L_{eq} , in een groot aantal praktijkgevallen.

Het uit de meetpunten berekende verband (methode der kleinste kwadraten) luidt:

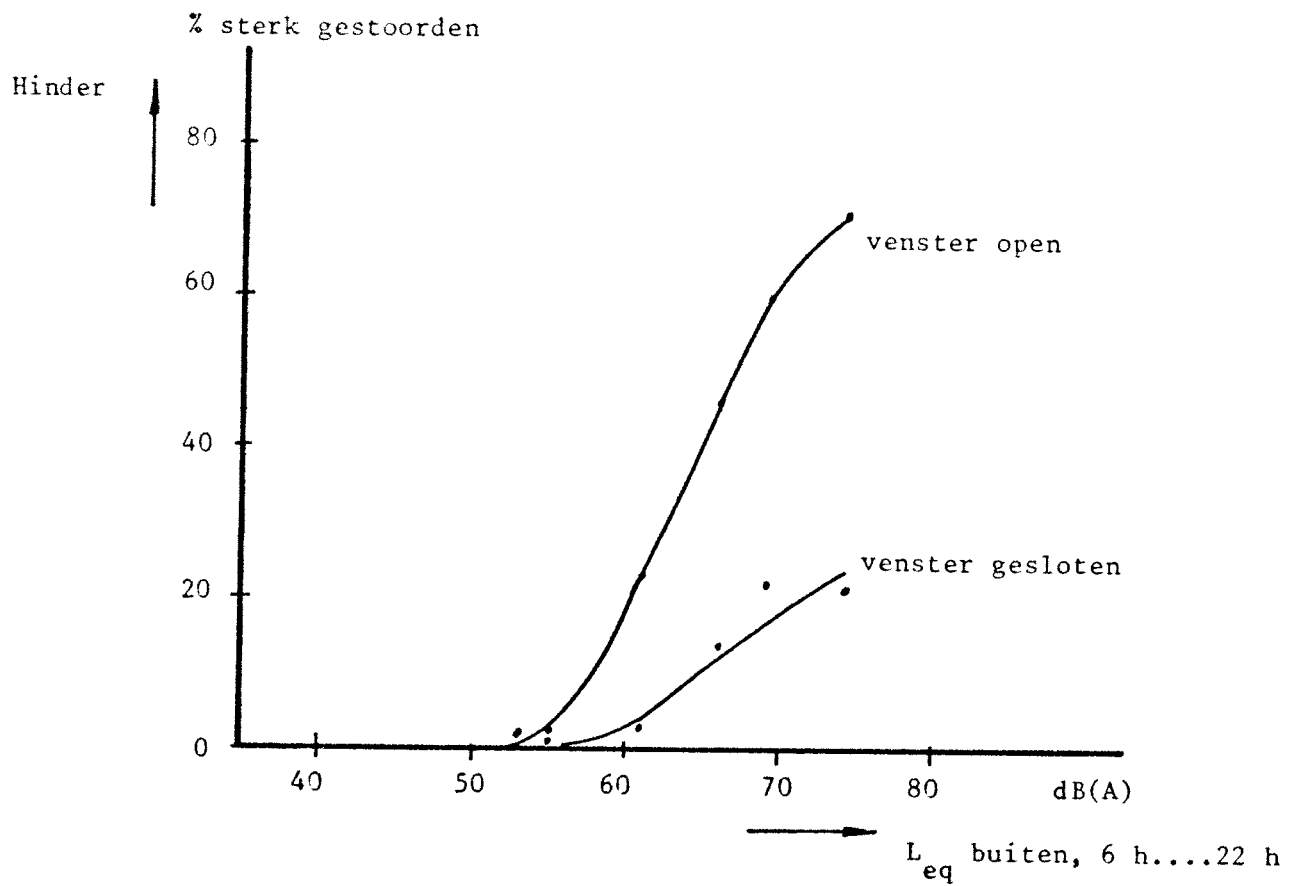
$$L_{50} = 1,252 \cdot L_{eq} - 20,95; \text{ correlatie-coëfficiënt gelijk } 0,94 ; \\ \text{standaardafwijking groot } 2,2 \text{ dB(A).}$$



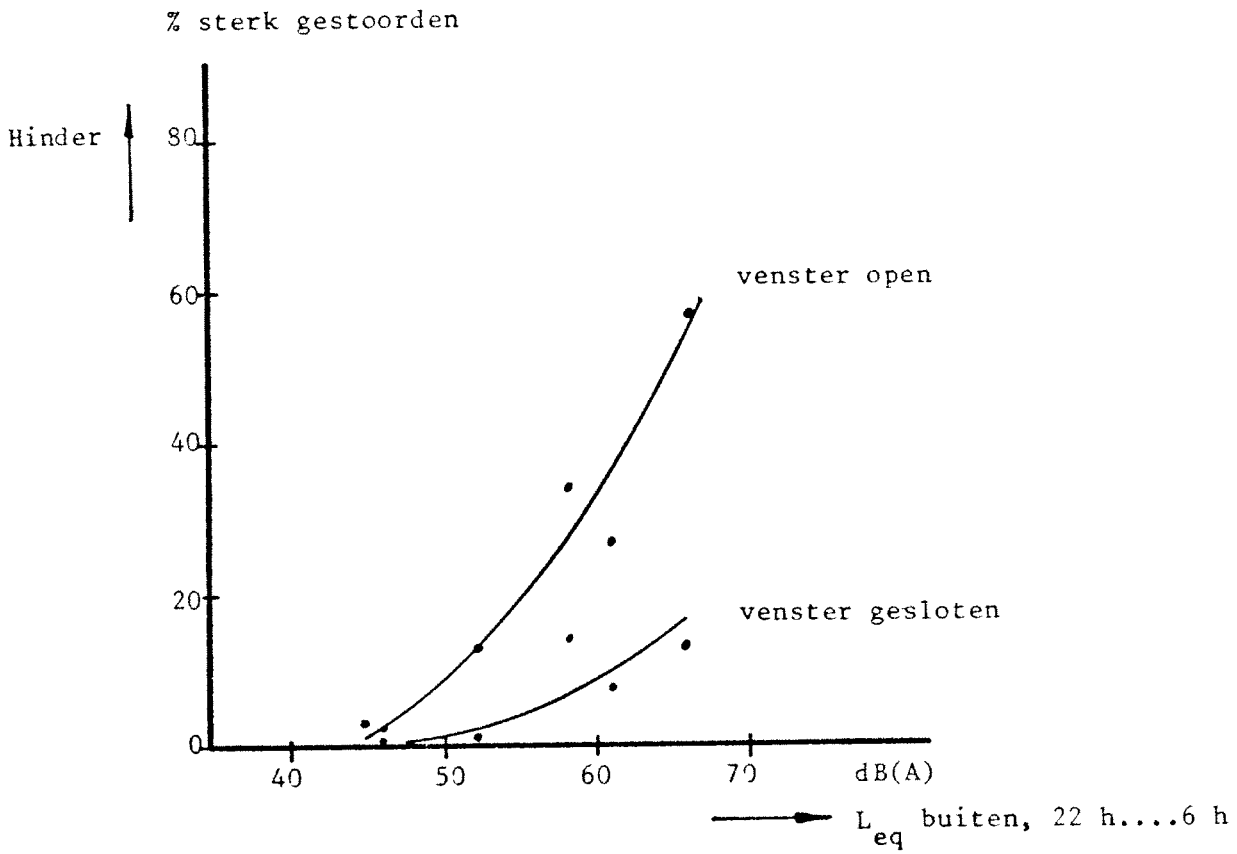
figuur 5: Het berekende verband tussen L_{eq} over één uur en de verkeersintensiteit in voertuigen per uur. Afstand tot hart rijstrook: 7,5 m resp. 75 m; aangenomen snelheden: bromfietsverkeer 30 km/h, automobielverkeer 50 km/h. In hoeverre L_{eq} ook bij lage verkeersintensiteit een goede maat voor de geluidbelasting uit een oogpunt van geluidhinder is, is hierbij buiten beschouwing gelaten.



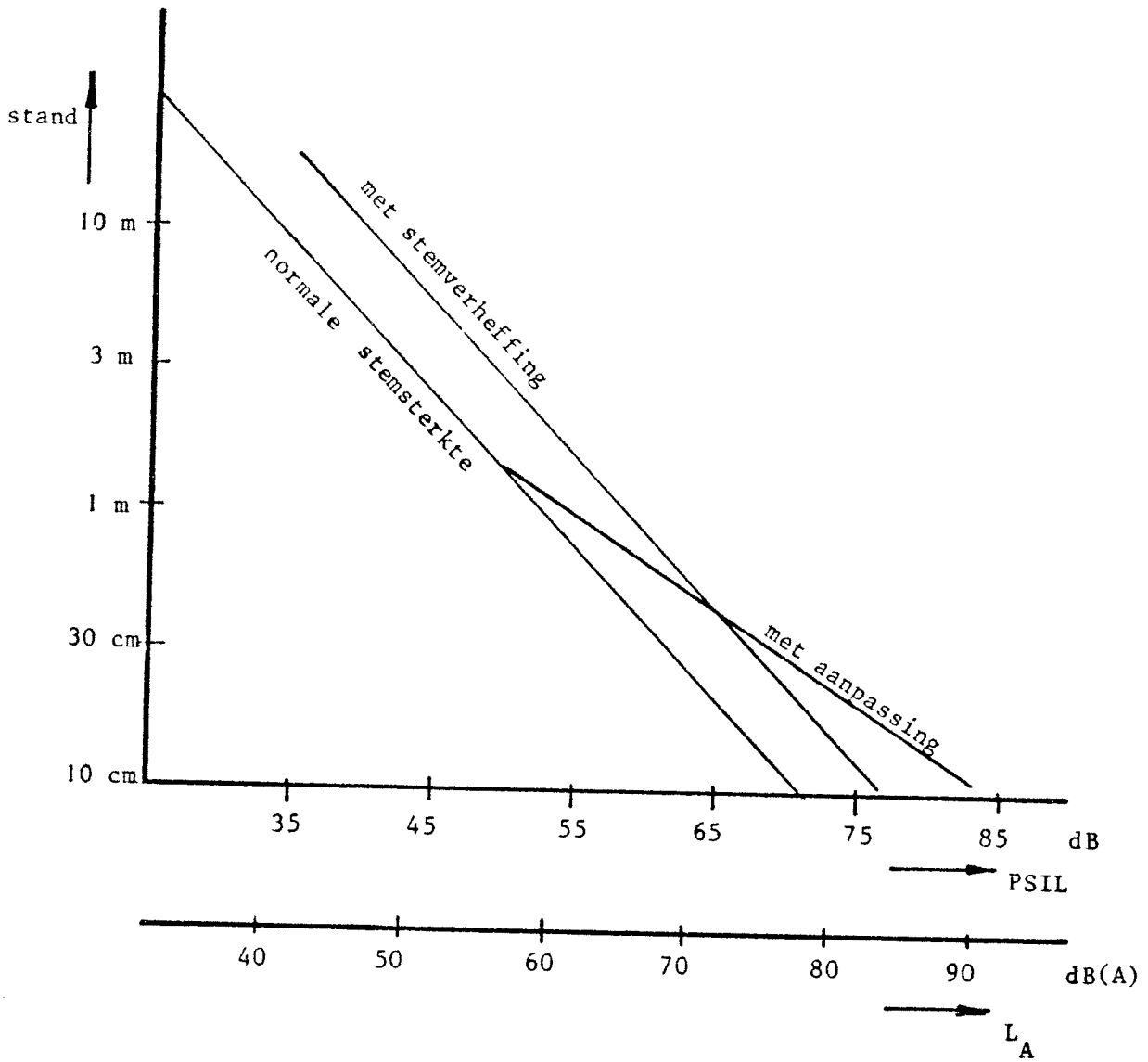
figuur 6: Het bij de Zweedse enquête (zie [17]) gevonden verband tussen het percentage ernstig gehinderden resp. gehinderden en de etmaalwaarde van L_{eq} . Deze waarde ligt enkele decibels onder de waarde van L_{eq} overdag.



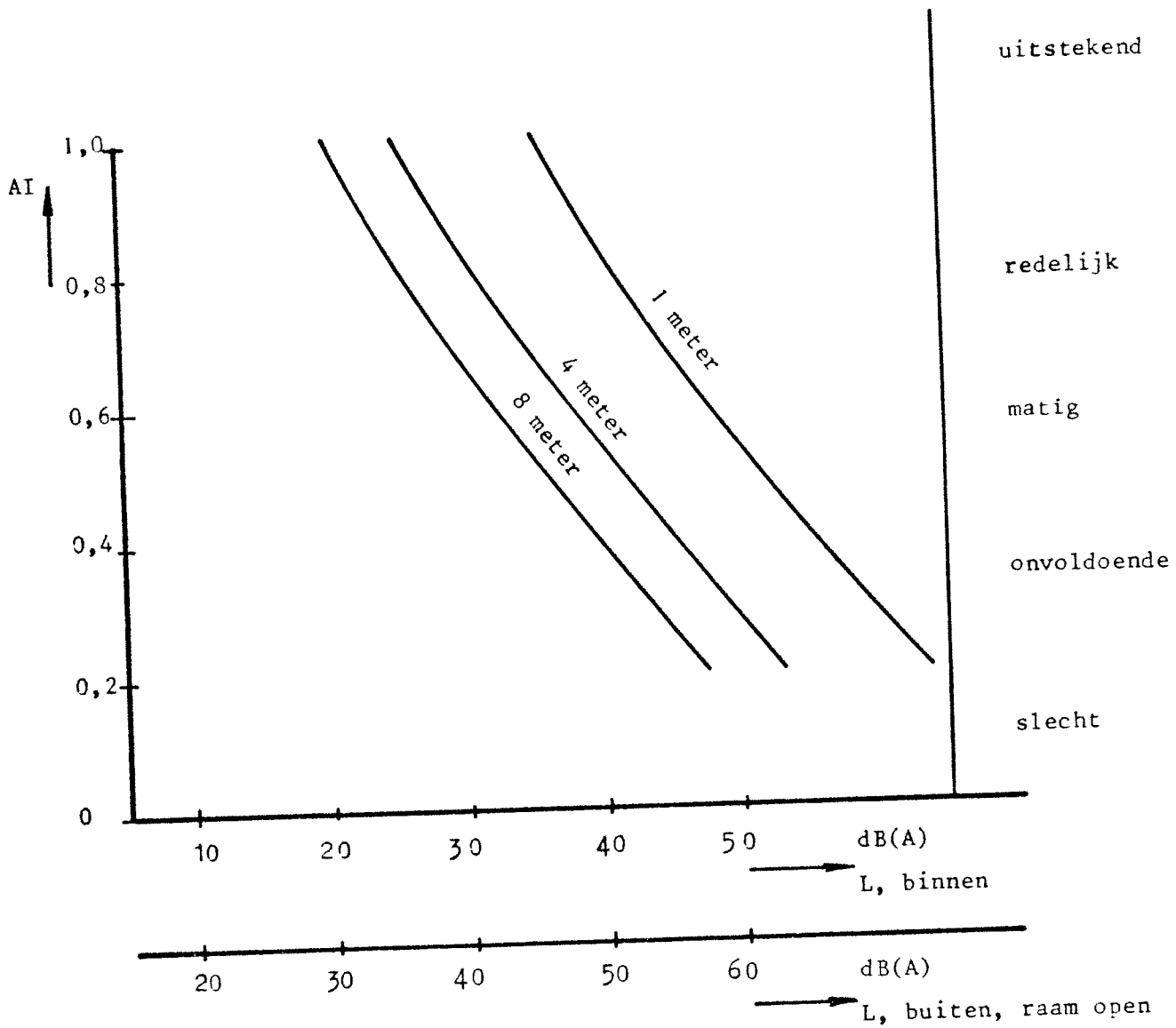
figuur 7: Het bij de Duitse enquête (zie [18]) gevonden verband tussen het percentage sterk gestoord en L_{eq} gedurende de dagperiode (6 h tot 22 h).



figuur 8: Het bij de Duitse enquête (zie [18]) gevonden verband tussen het percentage sterk gestoord en L_{eq} gedurende de nachtperiode (22 h tot 6 h).



figuur 9: De afstand die men bij spreken redelijk kan overbruggen als functie van de sterkte van het stoorgeluid, beschreven met het geluidniveau in dB(A) of met het zg. speech interference level (PSIL). De curve met bijschrift "met aanpassing" geldt indien zoals gebruikelijk de spreker de sterkte van zijn stem aanpast aan de te overbruggen afstand en de sterkte van het stoorgeluid.



figuur 10: De kwaliteit van informatie-overdracht via spraak, beschreven met de articulatie-index (links) resp. met woorden aangeduid (rechts) als functie van de verkeersgeluidsterkte in dB(A), bij verschillende afstanden tussen spreker en luisteraar.



