

*TNO-rapport*  
PG/NGZ/99.023

## **Beoordeling van geluidpieken in de woonomgeving**

### **TNO Preventie en Gezondheid**

**Volksgezondheid**  
Gortergebouw: Wassenaarseweg 56  
Postbus 2215  
2301 CE Leiden

Telefoon 071 518 18 18  
Fax 071 518 19 20

Datum

Oktober 1999

Auteurs

H.M.E. Miedema  
W. Passchier-Vermeer

Het kwaliteitssysteem van  
TNO Preventie en Gezondheid  
voldoet aan ISO 9001.

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

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

© 1999

Auteur

HME Miedema

Projectnummer

011.40438/01.01

ISBN-nummer

Deze uitgave is te bestellen door het overmaken van *f* 21,= (incl. BTW) op postbankrekeningnummer 99.889 ten name van TNO-PG te Leiden onder vermelding van bestelnummer PG/VGZ/99.023

## Samenvatting

Dit rapport betreft geluid in de woonomgeving dat is samengesteld uit in de loop van de tijd te onderscheiden afzonderlijke geluiden. Dit zijn bijvoorbeeld geluiden afkomstig van bewegende geluidbronnen zoals overkomende vliegtuigen, passerende vrachtwagens, en passerende treinen, en geluiden van vaste bronnen zoals schietterreinen en industriële vestigingen. Hoewel het voor de in het rapport gehanteerde modellen niet nodig is een grens te stellen aan de duur van een geluidgebeurtenis, gaan we er voor de gedachtebepaling van uit dat een geluidgebeurtenis niet langer dan één minuut duurt.

In dit rapport is er van uitgegaan dat blootstelling aan omgevingsgeluid beschreven wordt met buiten aan de gevels van woningen bepaalde waarden van een  $L_{Aeq}$ -maat over het etmaal in verband met geluidhinder en met binnen in de woningen bepaalde waarden van een  $L_{Aeq}$ -maat over de nacht (23.00 – 07.00 uur) in verband met slaapverstoring. Er wordt verondersteld dat voor deze maten grenswaarden zijn vastgesteld. Onderzocht is of het daarnaast nodig is individuele geluidgebeurtenissen te beschrijven met SEL of  $L_{Amax}$  en deze maten aan een maximum te binden. Geluidgebeurtenissen kunnen een impuls-, tonaal- en/of laagfrequent karakter hebben, die elk een extra effect op hinder en slaapverstoring kunnen veroorzaken. Er wordt van uitgegaan dat op de waarden van SEL en van  $L_{Amax}$  van geluidgebeurtenissen en op de waarde van een  $L_{Aeq}$ -maat zo nodig correcties zijn toegepast om deze extra effecten in rekening te brengen. Het valt buiten het bestek van dit rapport om richtlijnen te geven voor de hoogten van deze correcties. Wel is in hoofdstuk 2 van het rapport de indicatie gegeven dat voor impulsgeluid een correctie van 10 tot 15 dB(A) noodzakelijk zou kunnen zijn.

Besproken aspecten van geluidgebeurtenissen die al dan niet of niet direct met SEL of  $L_{Amax}$  samenhangen zijn angst, schrik- en aandachtsreacties, ontwaken, gespreksonderbreking, trillingen (en andere factoren zoals roet en stank) en vermeende vermijdbaarheid. Alleen in verband met ontwaken en gespreksonderbreking kan een aanvullende maat om geluidpieken te beperken, nuttig zijn.

Het is nagegaan welke beperking een grenswaarde voor  $L_{Aeq}(23-07)$  impliceert voor het maximaal te verwachten aantal tussentijdse ontwakingen per jaar door nachtelijke geluidgebeurtenissen. Daartoe is een model gehanteerd met een aantal aannames en onzekerheden:

- de expositie effect relatie die gebruikt wordt, dient als voorlopig gezien te worden;
- deze expositie effect relatie is afgeleid uit onderzoek dat voornamelijk betrekking heeft op verkeersgeluiden. Er zijn vrijwel geen gegevens over ontwaken door schietgeluiden of impulsgeluiden afkomstig van industriële vestigingen;
- ter vereenvoudiging wordt verondersteld dat de kansen op ontwaken door verschillende geluidgebeurtenissen onafhankelijk van elkaar zijn;
- er wordt van uit gegaan dat men in de periode van 23.00 tot 07.00 uur slaapt, afgezien van tussentijds ontwaken door geluidgebeurtenissen.

Met deze veronderstellingen en 25 dB(A) als grenswaarde voor  $L_{Aeq}(23-07)$  in de slaapkamer van een bewoner worden bij die bewoner maximaal 30 ontwaakreacties in een jaar verwacht door geluidgebeurtenissen in de perioden van 23.00 tot 07.00 uur.

Tevens is nagegaan welke beperking grenswaarden voor  $L_{Aeq}(23-07)$  en  $L_{den}$  impliceren voor het maximaal verwachte aantal gespreksonderbrekingen door geluid per jaar. Vanwege een groot aantal onzekerheden moesten diverse veronderstellingen worden gemaakt:

- de expositie effect relatie die gebruikt wordt, dient als zeer voorlopig gezien te worden;
- deze expositie effect relatie is afgeleid uit onderzoek dat voornamelijk in het laboratorium heeft plaatsgevonden;
- de geluidisolatie is bij gesloten venster 21 dB(A) en bij venster op een kier 15 dB(A);
- de afstand van spreker en toehoorder is ongeveer 1 m;
- er wordt overdag 10% van de tijd een gesprek gevoerd;
- het percentage van de tijd dat men tussen 07.00 en 23.00 uur binnen is met gesloten venster, binnen is met venster op een kier, buiten is in tuin of op balkon respectievelijk gelijk is aan 75, 22 en 3%.

Met 50 dB(A) als limiet voor  $L_{den}$  buiten aan de gevel worden maximaal ongeveer 300 onderbrekingen van een conversatie in een jaar verwacht, waaronder drie kwart van deze onderbrekingen tijdens gesprekken buiten. De gekozen waarde van  $L_{den}$  ligt ongeveer op het niveau van de huidige streefwaarde. De uitkomst suggereert dat, als de gemaakte veronderstellingen juist zijn, bij realisatie van deze streefwaarde de gegarandeerde bescherming tegen communicatieverstoring beperkt is.

Aanbevolen wordt om na te gaan in hoeverre de empirische veronderstellingen die gehanteerd zijn bij de berekeningen, juist zijn en een analyse uit te voeren die laat zien hoe gevoelig de uitkomsten zijn voor onzekerheden in deze empirische veronderstellingen.

Voor een drietal praktijksituaties (rond een luchthaven, bij een rangeerterrein voor treinen, en bij een industrieterrein met af en aan rijdende vrachtwagens) is op basis van gegevens over geluidgebeurtenissen in die situaties geschat hoeveel ontwakingen per jaar bij een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 25 dB(A) in de slaapkamer ten gevolge van die geluidgebeurtenissen optreden. De gehanteerde voorbeelden zijn gekozen omdat er waarden van  $L_{Amax}$  of SEL van individuele gebeurtenissen beschikbaar waren. Aan deze voorbeelden moet dus geen algemene geldigheid worden ontleend. Voor de voorbeelden blijkt dat de verhoudingen tussen de te verwachten incidentie van tussentijds ontwaken door geluid en de maximale incidentie voor alle drie de situaties met een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 25 dB(A) op ongeveer 0,8 ligt. Voor de drie beschouwde situaties blijkt dat geluidgebeurtenissen met SEL waarden rond 59 dB(A) - die aan het aantal ontwakingen relatief veel bijdragen in vergelijking tot hun bijdrage aan het equivalente geluidniveau - relatief veel voorkomen. De berekeningen illustreren ook dat in de praktijk niet de meest ongunstige situatie optreedt. Daarom zou, als een bepaald maximaal aantal ontwakingen per jaar als criterium voor een grenswaarde genomen wordt, een (iets) hogere waarde van  $L_{Aeq}(23-07)$  binnen toegelaten kunnen worden dan op basis van de ongunstigste situatie wordt berekend. Stel dat het maximaal toelaatbare aantal tussentijdse ontwakingen op 30 per jaar wordt gesteld. In het ongunstigste geval treedt bij een  $L_{Aeq}(23-07)$  binnen van 25 dB(A) dit aantal ontwakingen op en op basis daarvan zou de grenswaarde op 25 dB(A) gesteld moeten worden. Als de gevonden verhouding van 0,8 in rekening wordt gebracht, zou een waarde van  $L_{Aeq}(23-07)$  van 26 dB(A) binnen als grenswaarde genomen kunnen worden. Immers, bij een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 26 dB(A) binnen is het maximaal aantal te verwachten tussentijdse ontwakingen 39 per jaar en het verwachte aantal werkelijk optredende ontwakingen 31 ( $0,8 \times 39$ ).

De centrale vraag in dit rapport is of het nodig is een grenswaarde vast te stellen voor SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele gebeurtenissen in aanvulling op  $L_{Aeq}$  maten. Ten behoeve van de beslissing over het al dan niet invoeren van SEL of  $L_{Amax}$  voor het beperken van de frequentie waarmee een bepaald effect verwacht wordt op te treden, is in een stappenschema gegeven. Het schema is in een voorbeeld uitgewerkt voor tussentijds ontwaken voor situaties met geluidgebeurtenissen met dezelfde SEL waarde. De uitkomst hangt af van zowel de grenswaarde  $L$  voor  $L_{Aeq}(23-07)$

als van het maximaal toelaatbaar aantal ontwakingen per jaar ( $Z$ ). Op basis van  $Z$  wordt de waarde  $L'$  van  $L_{Aeq}(23-07)$  geschat, waarbij  $Z$  tussentijdse ontwakingen per jaar juist maximaal kunnen optreden. Als dit niveau  $L'$  lager is dan de grenswaarde  $L$ , moet of de grenswaarde  $L$  verlaagd worden tot  $L'$  of een grenswaarde voor SEL (of  $L_{Amax}$ ) ingevoerd worden. Een grenswaarde voor SEL die voldoende laag is om in alle situaties (met  $L_{Aeq}(23-07)$  gelegen tussen  $L'$  en  $L$ ) te voorkomen dat meer dan  $Z$  ontwakingen per jaar op kunnen treden, ligt slechts weinig boven de drempel voor ontwaken (SEL binnen gelijk aan 55 dB(A)). Het is dan ook zeer de vraag of invoering van een grenswaarde voor SEL praktisch en beleidsmatig wenselijk en mogelijk is. In een voorbeeld is de grenswaarde  $L$  voor  $L_{Aeq}(23-07)$  in de slaapkamer gelijk gekozen aan 30 dB(A) en het maximaal toelaatbaar aantal ontwakingen aan 30 per jaar. Met een maximaal toelaatbaar aantal ontwakingen van 30 per jaar is  $L'$  in de slaapkamer gelijk aan 25 dB(A). Dit betekent dat verlaging van de grens voor  $L_{Aeq}(23-07)$  in de slaapkamer van 30 naar 25 dB(A) nodig is om in alle gevallen te garanderen dat het maximaal geaccepteerde aantal tussentijdse ontwakingen, namelijk 30 per jaar, in geen situatie overschreden wordt. Als er voor gekozen wordt niet de grens voor  $L_{Aeq}(23-07)$  in de slaapkamer te verlagen, maar een grens voor SEL in te voeren moet deze op 55,6 dB(A) of lager vastgesteld worden. Alleen dan garandeert een grens voor SEL een beperking tot maximaal 30 ontwakingen per jaar. Deze SEL waarde van 55,6 dB(A) in de slaapkamer komt globaal overeen met een SEL waarde van 71 (slaapkamerraam op een kier) tot 77 dB(A) (gesloten slaapkamerraam) buiten aan de gevel. Voor impulsgeluiden (rekening houdend met een impulscorrectie van 13 dB(A)) impliceert dit een  $L_{Amax}$  (gemeten op stand F) van 67 tot 73 dB(A). Voor geluid afkomstig van vliegtuigpassages, waarbij geen correcties zijn toegepast voor tonale, impuls en laagfrequent componenten, komt deze range van SEL globaal overeen met een range van  $L_{Amax}$  van 56 tot 65 dB(A).

Een alternatieve methode om de incidentie van een bepaald effect in een concrete situatie te beperken gaat uit van de verdeling van SEL waarden in die situatie. Met behulp van een relatie tussen SEL en kans of effect kan op basis van die verdeling een schatting gemaakt worden van de incidentie van het effect. Deze schatting wordt vervolgens getoetst aan het gekozen criterium voor de maximaal toelaatbare incidentie. Voor de drie onderzochte praktijksituaties was echter de verwachte incidentie van ontwaakreacties maar weinig lager dan de maximale incidentie bij een gelijk  $L_{Aeq}(23-07)$ . Om de maximale incidentie van ontwaakreacties te beperken tot 30 per jaar, is een grenswaarde van  $L_{Aeq}(23-07)$  nodig van 25 dB(A). Voor de drie onderzochte situaties is op basis van de verdelingen van de (relatieve) SEL waarden vastgesteld dat een  $L_{Aeq}$  van maximaal

26 dB(A) zou kunnen worden toegelaten om het verwachte aantal ontwakingen te beperken tot 30 per jaar. Dit betekent dat de alternatieve methode, waarvoor de verdeling van SEL waarden bepaald moet worden, tot een bijna gelijke (verschil 1 dB(A)) beperking van het  $L_{Aeq}$  (23-07) leidt.





## Inhoud

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Samenvatting .....                                                                                              | 3  |
| Inhoud .....                                                                                                    | 9  |
| 1 Achtergrond en vraagstelling.....                                                                             | 11 |
| 2 Invloed van geluidgebeurtenissen op hinder.....                                                               | 14 |
| 3 $L_{Aeq}$ -maten en effecten van individuele gebeurtenissen.....                                              | 18 |
| 3.1 Inleiding.....                                                                                              | 18 |
| 3.2 Relatie tussen SEL en $L_{Amax}$ .....                                                                      | 18 |
| 3.3 De maximale incidentie van een effect .....                                                                 | 20 |
| 3.4 De maximale incidentie van ontwaken .....                                                                   | 22 |
| 3.5 De maximale incidentie van interruptie van conversatie.....                                                 | 24 |
| 4 Verwachte incidentie van ontwaken in concrete situaties .....                                                 | 29 |
| 4.1 Inleiding.....                                                                                              | 29 |
| 4.2 Overvluchten bij Schiphol.....                                                                              | 29 |
| 4.3 Vrachtwagens bij industrieterreinen .....                                                                   | 32 |
| 4.4 Rangeerterrein bij Sittard.....                                                                             | 33 |
| 4.5 Samenvatting.....                                                                                           | 36 |
| 5 Schema voor een besluit over een additionele SEL (of $L_{Amax}$ ) norm in verband met<br>slaapverstoring..... | 37 |
| 5.1 Inleiding.....                                                                                              | 37 |
| 5.2 Schema .....                                                                                                | 37 |
| 5.3 Voorbeeld .....                                                                                             | 39 |
| 6 Conclusie .....                                                                                               | 41 |
| 7 Literatuur .....                                                                                              | 43 |
| ijlage A .....                                                                                                  | 45 |



## 1 Achtergrond en vraagstelling

In het kader van het project Modernisering Instrumentarium Geluidbeleid (MIG) van het ministerie VROM is het stelsel van maten voor geluid van omgevingsbronnen in de woonomgeving onder de loep genomen. Doel was vooral vereenvoudiging. In opdracht van het ministerie is door Miedema (1997) een discussiestuk opgesteld, waarin mogelijkheden voor vereenvoudiging en verbetering beschreven worden. Zeven alternatieven worden in het discussiestuk beschreven, die variëren qua afstand tot de huidige praktijk. Van de zeven zijn er drie onderzocht op consequenties bij de invoering ter vervanging van het huidige stelsel. De nota MIG (Ministerie VROM, 1998) komt tot de conclusie dat voor twee van de drie opties de invoering verder onderzocht moet worden. Bij deze opties worden zowel in relatie tot hinder als voor slaapverstoring op  $L_{Aeq}$  gebaseerde maten gebruikt.

Voor een belangrijk deel parallel aan boven genoemde activiteiten is door een internationale commissie van de Gezondheidsraad op verzoek van de ministeries VROM en VWS advies uitgebracht over mogelijkheden voor vereenvoudiging en verbetering van het Nederlandse stelsel van geluidmaten. Vooralsnog adviseert de commissie in verband met hinder een maat als  $L_{den}$  te gebruiken voor reguliere verkeersbronnen en stationaire bronnen (Gezondheidsraad, 1997), met toeslagen voor onder meer impuls en tonaal geluid. In verband met slaapverstoring wordt een  $L_{Aeq}$  voor een nachtperiode van 23 tot 7 uur ( $L_{Aeq}(23-07)$ ) geadviseerd met gelijksoortige toeslagen als voor  $L_{den}$ .

Ook in Europees kader zijn geluidmaten in discussie. Binnen de Europese Unie wordt gestreefd naar harmonisatie van geluidmaten in verband met het formuleren en implementeren van een Europees geluidbeleid. In juni 1998 is een Europese werkgroep van start gegaan, die voorstellen voor harmonisatie moet doen. De uitgangspunten geformuleerd in het Europees groenboek zijn het gebruik van een op  $L_{Aeq}$  gebaseerde maat, waarbij wordt aangegeven dat mogelijk in aanvulling hierop  $L_{Amax}$  nodig kan zijn.

De bovenstaande ontwikkelingen gaan alle in de richting van een op  $L_{Aeq}$  gebaseerde maat over het etmaal in verband met hinder en een  $L_{Aeq}$  voor de nacht in verband met slaapverstoring. In Nederland worden momenteel de geluidmaten die in verband met hinder worden bepaald (bv  $L_{eq}$ ), vastgesteld voor het invallend geluid buiten op de meest belaste gevel. Voor de  $L_{Aeq}$  geluidmaat die in verband met slaapverstoring door vliegverkeer wordt gehanteerd worden stan-

daard geluidisolatiewaarden afgetrokken om een benadering van het niveau binnen (in de slaapkamer) te krijgen. Een dergelijke benadering kan ook voor de toekomst verwacht worden.

In verband met de boven beschreven ontwikkelingen gaat dit rapport in op de volgende vraag:

Is het nodig het niveau van individuele geluidgebeurtenissen te kwantificeren met SEL of  $L_{Amax}$ , in aanvulling op  $L_{Aeq}$ -maten voor hinder en slaapverstoring met correcties voor impuls karakter, tonale componenten of laagfrequent karakter?

Een *geluidgebeurtenis* is een waarneembare verhoging van het geluidniveau gedurende een beperkte tijd, hooguit enkele minuten, maar meestal (veel) korter. Een geluidgebeurtenis wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld een passage van een vliegtuig, auto of trein, of door schieten, stoten, of bonken.

*SEL* is een geluidmaat waarmee een geluidgebeurtenis gekenmerkt kan worden. SEL wordt bepaald door integratie van de momentane geluidniveaus op tijd  $t$  ( $L(t)$ ) over de duur van de gebeurtenis:

$$SEL = 10 \cdot \lg \int 10^{L(t)/10} dt$$

$L_{Amax}$  is het hoogste geluidniveau gedurende een geluidgebeurtenis. Deze maximale waarde wordt bepaald door integratie van de momentane geluidniveaus over een korte periode. Veelal wordt de tijdconstante van de integratie gelijk gekozen aan 125 ms (stand F (fast) van geluidniveaumeters). Voor overkomende vliegtuigen wordt de tijdconstante van 1 s (stand S(slow) van geluidniveaumeters) gebruikt.

Als een geluidgebeurtenis een impuls-, tonaal- en/of laagfrequent karakter heeft, kunnen de waarden van SEL en van  $L_{Amax}$  met een bepaalde waarde worden verhoogd. Op die manier worden voor deze aspecten aangepaste waarden verkregen. Op de hoogten van de aanpassingen voor tonaal en/of laagfrequent geluid wordt hier niet verder ingegaan. In hoofdstuk 2 is aangegeven dat voor impuls geluid een aanpassing van 10 tot 15 dB(A) noodzakelijk zou zijn. Het valt verder buiten het bestek van dit rapport om hier richtlijnen voor aan te geven.

De definitie van  $L_{Aeq,T}$  over periode T (in s) is als volgt:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg 1/T \int_0^T 10^{L(t)/10} dt$$

Het gebruik van SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele geluidgebeurtenissen kan zinvol zijn als aan elk van de volgende drie voorwaarden wordt voldaan:

- A. geluidgebeurtenissen dragen sterker bij aan nadelige effecten (hinder, slaapverstoring) dan tot uitdrukking komt in hun bijdrage aan  $L_{Aeq}$ -maten met correcties voor impuls karakter, tonale componenten of laagfrequent karakter;
- B. de extra nadelige effecten van geluidgebeurtenissen zijn voorspelbaar aan de hand van de SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele geluidgebeurtenissen;
- C. deze extra nadelige effecten treden op bij niveaus van individuele gebeurtenissen die niet door grenswaarden voor  $L_{Aeq}$ -maten uitgesloten worden of door grenswaarden voor  $L_{Aeq}$ -maten in frequentie van voorkomen voldoende beperkt worden.

In hoofdstuk 2 komen aspecten van geluidgebeurtenissen aan de orde die mogelijk een extra nadelig effect hebben (punt A), waarna in hoofdstuk 3 de voorspelbaarheid van een nadelig effect met SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele geluidgebeurtenissen besproken wordt (punt B). In hoofdstuk 5 wordt nader ingegaan op de relatie tussen  $L_{Aeq}$ -maten en niveaus van individuele gebeurtenissen in termen van SEL of  $L_{Amax}$  (punt C). Hoofdstuk 4 geeft een drietal voorbeelden van situaties waarin de SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele geluidgebeurtenissen bekend zijn, op basis waarvan berekeningen over het aantal tussentijdse ontwakingen zijn uitgevoerd.

Om de bespreking concreet te maken, veronderstellen we dat  $L_{den}$  gebruikt wordt in relatie tot hinder en  $L_{Aeq}(23-07)$  in relatie tot slaapverstoring. Verder veronderstellen we dat deze maten, en de geluidmaten voor één geluidgebeurtenis, zonodig gecorrigeerd zijn voor het extra effect van impuls, tonaal of laagfrequent karakter, zodat deze aspecten hier buiten beschouwing kunnen blijven. De bespreking hangt niet af van de keuze voor  $L_{den}$  en  $L_{Aeq}(23-07)$  en gaat, mutatis mutandis, ook op voor andere  $L_{Aeq}$ -maten.

Met nadruk wordt er op gewezen dat de in hoofdstuk 4 gegeven voorbeelden voor vliegverkeer, industriële bedrijvigheid en rangerend treinverkeer slechts dienen als illustratie van de in de eerste hoofdstukken gepresenteerde modellen

## 2 Invloed van geluidgebeurtenissen op hinder

Dit hoofdstuk gaat in op de vraag welke aspecten van geluidgebeurtenissen kunnen veroorzaken dat de gebeurtenissen een extra negatief effect hebben op hinder dan verwacht op grond van hun bijdrage aan  $L_{Aeq}$ -maten. Tevens wordt besproken welke van deze aspecten samenhangen met SEL of  $L_{Amax}$  en beperkt kunnen worden door het stellen van grenzen aan de SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele geluidgebeurtenissen. Het gaat hier om een verhoging van de hinder, niet om een toename van klachten. Uit bijvoorbeeld de klachten die de Commissie Geluidhinder Schiphol ontvangt blijkt dat het aantal klachten en het aantal klagers sterk samenhangt met de passage van vliegtuigen die voor een bepaalde woonsituatie extra lawaaiig zijn. De volgende aspecten die samenhangen met geluidgebeurtenissen en mogelijk oorzaak zijn van een extra nadelig effect, worden besproken:

- angst;
- schrik- en aandachtsreacties;
- tussentijds ontwaken;
- gespreksonderbreking ten gevolge van de mogelijkheid van onverstaanbaarheid;
- trillingen;
- vermijdbaarheid.

Angst is een belangrijke determinant van hinder. Bij gelijke geluidbelasting in termen van  $L_{den}$  ondervinden mensen bij wie geluid angst oproept, beduidend meer hinder. Mogelijk wordt dit verklaard door een verhoogde aandacht voor het geluid in verband met de associatie met gevaar. Mensen die veel angst hebben voor gevaar verbonden aan de geluidbron, ondervinden een mate van geluidhinder die bij mensen zonder die angst pas optreedt bij een  $L_{den}$  dat (maximaal) 19 dB(A) hoger is (Miedema en Vos, 1999). Dit betekent dat geluidgebeurtenissen die angst oproepen en waarbij geluid met gevaar wordt geassocieerd, meer bijdragen aan hinder dan verwacht wordt op grond van hun bijdrage aan een  $L_{Aeq}$ -maat. Voorbeelden van dergelijke geluidgebeurtenissen zijn zeer laag overkomende vliegtuigen en hard geluid ten gevolge van een storing in een productieproces.

Angst wordt niet zozeer veroorzaakt door een hoog geluidsniveau, maar door het gevoel dat het geluid duidt op gevaar. Het stellen van grenzen aan SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele gebeurtenissen is dus geen effectieve manier om dit effect tegen te gaan. Een directe benadering, in de vorm van het handhaven van minimum overvlieghoogten of adequate informatievoorziening bij uitzonderlijke bedrijfsomstandigheden, lijkt effectiever ten aanzien van het reduceren van angst.

*Schrikken* kan veroorzaakt worden door een onverwachte, snelle toename van het geluidniveau. Ook als er geen sprake is van schrikken, kan een onverwachte, snelle toename extra verstorend zijn doordat het de aandacht trekt. Bij een onverwachte geluidgebeurtenis waarvan het niveau snel toeneemt, kan men zich niet 'instellen' op die gebeurtenis. Als een geluidgebeurtenis verwacht wordt, zal de toenamesnelheid aan het begin van de geluidgebeurtenis van minder belang zijn.

Laboratoriumonderzoek van McKinley et al. laat zien hoe het extra negatieve effect gerelateerd is aan de stijgsnelheid  $R$  van het geluidniveau aan het begin van een geluidgebeurtenis. Tot circa 15 dB/s is er geen extra negatief effect. In deze categorie valt geluid van vrijwel alle verkeer (weg, rail, vlieg). Tussen 15 en 150 dB/s neemt het extra negatieve effect ongeveer lineair toe met  $\lg R$ . Tot deze groep behoren laag overkomende straaljagers. De hinderlijkheid van een gebeurtenis in dit bereik komt overeen met de hinderlijkheid van een gebeurtenis met lage stijgsnelheid ( $< 15$  dB/s) met een  $11 \cdot \lg(R/15)$  hogere waarde van SEL. Geluidgebeurtenissen met een stijgsnelheid van 150 dB/s of hoger hebben een extra hinderlijkheid die overeenkomt met 11 dB. Impulsgeluid bij het uitdeuken van containers, op een scheepswerf, of bij schietoefeningen valt in deze categorie. De verhoging met 11 dB sluit goed aan bij de extra hinderlijkheid voor impulsen gevonden in veldonderzoek. Vos (1995, 1996) komt op basis van een literatuuroverzicht tot de conclusie dat impulsgeluid evenveel hinder veroorzaakt als wegverkeer met een  $L_{dn}$  dat 10 - 15 dB(A) hoger is. Schrikreacties worden primair veroorzaakt door een onverwachte, snelle toename van het geluidniveau, niet door het niveau op zich. Luide gebeurtenissen die verwacht worden of geleidelijk opgebouwd worden, zullen niet tot schrikken leiden en ook minder de aandacht trekken dan onverwachte, snel toenemende geluidniveaus. Het onverwacht zijn is moeilijk te kwantificeren. Aan hoge stijgsnelheden zijn straffactoren te verbinden, zoals door de Gezondheidsraad (1997) ook wordt geadviseerd. Het stellen van grenzen aan SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele geluidgebeurtenissen in aanvulling hierop lijkt onnodig.

*Ontwaken* wordt beschouwd als het meest negatieve effect dat een enkele geluidgebeurtenis tijdens de nachtrust kan hebben, maar de drempel voor ontwaken door verkeers- en industriege-luiden is tamelijk hoog in verhouding tot de drempel voor andere nadelige effecten. Gebeurtenissen met lagere niveaus kunnen bijdragen aan hinder die men door geluiden ervaart als men (nog) niet slaapt, gedurende de perioden dat men tussentijds wakker ligt en als men voortijdig is ontwaakt. Personen die aan een situatie met bepaalde nachtelijke geluiden gewend zijn, hebben globaal pas kans wakker te worden door een geluidgebeurtenis als deze een SEL waarde heeft

van tenminste 55 dB(A) ter plaatse van hun hoofd (zie hoofdstuk 3). Deze waarde van 55 dB(A) is door de Gezondheidsraad (1997) voorgesteld.

Een waarde van 55 dB(A) in een slaapkamer met een raam op een kier komt voor de meeste vormen van verkeers- en industriegeluid *globaal* overeen met 70 dB(A) buiten aan de gevel (15 dB(A) isolatie). Dezelfde waarde van 55 dB(A) in een slaapkamer komt *globaal* overeen met 76 dB(A) buiten aan de gevel als de ramen gesloten zijn. Ontwaken door verkeers- of industriege-luid treedt *globaal* dus nauwelijks op als buiten aan de gevel de SEL waarde van een gebeurtenis lager ligt dan respectievelijk 70 of 76 dB(A). Geluidgebeurtenissen met een hogere SEL kunnen mogelijk meer bijdragen aan hinder dan verwacht op grond van hun bijdrage aan een  $L_{Aeq}$ -maat, omdat mensen er wakker van worden.

Ontwaken hangt wel in belangrijke mate direct af van het niveau van een geluidgebeurtenis. Het gebruik van SEL heeft in dit verband de voorkeur omdat naast het maximale niveau ook de duur van een geluidgebeurtenis een rol speelt bij ontwaken (Gezondheidsraad, 1997). Deze duur weegt in  $L_{Amax}$  niet mee, in SEL wel. Daarnaast is naar verwachting de kans op ontwaken groter bij ongebruikelijke (onverwachte) geluidgebeurtenissen waarbij het niveau snel toeneemt. In ver-band hiermee heeft de Gezondheidsraad (1997) geadviseerd om op het  $L_{Aeq}$  voor de nacht ook onder meer de straffactoren voor impuls karakter toe te passen.

Het gevoel van iemand die spreekt *onverstaanbaar* te kunnen zijn leidt tot onderbreking van het gesprek en is daarmee een uiterste vorm van communicatieverstoring, die ook invloed heeft op de mogelijkheid voor en het verloop van sociale activiteiten. Onder invloed van geluid kan het comfort tijdens een gesprek afnemen doordat er harder gesproken moet worden bij ongewijzigde afstand tussen de gesprekspartners. In hoofdstuk 3 wordt aannemelijk gemaakt dat men een gesprek op een onderlinge afstand van 1 m door het optreden van een geluidgebeurtenis niet onderbreekt als die geluidgebeurtenis een SEL waarde heeft die lager ligt dan 65 dB(A) op de plek van de spreker (zie hoofdstuk 3). Met nadruk wordt hier gesteld dat dit een voorlopige uitspraak is. Ook wordt hier geen rekening gehouden met het feit dat 1 m niet altijd de afstand tussen spreker en toehoorder is en dat er grote interindividuele verschillen zijn in de sterkte van de spraak. Uitgaande van een isolatie van 21 dB(A) met de ramen dicht is er *globaal* kans op gespreksonderbreking binnen, met een afstand tussen de gesprekspartners van 1 m, wanneer SEL groter is dan 86 dB(A), bepaald aan de gevel buiten. Dit impliceert dat interrupties vooral buiten (in de tuin, op het balkon) en met de ramen open binnen zullen plaatsvinden. In situaties met zeer harde geluidgebeurtenissen zullen interrupties zich ook binnen voordoen met de ramen dicht.



Mogelijk heeft voor veel situaties  $L_{Amax}$  een sterkere relatie met de kans op gespreksonderbreking dan SEL. Wel is een langdurige onderbreking door een aanhoudend hoog niveau, bijvoorbeeld door een passerende goederentrein, hinderlijker dan een kortstondige interruptie.

*Trillingen* maar ook stank en roet kunnen optreden als gevolg van dezelfde gebeurtenis die een geluid veroorzaakt. Deze andere factoren kunnen mogelijk bijdragen aan een verhoogde ergernis en angst door een gebeurtenis, wat vertaald kan worden in een hogere geluidhinder. Dit betekent dat gebeurtenissen die ook andere vormen van overlast veroorzaken, een onevenredig effect op de geluidhinder zouden kunnen hebben. Voorbeelden van dergelijke gebeurtenissen zijn zware vrachtwagens die ook trillingen, stank en roet veroorzaken, vliegtuigen die trillingen van huis en huisraad teweeg brengen, en explosies bij militaire oefeningen die trillingen veroorzaken.

Trillingen kunnen optreden bij luide gebeurtenissen maar combinatie met sterk geluid is niet noodzakelijk, vooral niet wanneer trillingen in de woning voornamelijk door overdracht via de bodem (weg- en railverkeer, industrie) tot stand komen. SEL of  $L_{Amax}$  geven een indirecte indicatie voor het optreden van trillingen (Passchier-Vermeer, 1998a en 1998b). Om trillingen terug te dringen is het effectiever een maat in te voeren voor trillingen (weg- en railverkeer, industrie) of het laagfrequente geluid te beperken. Hetzelfde geldt, *mutatis mutandis*, voor roet en stank veroorzaakt tijdens gebeurtenissen die ook een hoog geluidniveau veroorzaken.

Als men van mening is dat het geluid van een gebeurtenis of de gebeurtenis zelf *vermijdbaar* is, zijn deze geluidgebeurtenissen extra hinderlijk. Het gevoel dat een hinderlijke blootstelling aan geluid onnodig plaatsvindt, versterkt de irritatie over het geluid. Voorbeelden van geluid dat men over het algemeen vermijdbaar acht, is het geluid van luide brommers en motoren en van zeer laag overkomende vliegtuigen.

Vermijdbaar geluid is niet alleen extra ergerlijk als het een hoog niveau heeft. Voor het terugdringen van vermijdbaar geluid lijken gedragsbeïnvloeding, lokale verordeningen om het gebruik van geluidbronnen op bepaalde tijden te beperken, emissie-eisen, middelenvoorschriften, en handhaving van deze eisen en voorschriften het meest effectief. Het harde geluid van brommers kan bijvoorbeeld direct bestreden worden door het toepassen van bestaande emissie-eisen.

### 3 $L_{Aeq}$ -maten en effecten van individuele gebeurtenissen

#### 3.1 Inleiding

Ontwaken en gespreksonderbreking kunnen beperkt worden door het stellen van grenzen aan de SEL of  $L_{Amax}$  voor individuele geluidgebeurtenissen. In dit hoofdstuk komt aan de orde of dergelijke grenzen nodig zijn, gegeven de beperkingen die grenzen gesteld in termen van  $L_{Aeq}$  reeds inhouden voor SEL of  $L_{Amax}$ . Deze beperkingen zijn eenduidiger voor SEL dan voor  $L_{Amax}$ . Als slechts één type geluidgebeurtenis met dezelfde waarde van SEL voorkomt, dan gelden de volgende relaties:

$$(1a) \quad L_{Aeq} = SEL + 10 \lg N - 10 \lg T$$

$$(1b) \quad L_{den} = SEL + 10 \lg [N(7-19) + 3,16N(19-23) + 10N(23-07)] - 74,9$$

$L_{Aeq}$  heeft betrekking op een periode met duur  $T$  (in s), die eventueel een jaar kan zijn, en  $L_{den}$  heeft gewoonlijk betrekking op een jaar. SEL is het sound exposure level van een geluidgebeurtenis en  $N$  het aantal gebeurtenissen in de desbetreffende periode.  $N(7-19)$  is het aantal geluidgebeurtenissen tussen 7 en 19 uur,  $N(19-23)$  het aantal tussen 19 en 23 uur en  $N(23-07)$  het aantal tussen 23 en 7 uur. Bij de berekening van  $L_{den}$  is uitgegaan van een toeslag van 10 dB(A) op de geluidsniveaus van geluid in de periode van 23 tot 7 uur en van 5 dB(A) op die van 19 tot 23 uur. De constante in vergelijking (1b) is verkregen door 10 maal de logaritme van de duur van een jaar in seconden te nemen:  $74,9 = 10 \lg (365 \times 24 \times 60 \times 60)$ . De vergelijkingen (1a) en (1b) maken duidelijk dat grenswaarden in termen van  $L_{den}$  en  $L_{Aeq}$  het aantal gebeurtenissen met hoge SEL beperkt. In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe daarmee het verwachte aantal keer dat een effect optreedt, beperkt wordt als de kans op het effect toeneemt met de SEL van een geluidgebeurtenis. Omdat ook  $L_{Amax}$  (tijdconstante: 125 ms) vaak gebruikt wordt om de niveaus van een geluidgebeurtenis mee te karakteriseren, wordt eerst de relatie tussen  $L_{Amax}$  en SEL besproken.

#### 3.2 Relatie tussen SEL en $L_{Amax}$

De relatie van SEL met  $L_{Amax}$  is in het algemeen niet eenduidig. Voor één type geluidgebeurtenis kan de relatie wel eenduidig zijn. We gaan hier in op de relatie van SEL met  $L_{Amax}$  voor geluid-

gebeurtenissen waarvan het patroon van het geluidniveau als functie van de tijd een blokvorm of een 'tentvorm' heeft en op de relatie voor impulsgeluiden.

Bij een geluidgebeurtenis met een blokvorm neemt het geluidniveau aan het begin zeer snel toe, is dan tijd  $t$  (in s) constant en neemt aan het eind zeer snel af. Dit is een redelijk benadering als de bijdrage aan de SEL tijdens de perioden met toenemend en afnemend geluidniveau verwaarloosbaar is ten opzichte van de bijdrage tijdens de tussenliggende periode met een constant niveau. Het geluid van een dichtbij passerende, lange trein kan bijvoorbeeld op deze wijze benaderd kan worden. Voor een blokvormige gebeurtenissen geldt:

$$(2) \quad \text{SEL} = L_{A\max} + 10 \lg t.$$

Als  $t$  ligt tussen 3 en 30 s, dan is SEL 5 tot 15 dB(A) hoger dan  $L_{A\max}$ .

Bij een geluidgebeurtenis met een geluidpatroon als een tentvorm neemt het geluidniveau lineair toe met snelheid  $a$  (in dB(A)/s), is dan zeer kort op het maximale niveau en neemt tenslotte lineair af met snelheid  $-a$ . Een tentvorm is een redelijk benadering als de bijdrage aan SEL tijdens de periode met toenemend en afnemend geluidniveau groot is ten opzichte van de bijdrage rond het maximum. Het geluid van een op grote afstand passerend vliegtuig kan bijvoorbeeld op deze wijze benaderd worden. Voor een geluidgebeurtenis met een tentvorm geldt (zie bijlage A):

$$(3) \quad \text{SEL} = L_{A\max} - 10 \lg a + 9,4.$$

Als  $a$  ligt tussen 9 en 1 dB(A)/s, dan is SEL 0 tot 9 dB(A) hoger dan  $L_{A\max}$ . Voor de meeste vormen van vlieg-, weg- en railverkeer is, vooral afhankelijk van de afstand tot de bron, de stijgsnelheid  $a$  meestal in de orde van grootte van enkele dB(A)/s en kleiner dan 5 dB(A)/s. Ollerhead (1992) heeft bijvoorbeeld op grond van metingen rond een aantal luchthavens het volgende statistische verband gevonden voor buiten bepaalde waarden van vliegtuigpassages:  $\text{SEL} = 0,8 L_{A\max} + 25$ . Dit is in overeenstemming met (3) wanneer bijvoorbeeld  $a = 2,8$  dB(A)/s als  $L_{A\max} = 100$  dB(A),  $a = 1,1$  dB(A)/s als  $L_{A\max} = 80$  dB(A) en  $a = 0,4$  dB(A)/s als  $L_{A\max} = 60$  dB(A). Dit lijken plausibele combinaties van stijgsnelheid en maximaal niveau.

Impulsgeluiden hebben een zeer snelle toename en afname van het geluidniveau en de duur van de piek is zeer kort. De totale duur van de gebeurtenis is daarmee zeer kort. Aannemend dat de

bijdragen aan de SEL die buiten een tijdvenster van 125 ms vallen, verwaarloosbaar zijn, geldt voor dit type geluiden de volgende relatie:

$$(4) \quad \text{SEL} = L_{A\max} - 9,0.$$

Met bovenstaande relaties kan voor een bepaald type geluidgebeurtenis (blokvormig met bepaalde  $t$ , tentvormig met bepaalde  $a$ , of een impuls) SEL worden afgeleid uit  $L_{A\max}$ . Wij gaan hier verder uit van de beschrijving van een gebeurtenis met SEL.

### 3.3 De maximale incidentie van een effect

De incidentie van een effect (ontwaken in de nacht bijvoorbeeld) is het aantal maal dat een effect in een bepaalde periode optreedt.

Er wordt hier uitgegaan van een vereenvoudiging van de werkelijkheid door aan te nemen dat de kans dat in een bepaalde periode een geluidgebeurtenis een effect veroorzaakt niet afhangt van andere geluidgebeurtenissen in die periode. Bijvoorbeeld, in het geval van tussentijds ontwaken tijdens een nacht door geluidgebeurtenissen wordt aangenomen dat de kans op ontwaken door een bepaalde gebeurtenis niet afhangt van de andere geluidgebeurtenissen eerder in de nacht. Dit lijkt een redelijke veronderstelling als de kans op ontwaken gering is en de geluidgebeurtenissen geruime tijd uit elkaar liggen. In een situatie waarin de kans op ontwaken groot is en de geluidgebeurtenissen elkaar zo snel opvolgen dat de ene gebeurtenis nog van invloed is op de slaapdiepte als de volgende gebeurtenis optreedt, zal er echter een niet verwaarloosbare interactie zijn.

In het model wordt aangenomen dat de kans dat een effect optreedt een functie  $f$  is van de SEL van die gebeurtenis. Dan is de verwachting voor het aantal keer  $n$  dat dit effect optreedt:

$$(5) \quad E(n; \text{SEL}) = N \cdot f(\text{SEL})$$

$N$  is het totaal aantal geluidgebeurtenissen gedurende de beschouwde periode.

Aan de hand van (1) kan hierin  $N$  worden vervangen door een uitdrukking in termen van SEL (uitgegaan wordt van een situatie met gebeurtenissen met gelijke SEL):

$$(6) \quad E(n; SEL) = 10^{(L - SEL + 10 \lg T) / 10} \cdot f(SEL),$$

met  $L_{Aeq}$  afgekort tot  $L$ . Door de afgeleide van  $E(n; SEL)$  over  $SEL$  te bepalen en deze op 0 te stellen wordt gevonden dat het verwachte aantal gebeurtenissen maximaal (of minimaal) is als:

$$(7) \quad f'(SEL) = [(\ln 10) / 10] \cdot f(SEL).$$

Als dus  $f$  bekend is, kan uit bovenstaande vergelijking worden afgeleid voor welke  $SEL$   $E(n; SEL)$  maximaal is (zie ook Passchier-Vermeer, 1994). Door deze waarde in vergelijking (6) voor  $E(n; SEL)$  in te vullen en daar  $L$  vast te stellen op de grenswaarde voor  $L_{Aeq}$ , wordt de maximale incidentie voor het beschouwde effect in een jaar gevonden, gegeven de grenswaarde voor  $L_{Aeq}$ .

We zijn hierbij uitgegaan van een situatie met één type gebeurtenis.

Stel, om het bovenstaande wat verder uit te kunnen werken, dat de kans dat een gebeurtenis een effect heeft, recht evenredig is met  $SEL$ :

$$(8) \quad f(SEL) = a \cdot SEL + b = a(SEL + b/a)$$

Een effect begint dus op te treden als  $SEL = -b/a$ , dat wil zeggen  $-b/a$  is de drempel voor het effect.

Uit (7) en (8) volgt dat het verwachte aantal maal dat een effect optreedt maximaal is als:

$$(9) \quad SEL = -b/a + 10/\ln 10$$

Bij deze maximale incidentie geldt:

$$(10) \quad f(SEL) = 10a/\ln 10$$

Uit (9) blijkt dat bij een lineair verband tussen  $SEL$  en de kans op een effect, de  $SEL$ -waarde waarbij maximale incidentie optreedt, alleen afhangt van de drempel ( $-b/a$ ) voor het effect en niet van de toename  $a$  van de kans op het effect boven de drempel. De  $SEL$  waarde waarbij de maximale incidentie van een effect optreedt ligt  $10/\ln 10 = 4,3$  dB(A) boven de drempel van het effect. De maximale incidentie is volgens (10) wel afhankelijk van de toename  $a$  van de kans op een effect, maar niet van de drempel van het effect.

### 3.4 De maximale incidentie van ontwaken

In deze paragraaf wordt geïllustreerd hoe hantering van een grenswaarde in termen van  $L_{Aeq}$  gedurende de nacht het verwachte aantal maal dat iemand tussentijds door geluidgebeurtenissen wakker wordt, beperkt.

#### *Gehanteerde expositie effect relatie*

Voor de kans op tussentijds ontwaken en de binnenwaarde van SEL van een geluidgebeurtenis wordt de volgende relatie gehanteerd (Gezondheidsraad, 1997):

$$\begin{aligned} f(\text{SEL}) &= 0,0018(\text{SEL} - 55) && \text{voor SEL groter dan 55 dB(A);} \\ f(\text{SEL}) &= 0 && \text{voor SEL kleiner dan 55 dB(A).} \end{aligned}$$

#### *Grenswaarde*

Voor de grenswaarde voor nachtelijk geluid wordt een waarde van  $L_{Aeq}(23-07)$  van 25 dB(A) op jaarbasis gekozen. Deze waarde geldt voor de geluidbelasting binnen in de slaapkamer.

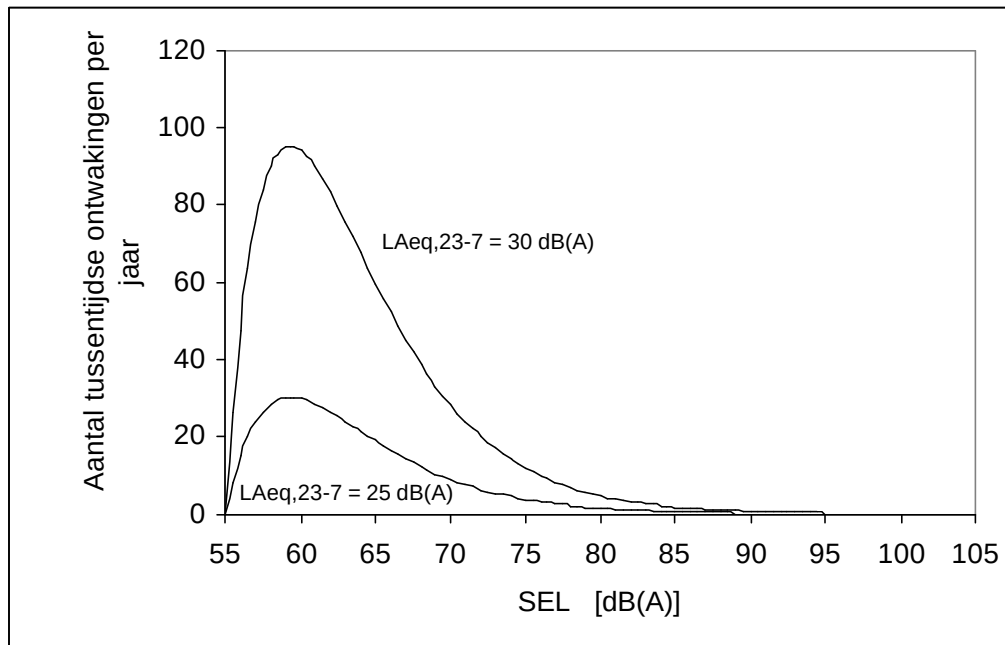
#### *Resultaat*

Met vergelijkingen (8) en (9) vinden we een maximale waarde voor het verwachte aantal ontwaakreacties bij  $\text{SEL} = 59,3 \text{ dB(A)}$ . Het tekenverloop van de afgeleide leert ons dat het hier om een maximum gaat. Door substitutie in vergelijking (6) wordt de maximale incidentie gevonden: 30,2 keer per jaar. Dus met 25 dB(A) als limiet voor  $L_{Aeq}(23-07)$  binnen worden maximaal 30 ontwaakreacties in een jaar verwacht, en wel in het ongunstigste geval dat elke geluidgebeurtenis een SEL waarde heeft van 59,3 dB(A). In figuur 1 is het verband tussen het aantal ontwaken per jaar als functie van SEL van de geluidgebeurtenis weergegeven, waarbij is uitgegaan van  $L_{Aeq}(23-07)$  van 25 dB(A) op jaarbasis en van een kans op slaapverstoring zoals voorgesteld door de Gezondheidsraad (1997). De waarden van SEL kunnen eventueel gecorrigeerd zijn in verband met impuls-, tonale- of laagfrequente componenten. Voor niet gecorrigeerde SEL waarden zijn in tabel 1 de aantallen geluidgebeurtenissen gegeven die behoren bij de in figuur 1 gegeven SEL waarden. Bijvoorbeeld, 333 geluidgebeurtenissen in een jaar (ongeveer één per nacht) met een SEL (binnen in de slaapkamer) gelijk aan 70 dB(A) geven een  $L_{Aeq}(23-07)$  op jaarbasis van 25 dB(A).

*Tabel 1 Aantal geluidgebeurtenissen per jaar met een bepaalde SEL waarde in de slaapkamer die op jaarbasis een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 25 dB(A) geven. Daarbij zijn de SEL waarden niet gecorrigeerd voor impuls-, tonale, of laagfrequent componenten.*

| Waarde van SEL in de slaapkamer (in dB(A)) | Aantal geluidgebeurtenissen per jaar |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| 55                                         | 10520                                |
| 60                                         | 3327                                 |
| 65                                         | 1052                                 |
| 70                                         | 333                                  |
| 75                                         | 105                                  |
| 80                                         | 33                                   |
| 85                                         | 11                                   |
| 90                                         | 3                                    |
| 95                                         | 1                                    |

Het toevoegen van een kwadratische term aan  $f(SEL)$  waardoor de kans op ontwaken vanaf de drempel sneller toeneemt tot een tweemaal zo hoge waarde bij  $SEL = 73 \text{ dB(A)}$ , geeft een verhoging van de plaats van het maximum met 1,6 dB(A) en een toename van het maximaal aantal te verwachten tussentijdse ontwakingen per jaar van 8 (25%) te zien ten opzichte van alleen een lineair verband (zie bijlage A). Aangezien op basis van de huidige gegevens niet verwacht hoeft te worden dat een kwadratische term zo groot als de gekozen noodzakelijk zal zijn om de relatie tussen tussentijds ontwaken en SEL beter aan te laten sluiten aan de realiteit, lijkt het toevoegen van een kwadratische term op voorhand weinig invloed te hebben op de hoogte van het aantal te verwachten tussentijdse ontwakingen.



Figuur 1: Het aantal ontwaakreacties per jaar als functie van SEL. Uitgegaan is van een kans op ontwaken die evenredig is met SEL:  $f(SEL) = 0.0018 (SEL-55)$ . Alle geluidgebeurtenissen hebben gelijke SEL zodat het aantal geluidgebeurtenissen vastligt als de SEL waarde en het  $L_{Aeq}$  gegeven zijn. Hier geldt  $L_{Aeq}(23-07) = 25 \text{ dB(A)}$  respectievelijk  $30 \text{ dB(A)}$ . Wordt een tussenliggende waarde als limiet voor  $L_{Aeq}(23-07)$  genomen, dan worden maximaal het aantal ontwaakreacties voor 26, 27, 28, en 29 dB(A) respectievelijk 38, 48, 60, en 76 in een jaar. SEL kan eventueel gecorrigeerd zijn in verband met impuls-, tonale- of laagfrequente componenten.

### 3.5 De maximale incidentie van interruptie van conversatie

In deze paragraaf wordt geïllustreerd hoe grenswaarden gegeven als  $L_{den}$  gedurende het etmaal en  $L_{Aeq}$  gedurende de nacht het verwachte aantal maal dat gespreksverstoring optreedt door geluidgebeurtenissen, beperkt.



### *Gehanteerde expositie effect relatie*

Standaardcurven voor de kans op onderbreking van een gesprek door luide geluidgebeurtenissen waardoor het achtergrondniveau tijdens een gesprek verhoogd wordt als functie van  $L_{Amax}$  of SEL van deze gebeurtenissen zijn niet bekend. Wel kan een dergelijke voorlopige curve geschat worden op grond van bestaande gegevens (Heusden et al., 1979; Plomp, 1986) over geleverd spraakniveau ('vocal effort') op 1 m van de spreker en het vereiste spraakniveau (SRT = 'speech reception threshold') om verstaanbaar te zijn als functie van het achtergrondgeluidniveau (Houtgast, 1999). Bij een achtergrondniveau van 65 dB(A) is het spraakniveau nog net toereikend om de verstaanbaarheidsdrempel te bereiken (50 % van de zinnen wordt verstaan). Op grond van het verband tussen achtergrondniveau en percentage zinsverstaanbaarheid kan geschat worden (Houtgast, 1999) dat de kans op zinsverstaanbaarheid (lineair) afneemt van 1 bij een achtergrondniveau van 55 dB(A) tot 0 bij een achtergrondniveau van 75 dB(A). In lijn hiermee wordt verondersteld dat de kans op gespreksonderbreking toeneemt van 0 bij een achtergrondniveau van 55 dB(A) tot 1 bij een achtergrondniveau van 75 dB(A). De spreiding van de helling en het intercept voor een lijn voor individuen wordt bepaald door individuele variaties in spraakniveau, de spraakqualiteit, de bereidheid om even extra luid te spreken, andere individuele kenmerken van de spreker en de omstandigheden waarin men spreekt en luistert.

Bij de schatting van deze voorlopige relatie zijn de volgende kanttekeningen te plaatsen (Houtgast, 1999):

- Het geleverde spraakniveau is bepaald op 1 m afstand van de spreker. In de praktijk zal de afstand vaak groter zijn en is dus het ter plaatse van de luisteraar geleverde spraakniveau lager. Dit heeft een negatieve invloed op de spraakverstaanbaarheid;
- Het A-gewogen niveau geeft slechts een ruwe indicatie van de interferentie met spraakverstaan. Hoe meer het spectrum van het achtergrondgeluid afwijkt van het gemiddelde spraakspectrum, des te onbetrouwbarder is het A-gewogen niveau als indicator voor de invloed op spraakverstaan;
- Bij laboratorium experimenten wordt tijdens de gehele duur van een test gebruik gemaakt van min of meer constant achtergrondgeluid. Het effect van de duur van een geluidgebeurtenis is niet onderzocht. Ook in de praktijk speelt de duur van een geluidgebeurtenis een onbekende rol. Bij een korte gebeurtenis zal men eerder even stoppen, terwijl men bij aanhoudend geluid of zal proberen door te praten of de conversatie op de desbetreffende plek geheel zal

afbreken. Bij de vertaling voor de praktijk van het achtergrondniveau van een min of meer constant geluid, zoals in de laboratorium experimenten gebruikt, naar een geluidkenmerk bij een geluidgebeurtenis van beperkte duur moeten er derhalve een aantal aannames gemaakt worden. Als aangenomen wordt voor een blokvormige geluidgebeurtenis dat deze ongeveer 10 s duurt, dan ligt de SEL van deze gebeurtenis 10 dB(A) boven het achtergrondniveau, dat deze gebeurtenis gedurende die 10 s teweegbrengt. Ook voor tentvormige geluidgebeurtenissen wordt aangenomen dat de effectieve duur ongeveer 10 s is en dat een ‘gemiddeld’ achtergrondniveau van deze gebeurtenis 10 dB(A) onder de SEL waarde ligt.

Voorlopig wordt voor de kans op onderbreking van communicatie, als er een gesprek gaande is, en de waarde van SEL van een geluidgebeurtenis ter plaatse van het gesprek, de volgende relatie gehanteerd:

$$\begin{aligned} f(\text{SEL}) &= 0,05(\text{SEL} - 65) && \text{voor SEL gelegen tussen 65 en 85 dB(A);} \\ f(\text{SEL}) &= 1 && \text{voor SEL groter dan 85 dB(A);} \\ f(\text{SEL}) &= 0 && \text{voor SEL kleiner dan 65 dB(A).} \end{aligned}$$

Conversatie vindt over het algemeen niet voortdurend plaats tijdens een bepaalde periode, zodat een deel van de geluidgebeurtenissen geen interruptie veroorzaken omdat er geen conversatie is. Laat  $z$  de kans zijn dat een bepaald persoon op een willekeurig moment aan een gesprek deelneemt. De kans op gespreksonderbreking wordt dan:

$$\begin{aligned} f(\text{SEL}) &= 0,05z(\text{SEL} - 65) && \text{voor SEL gelegen tussen 65 en 85 dB(A);} \\ f(\text{SEL}) &= z && \text{voor SEL groter dan 85 dB(A);} \\ f(\text{SEL}) &= 0 && \text{voor SEL kleiner dan 65 dB(A).} \end{aligned}$$

Gegevens uit veldstudies waarin gevraagd is naar *verstoring van communicatie* door geluid en waarin ook de geluidbelasting bepaald is, bieden geen aanknopingspunten om bovenstaande schatting te verfijnen. De studie met de meest bruikbare gegevens betreft geluid van vliegtuigpassages in de omgeving van Schiphol (TNO en RIVM, 1998). In deze studie is voor iedere respondent die een vragenlijst over onder meer communicatieverstoring invulde de verdeling van de SEL waarden van de vliegtuigpassages gedurende een jaar vastgesteld voor verschillende perioden van de dag. Ten behoeve van de onderhavige studie zijn de SEL waarden van de vliegtuigpassages gedurende het jaar ingedeeld in klassen met een breedte van 5 dB(A). Vervolgens is nagegaan welke lineaire combinatie van de aantallen gebeurtenissen per SEL-klasse de beste

voorspelling van de gerapporteerde communicatieverstoring geeft (vraag H9, zo geschaald dat de laagste categorie de waarde 0 heeft). Dit is gedaan met een constante in de lineaire vergelijking, en zonder een constante.

Ten aanzien van de uitkomst was vooral van belang of de gevonden coëfficiënten laag en niet significant zouden zijn voor lage SEL-klassen en zouden toenemen van de lage naar de hoge klassen. Op deze wijze zou een indicatie voor een drempel in SEL voor een bijdrage aan de ervaren communicatieverstoring verkregen worden. Het geschetste patroon werd in geen van beide analyses (met en zonder constante) gevonden. Juist ook de gebeurtenissen met lage waarden van SEL (onder de 65 dB(A), die hiervoor als drempel voor spraakonderbreking genoemd is) dragen in belangrijke mate bij aan de gerapporteerde communicatieverstoring. Op grond van het boven aangehaald laboratoriumonderzoek kan verwacht worden dat deze gebeurtenissen weliswaar niet leiden tot interrupties, maar wel het spraak- en luistercomfort verminderen (harder moeten praten, beter moeten luisteren). Vermoedelijk verklaart dit de invloed van deze gebeurtenissen op de gerapporteerde communicatieverstoring.

### *Grenswaarden*

De gekozen grenswaarden zijn  $L_{den}$  van 50 dB(A) en  $L_{Aeq}(23-07)$  van 25 dB(A).

### *Resultaat*

Op soortgelijke wijze als bij tussentijds ontwaken kan worden nagegaan hoe de grenswaarden de incidentie van onderbreking van conversatie beperken. Complicaties ten opzichte van het voorbeeld met betrekking tot ontwaken zijn:

1. Voor een deel van de periode, de nacht van 23 tot 7 uur wordt het  $L_{Aeq}$  apart beperkt;
2. Praten vindt plaats op verschillende plekken in en bij de woning, waar een verschillende mate van bescherming tegen geluid van buiten wordt geboden. Laat in de periode van 7 tot 19 uur en in de periode van 19 tot 23 uur  $p_G$  de kans zijn dat men binnen is met de ramen gesloten en veronderstel dat dan de geluidwering 21 dB(A) is, laat  $p_O$  de kans zijn dat men binnen is met de ramen gedeeltelijk open en veronderstel dat dan de geluidwering 15 dB(A) is, en veronderstel dat men de rest van de tijd (zonder geluidwering) buiten in de tuin of op het balkon is. Er wordt hier uitgegaan van iemand die altijd thuis is.

Aangenomen wordt dat in de periode van 7 tot 23 uur de kans dat men op een willekeurig moment betrokken is in een conversatie onafhankelijk is van de plek waar men is (binnen met ramen dicht, binnen met raam gedeeltelijk open, of buiten).

Het verwachte aantal gespreksonderbrekingen tijdens de periode van 23 tot 7 uur kan verwaarloosd worden gezien de grenswaarde voor de nacht binnen van  $L_{Aeq}(23-07) = 25 \text{ dB(A)}$  en de beperkte tijd dat in de nacht wordt geconverseerd. De ongunstigste veronderstelling is dan dat alle geluid in de periode van 7 tot 23 uur wordt geproduceerd. Daarbij is het voor het aantal interrupties weer ongunstiger als alle geluid in de dagperiode wordt geproduceerd. Immers, uit vergelijking (1b) kan worden afgeleid dat  $k$  geluidgebeurtenissen in de periode van 19 tot 23 uur vervangen kunnen worden door 3,16k gebeurtenissen in de periode van 7 tot 19 uur. Voor het schatten van het maximaal aantal interrupties gaan we dus uit van de veronderstelling dat alle geluid geproduceerd wordt in de periode van 7 tot 19 uur. Met 50 dB(A) als limiet voor  $L_{den}$  is in dat geval 53 dB(A) ( $= 50 + 10 \lg[24/12]$ ) de grens voor  $L_{Aeq}(7-19)$ .

Het maximaal verwachte aantal interrupties in een jaar voor de periode van 7 tot 19 uur is de som van de maximaal verwachte aantallen voor buiten, binnen met ramen gedeeltelijk open en binnen met gesloten ramen voor die periode. Om een waarde te vinden voor het maximaal verwachte aantal onderbrekingen moeten waarden verondersteld worden voor de kans  $z$  dat op een moment geconverseerd wordt en voor de kans  $p_G$  dat men binnen is met de ramen gesloten en de kans  $p_O$  dat men binnen is met de ramen gedeeltelijk open (daaruit volgt van zelf de kans dat men buiten is, want deze is immers  $1 - (p_G + p_O)$ ). Stel voor dit rekenvoorbeeld dat  $z = 0,10$ ,  $p_G = 0,75$  en  $p_O = 0,22$ . De kans dat men in de periode van 7 tot 23 uur buiten is wordt daarmee 0,03 verondersteld te zijn. Dit komt overeen met gemiddeld bijna drie kwartier per dag.

Met vergelijkingen (8) en (9) vinden we dat de maximaal verwachte incidentie van onderbrekingen zich voordoet bij  $SEL = 69,3 \text{ dB(A)}$ . Het maximum aantal interrupties van conversatie voor verblijf buiten wordt gevonden door substitutie van  $10 \lg T = 57,7$  ( $= 10 \lg [0,03 \times 365 \times 12 \times 60 \times 60]$ ),  $L = 53$  en  $SEL = 69,3$  in vergelijking (6), met de veronderstelling van  $z = 0,10$ :  $E(n; SEL) = 240,8$ . Door substitutie van  $10 \lg T = 65,4$  ( $= 10 \lg [0,22 \times 365 \times 12 \times 60 \times 60]$ ),  $L = 38$  en  $SEL = 69,3$  wordt het maximum voor verblijf binnen met de ramen open gevonden:  $E(n; SEL) = 55,8$ . Tenslotte wordt door substitutie van  $10 \lg T = 70,7$  ( $= 10 \lg [0,75 \times 365 \times 12 \times 60 \times 60]$ ),  $L = 28$  en  $SEL = 69,3$  het maximum voor verblijf binnen met de ramen gesloten gevonden:  $E(n; SEL) = 18,9$ .

Dus met 25 dB(A) als limiet voor  $L_{Aeq}(23-07)$  binnen en 50 dB(A) als limiet voor  $L_{den}$  buiten aan de gevel worden maximaal 316 ( $= 240,8 + 55,8 + 18,9$ ) onderbrekingen van een conversatie in een jaar verwacht, gegeven de boven beschreven aannames. Dit betekent ongeveer 6 onderbrekingen per week, waarbij drie kwart van deze onderbrekingen buiten plaats vindt.

## 4 Verwachte incidentie van ontwaken in concrete situaties

### 4.1 Inleiding

In de volgende paragrafen is voor drie praktijksituaties een schatting gemaakt van het aantal tussentijdse ontwaken van een persoon per jaar door geluidgebeurtenissen in die situaties gedurende de nacht. De gehanteerde voorbeelden zijn gekozen omdat er meetwaarden van  $L_{Amax}$  of SEL van individuele gebeurtenissen beschikbaar waren. Voor elke situatie wordt de schatting van het te verwachten aantal maal tussentijds ontwaken door een geluidgebeurtenis vergeleken met de maximale incidentie bij de betreffende waarden van  $L_{Aeq}(23-07)$ .

### 4.2 Overvluchten bij Schiphol

In het kader van het onderzoeksprogramma Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol is een vragenlijstonderzoek uitgevoerd (TNO en RIVM, 1998). Voor elk van de 11812 respondenten is tevens (door NLR) de geluidbelasting geschat. Onder meer is voor elke respondent op jaarbasis een schatting gemaakt van het aantal overvluchten van vliegtuigen van en naar Schiphol met bepaalde SEL waarden, ingedeeld in klassen. Deze schattingen zijn gegeven voor diverse perioden van het etmaal. In de volgende berekeningen is uitgegaan van de geluidbelastingen gedurende een geheel jaar in de periode van 23 tot 7 uur. Daarbij is gebruik gemaakt van de schattingen van de SEL waarden die binnenshuis zouden zijn opgetreden. Op de door NLR geleverde gegevens is een correctie toegepast waarbij rekening is gehouden met verschillen tussen de door NLR geleverde schattingen en in werkelijkheid optredende niveaus (Jonkhart, 1992).

Op basis van de per respondent bepaalde aantallen SEL waarden in de diverse klassen is het totaal aantal te verwachten ontwaken per jaar door overvluchten ( $O(totaal)$ ) met de volgende formule berekend:

$$O(totaal) = \sum_i O_i = \sum_i [0,0018 N_i (SEL_i - 55)] \quad \text{voor } SEL_i > 55 \text{ dB(A)}$$

$O_i$  is het aantal ontwaken per jaar door  $N_i$  overvluchten met SEL in klasse  $i$  met klassenmid-den  $SEL_i$ .

*In deze berekeningen is er van uitgegaan dat de respondent, afgezien van tussentijds ontwaken door vliegtuiggeluid, gedurende de gehele periode van 23 tot 7 uur slaapt.*

Op basis van de jaarlijkse geluidbelasting door vliegtuiggeluid over het etmaal is in het vragenlijstonderzoek een gestratificeerde steekproef getrokken uit de bevolking in het studiegebied rond Schiphol. Ten behoeve van een juiste schatting van de omvang van effecten door blootstelling aan vliegtuiggeluid in het studiegebied is het nodig om een gewicht toe te kennen aan de mate waarin het resultaat van een respondent meetelt in de schatting van zo'n effect op populatieniveau. Dezelfde weging als in het vragenlijstonderzoek gebruikt is voor de schatting van geluidhinder op populatieniveau is ook in de huidige berekening voor de schatting van slaapverstoring op populatieniveau gebruikt. Of en zo ja, welke fout hierbij gemaakt wordt is onbekend.

Gedetailleerde gegevens zijn opgenomen in de tabellen 2 en 3. Over de resultaten op populatieniveau kan het volgende worden geconcludeerd:

- Gemiddeld zijn er voor een bewoner in het studiegebied rond Schiphol per jaar in de perioden van 23 tot 7 uur 2680 overvluchten met SEL waarden in de klassen boven 55 dB(A). De gemiddelde SEL waarde van deze overvluchten is 61,3 dB(A);
- Gemiddeld is het equivalente geluidniveau door vliegtuigen van een bewoner in het studiegebied rond Schiphol in de periode van 23 tot 7 uur 26,1 dB(A);
- Naar schatting is het gemiddeld aantal tussentijdse ontwakingen door vliegtuigpassages van een bewoner in het studiegebied in de perioden 23 tot 7 uur 30,5 per jaar;
- Het maximum aantal ontwakingen bij een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 26,1 dB(A) is 39 ontwakingen per jaar;
- Het geschatte aantal tussentijdse ontwakingen per jaar door vliegtuiggeluid (30,5) is ongeveer 78% van de maximale incidentie (39) bij de betreffende geluidbelasting

*Tabel 2 Gegevens over de belasting aan vliegtuiggeluid (uitgedrukt in SEL waarden) tussen 23 en 7 uur bij bewoners in de omgeving van Schiphol en over de bijdrage aan het aantal tussentijdse ontwakingen*

| Midden van SEL klasse in dB(A) | Gemiddeld aantal overvluchten per jaar per bewoner over de perioden van 23 tot 7 uur | Bijdrage aan het gemiddeld aantal ontwakingen per jaar per bewoner over de perioden van 23 tot 7 uur. Tussen haakjes het percentage |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 56,5                           | 752                                                                                  | 2,0 (6,6)                                                                                                                           |
| 59,5                           | 632                                                                                  | 5,1 (16,7)                                                                                                                          |
| 62,7                           | 607                                                                                  | 8,4 (27,5)                                                                                                                          |
| 66,0                           | 490                                                                                  | 9,7 (31,8)                                                                                                                          |
| 69,3                           | 168                                                                                  | 4,3 (14,1)                                                                                                                          |
| 72,6                           | 28                                                                                   | 0,9 (3,0)                                                                                                                           |
| 75,8                           | 3                                                                                    | 0,1 (0,3)                                                                                                                           |
| Totaal                         | 2680                                                                                 | 30,5                                                                                                                                |

*Tabel 3 Cumulatieve verdeling van  $L_{Aeq}(23-07)$  door vliegtuiggeluid van bewoners rond Schiphol op jaarbasis.*

| Cumulatief percentage van de bevolking in het studiegebied rond Schiphol | Blootstelling aan vliegtuiggeluid tussen 23 en 7 uur met een $L_{Aeq}$ op jaarbasis van ten hoogste |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10                                                                       | 19,4                                                                                                |
| 25                                                                       | 22,2                                                                                                |
| 50                                                                       | 25,5                                                                                                |
| 75                                                                       | 28,7                                                                                                |
| 90                                                                       | 31,3                                                                                                |
| 99                                                                       | 35,0                                                                                                |

Om het aantal ontwakingen te schatten voor een situatie rond een luchthaven waar het equivalente geluidniveau door vliegtuigen in de periode van 23 tot 7 uur gemiddeld 25 dB(A) is op jaarbasis, kunnen de gegevens over Schiphol op twee manieren worden aangepast:

1. Het aantal vluchten wordt lager gekozen. Om een verschil van 1,1 (26,1 – 25) dB(A) te compenseren moet het aantal vluchten gereduceerd worden met een factor 0,776. Het aantal ontwakingen neemt daarbij met dezelfde factor af en komt op 23,7 per jaar. Dit is 78% van het maximale aantal bij een equivalent geluidniveau van 25 dB(A) op jaarbasis;
2. Alle SEL waarden worden 1,1 dB(A) lager gekozen. De aangepaste SEL waarden leveren dan 25,2 ontwakingen per jaar. Dit is 83% van het maximale aantal bij een equivalent geluidniveau van 25 dB(A) op jaarbasis.

Voor een situatie rond een luchthaven met gemiddeld een belasting door vliegtuiggeluid van 25 dB(A) in de periode van 23 tot 7 uur is het geschatte aantal tussentijdse ontwaken per jaar door vliegtuiggeluid ongeveer 78 tot 83% van de maximale incidentie bij de betreffende geluidbelasting.

### 4.3 Vrachtwagens bij industrieterreinen

In de Jong et al. (1995) en de Jong (ed) (1996) staan meetgegevens over de optredende geluidniveaus tijdens transportbewegingen van vrachtwagens. Op tien locaties gespreid over het gehele land zijn bepalingen gedaan van SEL en  $L_{Amax}$  tijdens transportbewegingen en van equivalente geluidniveaus over periodes van 15 minuten, waarin één of meer transportbewegingen plaatsvonden. In het eerstgenoemde rapport is de cumulatieve verdeling gegeven van de buiten geregistreerde  $L_{Amax}$  waarden, gemeten op stand fast, van ruim 140 transportbewegingen. Door van den Berg is in het tweede rapport (1996) een formule afgeleid over het verband tussen buiten gemeten  $L_{Amax}$  en SEL waarden op basis van door TPD-TNO geleverde gegevens. Deze formule luidt:

$$L_{Amax} = 1,21 \cdot SEL - 22,2.$$

Met behulp van deze formule is de cumulatieve verdeling van de SEL waarden van de transportbewegingen uit de cumulatieve verdeling van  $L_{Amax}$  berekend. Vervolgens is uit deze cumulatieve verdeling van buiten bepaalde SEL waarden de cumulatieve verdeling berekend voor de SEL waarden binnen, door van de SEL waarden buiten 21 dB(A) af te trekken. De resulterende verdeling van de binnen SEL waarden is in tabel 4 gegeven. Vervolgens is nagegaan bij hoeveel bewegingen het equivalente geluidniveau door deze bewegingen over een periode van 8 uur (23 – 7 uur) een waarde van 25 dB(A) bereikt, uitgaande van de verdeling zoals in de tabel gegeven. Dit is bij 6 bewegingen (bij 60 bewegingen met dezelfde verdeling van SEL waarden ligt het equivalente geluidniveau over de periode van 8 uur 10 dB(A) hoger). De bijdragen aan het aantal ontwaken per jaar door de bewegingen zijn eveneens in de tabel gegeven. Daarbij wordt er van uitgegaan dat er gedurende een jaar 's nachts 2190 (6 maal 365) bewegingen zijn met de verdeling van SEL waarden, zoals eerder berekend. Het totaal aantal ontwaken over een jaar blijkt 23 te zijn. Voor de situatie met de ongunstigste verdeling van SEL waarden van geluidgebeurtenissen ( te weten alle gebeurtenissen hebben een SEL waarde van 59,3 dB(A)) is in hoofdstuk 3 voor een equivalent geluidniveau van 25 dB(A) van 23 tot 7 uur een maximaal aantal



ontwakingen van 30 berekend. Dit impliceert dat het totaal aantal ontwakingen ongeveer 77% is van het geschatte maximaal optredende aantal ontwakingen per jaar bij een equivalent geluidniveau over de nacht van 25 dB(A).

*Tabel 4 Gegevens over transportbewegingen van vrachtwagens*

| Klassemidden<br>$L_{Amax}$ buiten in dB(A) | Klassemidden SEL<br>buiten in dB(A) | Klassemidden SEL<br>binnen in dB(A) | % transportbewegingen | Totaal 2190 bewegingen per jaar; bijdrage aantal malen ontwaken per jaar |
|--------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 87                                         | 90,2                                | 69,2                                | 2,1                   | 1,2                                                                      |
| 85                                         | 88,6                                | 67,6                                | 4,9                   | 2,4                                                                      |
| 83                                         | 86,9                                | 65,9                                | 1,5                   | 0,6                                                                      |
| 81                                         | 85,3                                | 64,3                                | 7,0                   | 2,6                                                                      |
| 79                                         | 83,6                                | 62,6                                | 17,6                  | 5,3                                                                      |
| 77                                         | 82,0                                | 61,0                                | 24,7                  | 5,8                                                                      |
| 75                                         | 80,3                                | 59,3                                | 21,1                  | 3,6                                                                      |
| 73                                         | 78,7                                | 57,7                                | 8,5                   | 0,9                                                                      |
| 71                                         | 77,1                                | 56,1                                | 7,0                   | 0,3                                                                      |
| 65 (<70)                                   | 75,5                                | 54,4                                | 5,6                   | -                                                                        |
| Totaal                                     |                                     |                                     |                       | 22,7                                                                     |

#### 4.4 Rangeerterrein bij Sittard

De gegevens betreffen een spoorwegemplacement in Sittard (traject 836 en 837 in het Akoestisch Spoorboekje), zich uitstrekkend van circa 750 meter ten noorden tot circa 750 meter ten zuiden van het station (Eerd, 1997). Het emplacement bestaat uit een aantal doorgaande sporen van Roermond naar de richtingen Maastricht en Heerlen en met aan de noordzijde een aftakking naar Born. Zowel aan de noordzijde als de zuidzijde is een grote wisselstraat. Op het terrein vinden volgens de dienstregeling doorgaande en tevens aankomende en vertrekkende treinbewegingen plaats. In noordelijke richting rijden er in de nacht 7 reizigerstreinen: in zuidelijke richting zijn dat er 10. In de nachtperiode arriveren en vertrekken er tijdens werkdagen 12 goederentreinen. Bij representatieve bedrijfssituaties wordt in de ochtendperiode gedurende circa 2 uur gerangeerd met goederenwagens (circa 50 rangeerbewegingen). In de nacht wordt er regelmatig een locomotief omgereden via de noordzijde, circa 5 keer in de nachtperiode.

Het soort van activiteiten waaraan piekniveaus zijn gemeten zijn: het rijden over wissels in de doorgaande sporen, remmen voor een rood sein en aan de perrons, rolgeluid van passerende reizigerstreinen (vallend onder het Besluit Geluidhinder Spoorwegen) en rijden over wissels,

remgeluid en lucht afblazen van treinen aan het eind van iedere rangeerbeweging (vallend onder de Wet Milieubeheer). Het rolgeluid van rangeertreinen is niet gemeten, vanwege de relatief lage geluidniveaus door langzaam rijdende en korte rangeertreinen in Sittard. De optredende piekgeluidniveaus aan de noord- en zuidzijde worden met name veroorzaakt door het rijden van treinen over wissels in de doorgaande sporen. In het middentracé worden de hoogste geluidniveaus veroorzaakt door remmende treinen op de rangeersporen en door kruiswissels bij de perrons.

Van de geluiden afkomstig van het rangeren, het passeren van wissels, remgeluiden etc. zijn de  $L_{Amax}$  waarden berekend op een twintigtal plaatsen. Tevens zijn ter controle van de berekeningen metingen van  $L_{Amax}$  op stand fast uitgevoerd. Tevens zijn tellingen gedaan van het aantal geluidgebeurtenissen gedurende de dag, avond en nacht. Op basis van schattingen van de snelheid van de goederen- en passagierstreinen, het aantal bakken per goederentrein, het aantal wagens per personentrein, de aantallen goederen- en passagierstreinen, en het aantal wissels waarover de treinen rijden heeft de heer van Eerd van M + P een schatting gemaakt van de SEL waarden van de diverse piekgeluiden op twee plaatsen in de nabijheid van het station: de ene plaats ligt aan de noordzijde bij het ene rangeerterrein en de andere plaats ligt bij het zuidelijke rangeerterrein. Ter hoogte van beide plaatsen bevinden zich woningen of zijn woningen gepland. Het betreft een schatting van SEL waarden ten behoeve van de illustratie van het in dit rapport geformuleerde model. Voor het verschil tussen de SEL waarde van een geluidgebeurtenis buiten en binnen wordt 21 dB(A) aangehouden. Omdat ontwaken door geluidgebeurtenissen begint op te treden vanaf SEL waarden van 55 dB(A), in de slaapkamer gemeten, treden er door geluidgebeurtenissen met een SEL buiten waarde van 76 dB(A) of lager geen ontwakingen op. De schattingen van de binnen SEL waarden van de piekgeluiden met SEL waarden van meer dan 55 dB(A), en welke geluiden dat zijn is gegeven in Tabel 5. Er is daarbij aangenomen dat gedurende de helft van het aantal nachten per jaar de wissels droog zijn en de andere helft nat. Het verschil in SEL waarde is daarbij 10 dB(A) gekozen.

*Tabel 5 Gegevens over geluidbelasting door treinen in de nabijheid van rangeerterreinen*

| Geluidgebeurtenis             | Incidentie (aantal keer per nacht) | geschatte SEL binnen (dB(A)) | Bijdrage aan aantal maal ontwaken per jaar |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|
| Noordzijde (waarneempunt 2)   |                                    |                              |                                            |
| Reizigerstreinen rolgeluid    | 7                                  | 63                           | 36,8                                       |
| Goederentreinen over wissels  | 6                                  | 74                           | 74,9                                       |
| Goederentreinen over wissels  | 6                                  | 64                           | 35,5                                       |
| Totaal                        |                                    |                              | 147                                        |
| Zuidzijde (waarneempunt 23)   |                                    |                              |                                            |
| Reizigerstreinen over wissels | 5                                  | 69                           | 46,0                                       |
| Reizigerstreinen over wissels | 5                                  | 59                           | 13,1                                       |
| Goederentreinen over wissels  | 6                                  | 76                           | 82,8                                       |
| Goederentreinen over wissels  | 6                                  | 66                           | 43,4                                       |
| Totaal                        |                                    |                              | 185                                        |

De geluidbelasting binnen aan de noordzijde heeft een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 38 dB(A). Het maximaal aantal tussentijdse ontwaken door deze geluidbelasting is 600 per jaar. Dit impliceert dat het te verwachten aantal ontwaken per jaar (147) ongeveer 24% is van het geschatte maximale aantal ontwaken. De geluidbelasting binnen aan de zuidzijde heeft een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 40 dB(A). Het maximaal aantal tussentijdse ontwaken door deze geluidbelasting is 955 per jaar. Dit impliceert dat het te verwachten aantal ontwaken per jaar (185) ongeveer 19% is van het geschatte maximale aantal ontwaken.

Er bestaat een situatie aan de noordzijde, die verder van het rangeerterrein ligt dan de beschreven situatie, met een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 25 dB(A). Voor die situatie wordt aangenomen dat alle in tabel 5 opgenomen geluidgebeurtenissen daar een SEL waarde hebben die 13 dB(A) lager ligt dan in tabel 5 gegeven. In die situatie ligt alleen voor de goederentreinen over wissels de SEL waarde boven 55 dB(A). De gemiddelde SEL waarde is in dat geval 61 dB(A). Het aantal ontwaken door de goederentreinen over wissels in die situatie is 23,7 per jaar. Dit is 78% van het maximaal aantal ontwaken in die situatie. Eenzelfde redenering kan ook worden toegepast op een situatie aan de zuidzijde van het rangeerterrein. Dat levert voor een situatie die 15 dB(A) stiller is dan in tabel 5 omschreven ook 23,7 ontwaken per jaar.

## 4.5 Samenvatting

In de vorige paragrafen is voor drie praktijksituaties een schatting gemaakt van het aantal te verwachten ontwakingen per jaar door geluidgebeurtenissen gedurende de nacht. De gehanteerde voorbeelden zijn gekozen omdat er meetwaarden van individuele gebeurtenissen beschikbaar waren. Aan deze voorbeelden moet dus geen algemene geldigheid worden ontleend. Uit de voorbeelden blijken naar schatting de volgende verhoudingen tussen het aantal te verwachten en het maximaal aantal tussentijdse ontwakingen per jaar bij de equivalente geluidniveaus zoals berekend op basis van de SEL waarden van de individuele gebeurtenissen:

- Vliegtuigpassages in de omgeving van Schiphol      0,78 – 0,83
- Vrachtwagens bij industrieterreinen:                      0,77
- Rangeerterrein voor treinen in Sittard:                      0,78

Met nadruk zij nogmaals gesteld dat het hier gaat om voorbeelden en dat bij de berekeningen diverse aannames zijn gemaakt. Voor alle drie de beschouwde situaties met een  $L_{Aeq}(23-07)$  van 25 dB(A) blijkt dat geluidgebeurtenissen met SEL waarden rond 59 - die aan het aantal ontwakingen relatief veel bijdragen in vergelijking tot hun bijdrage aan het equivalente geluidniveau - relatief veel voorkomen.

## 5 Schema voor een besluit over een additionele SEL (of $L_{Amax}$ ) norm in verband met slaapverstoring

### 5.1 Inleiding

In hoofdstuk 1 is de vraag gesteld of het nodig is een norm te stellen aan individuele gebeurtenissen in aanvulling op  $L_{Aeq}$  maten. De beslissing over het al dan niet invoeren van SEL of  $L_{Amax}$  voor het beperken van de frequentie waarmee een bepaald effect verwacht wordt op te treden, kan via het volgende stappenschema verlopen. Het schema is geformuleerd voor een effect op de slaap en er wordt vanuit gegaan dat voor  $L_{Aeq}(23-07)$  over een jaar reeds een grenswaarde bestaat. Relaties in het schema zijn afgeleid voor situaties met geluidgebeurtenissen met dezelfde SEL waarde. Het schema kan met aanpassingen ook gebruikt worden in relatie tot gespreksonderbreking en andere  $L_{Aeq}$ -maten.

### 5.2 Schema

1. Stel  $L$  is de grenswaarde voor  $L_{Aeq}(23-07)$ , vastgelegd bijvoorbeeld op basis van relaties tussen  $L_{Aeq}(23-07)$  en subjectief ervaren slaapkwaliteit en andere overwegingen.
2. Stel aan de hand van gegevens uit empirisch onderzoek vast wat de kans op een effect op een slaapparameter door een individuele geluidgebeurtenis is als functie van SEL.
3. Stel vast bij welke SEL het verwachte aantal keer dat het slaapeffect optreedt,  $E(n; SEL)$ , maximaal is door de volgende vergelijking op te lossen:

$$f'(SEL) = [(\ln 10)/10] \cdot f(SEL).$$

Als de kans dat een gebeurtenis het effect veroorzaakt, recht evenredig is met SEL:

$$f(SEL) = a \cdot SEL + b,$$

dan is  $E(n; SEL)$  maximaal als

$$SEL = -b/a + 10/\ln 10.$$

$f(SEL)$  is dan gelijk aan  $10a/\ln 10$

4. Stel het maximum voor het verwachte aantal gebeurtenissen, gegeven grenswaarde L, vast door L uit stap 1 en de bij stap 3 gevonden SEL en  $f(SEL)$  in te vullen in:

$$E(n; SEL) = 10^{(L - SEL + 70,2) / 10} \cdot f(SEL).$$

(70,2 is afgeleid uit  $T = 8$  uur per etmaal)

5. Stel vast of het bij stap 4 gevonden maximum voor het verwachte aantal keer dat een effect optreedt acceptabel is of niet. Alleen indien het niet acceptabel is, wordt door middel van de volgende stap of de grenswaarde L verlaagd of een grenswaarde voor SEL vastgesteld.
6. Stel vast welk maximum, Z, voor het verwachte aantal keer dat het beoogde effect optreedt nog juist acceptabel is. De bijbehorende verlaagde grenswaarde voor L of de in te voeren grenswaarde voor SEL wordt dan gevonden door:

$$Z = 10^{(L - SEL + 70,2) / 10} \cdot f(SEL)$$

op te lossen voor L of voor SEL. Randvoorwaarde daarbij is dat  $f(SEL) > 0$  is, dat wil zeggen in geval van een lineaire relatie dat  $SEL > -b/a$ . De waarde van L ( $L'$ ) wordt gevonden door SEL uit stap 3 te gebruiken en de vergelijking op te lossen voor L. De grenswaarde voor SEL wordt gevonden door L uit stap 1 te gebruiken en de vergelijking op te lossen voor SEL.

7. De grenswaarde in termen van SEL kan voor blokvormige gebeurtenis (duur  $t$ ) gehandhaafd worden aan de hand van  $L_{Amax}$  met behulp van de relatie

$$SEL = L_{Amax} + 10 \lg t,$$

voor tentvormige gebeurtenis (helling  $a$  dB/s) met:

$$SEL = L_{Amax} - 10 \lg a + 9,4,$$

en voor een impuls met:

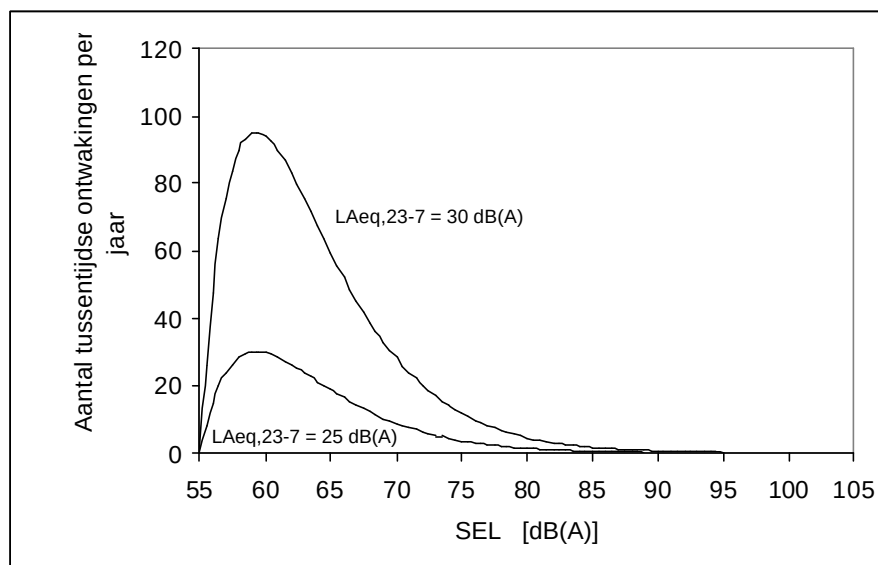
$$SEL = L_{Amax} - 9,0.$$

### 5.3 Voorbeeld

In het volgende wordt aan de hand van een voorbeeld het stappenschema ingevuld voor tussentijds ontwaken met gekozen grenswaarde van  $L$  voor  $L_{Aeq}$  (23-07) en maximaal toelaatbaar aantal tussentijdse ontwakingen  $Z$  per jaar.

- Stap 1. Stel  $L = 30$  dB(A);
- Stap 2. Kies slaapeffect tussentijds ontwaken en  $f(SEL) = 0,0018(SEL - 55)$ ;
- Stap 3. In figuur 2 is het aantal ontwakingen per jaar als functie van SEL gegeven voor  $L = 30$  dB(A). Het aantal ontwakingen is maximaal bij  $SEL = 59,3$  dB(A);
- Stap 4.  $E(n;SEL) = 96$ ;
- Stap 5.  $E(n;SEL) = 96$  niet acceptabel. Stel  $Z = 30$  is de acceptabele waarde voor het aantal ontwakingen per jaar;
- Stap 6. Door het oplossen van de vergelijkingen volgt dat bij  $L' = 25$  dB(A) het verwachte aantal ontwakingen maximaal 30 per jaar is. Als  $L$  verlaagd wordt tot 25 dB(A) is een grenswaarde voor SEL overbodig. Stel  $L$  wordt toch 30 dB(A) gelaten en er wordt een additionele grenswaarde aan SEL gesteld. Oplossen van de vergelijkingen levert SEL gelijk aan 55,6

dB(A)<sup>1</sup>. Om te voldoen aan de voorwaarde dat L ten hoogste 30 dB(A) mag zijn, mag het aantal geluidgebeurtenissen met SEL gelijk aan 55,6 dB(A) niet uitkomen boven 28840 per jaar, dat wil zeggen gemiddeld niet uitkomen boven 79 per nacht. Het betreft daarbij waarden van SEL in de slaapkamer. Bij gesloten slaapkamerraam en een aangenomen geluidsisolatie van 21 dB(A) impliceert dit een SEL waarde buiten aan de gevel van afgerond 77 dB(A)<sup>2</sup>. Voor het slaapkamerraam op een kier (15 dB(A) geluidisolatie) betekent dit een SEL waarde buiten aan de gevel van 71 dB(A).



*Figuur 2: Het aantal ontwaakreacties per jaar als functie van SEL. Er is uitgegaan van een kans op ontwaken die evenredig is met SEL:  $f(SEL) = 0.0018 (SEL-55)$ . Alle geluidgebeurtenissen hebben gelijke SEL. Voor curve 1 geldt dat  $L_{Aeq}(23-07) = 25 \text{ dB(A)}$  en voor curve 2 dat  $L_{Aeq}(23-07) = 30 \text{ dB(A)}$ . De waarde van SEL waar het maximale aantal ontwakenen optreedt is voor beide curven 59,3 dB(A). Dit maximum is voor  $L_{Aeq}(23-07) = 25 \text{ dB(A)}$  gelijk aan 30 per jaar, voor  $L_{Aeq}(23-07) = 30 \text{ dB(A)}$  gelijk aan 96 per jaar.*

<sup>1</sup> Mathematisch is er nog een tweede oplossing (zie figuur 2). Dit levert een grenswaarde van SEL die moet worden *overschreden*. Een dergelijke grenswaarde is in de praktijk niet hanteerbaar. De waarde van SEL is in dat geval gelijk aan 69,6 dB(A) en het betreft 1140 geluidgebeurtenissen per jaar, dat wil zeggen 3 per nacht.

<sup>2</sup> Door Ollerhead (1992) is een formule afgeleid die voor vliegtuigen het verband geeft tussen  $L_{Amax}$  en SEL. Volgens deze formule komt voor vliegtuigpassages een SEL van 77 dB(A) overeen met een  $L_{Amax}$  van 65 dB(A). Een SEL van 71 dB(A) komt globaal overeen met  $L_{Amax}$  van 56 dB(A).



## 6 Conclusie

In dit rapport is er van uitgegaan dat blootstelling aan omgevingsgeluid beschreven wordt met buiten aan de gevels van woningen bepaalde waarden van een  $L_{Aeq}$ -maat over het etmaal in verband met geluidhinder en met binnen in de woningen bepaalde waarden van een  $L_{Aeq}$ -maat over de nacht (23.00 – 07.00 uur) in verband met slaapverstoring. Er wordt verondersteld dat voor deze maten grenswaarden zijn vastgesteld. Onderzocht is of het daarnaast nodig is individuele geluidgebeurtenissen te beschrijven met SEL of  $L_{Amax}$  en deze maten aan een maximum te binden. Geluidgebeurtenissen kunnen een impuls-, tonaal- en/of laagfrequent karakter hebben, die elk een extra effect op hinder en slaapverstoring kunnen veroorzaken. Er wordt van uitgegaan dat op de waarden van SEL en van  $L_{Amax}$  van geluidgebeurtenissen en op de waarde van een  $L_{Aeq}$ -maat zo nodig correcties zijn toegepast om deze extra effecten in rekening te brengen. Het valt buiten het bestek van dit rapport om richtlijnen te geven voor de hoogten van deze correcties. Wel is in hoofdstuk 2 van het rapport de indicatie gegeven dat voor impulsgeluid een correctie van 10 tot 15 dB(A) noodzakelijk zou kunnen zijn.

Besproken aspecten van geluidgebeurtenissen die al dan niet of niet direct met SEL of  $L_{Amax}$  samenhangen zijn angst, schrik- en aandachtsreacties, ontwaken, gespreksonderbreking, trillingen (en andere factoren zoals roet en stank) en vermeende vermijdbaarheid. Alleen in verband met ontwaken en gespreksonderbreking kan een aanvullende maat om geluidpieken te beperken, nuttig zijn.

Het is nagegaan welke beperking een grenswaarde voor  $L_{Aeq}(23-07)$  impliceert voor het maximaal te verwachten aantal tussentijdse ontwakingen per jaar door nachtelijke geluidgebeurtenissen. Tevens is nagegaan welke beperking grenswaarden voor  $L_{Aeq}(23-07)$  en  $L_{den}$  impliceren voor het maximaal verwachte aantal gespreksonderbrekingen door geluid per jaar. Vanwege een aantal onzekerheden moesten diverse, voor gespreksonderbreking tamelijk onzekere, veronderstellingen worden gemaakt. Aanbevolen wordt om na te gaan in hoeverre de empirische veronderstellingen die gehanteerd zijn bij de berekeningen, juist zijn en een analyse uit te voeren die laat zien hoe gevoelig de uitkomsten zijn voor onzekerheden in deze empirische veronderstellingen.

In hoofdstuk 1 is de vraag gesteld of het nodig is een norm te stellen aan individuele gebeurtenissen in aanvulling op  $L_{Aeq}$  maten. De beslissing over het al dan niet invoeren van SEL of  $L_{Amax}$

voor het beperken van de frequentie waarmee een bepaald effect verwacht wordt op te treden, is in een stappenschema gegeven. Het schema is in een voorbeeld uitgewerkt voor tussentijds ontwaken en er is van uit gegaan dat voor  $L_{Aeq}(23-07)$  over een jaar een grenswaarde  $L$  bestaat. Relaties in het schema zijn afgeleid voor situaties met geluidgebeurtenissen met dezelfde SEL waarde. De uitkomst van de berekeningen hangt af van de keuze van zowel  $L$  als van een maximaal toelaatbaar aantal ontwakingen per jaar ( $Z$ ). Op basis van  $Z$  wordt het equivalente geluidniveau  $L'$  van 23 tot 7 uur berekend, dat deze incidentie van tussentijds ontwaken juist maximaal kan opleveren. Als  $L$  lager of gelijk is  $L'$ , dan wordt door handhaving van  $L$  voldaan aan beide gestelde voorwaarden wat  $L$  en  $Z$  betreft. Als  $L$  hoger is dan  $L'$ , dan bestaan de volgende twee mogelijkheden (als tussenoplossingen buiten beschouwing worden gelaten):

- De grenswaarde  $L$  wordt verlaagd tot  $L'$ ;
- Er wordt naast de grenswaarde  $L$  een grenswaarde voor SEL (of  $L_{Amax}$ ) vastgesteld. Een grenswaarde voor SEL die voldoende laag is om in alle situaties (met  $L_{Aeq}(23-07)$  gelegen tussen  $L'$  en  $L$ ) te voorkomen dat meer dan  $Z$  ontwakingen per jaar op kunnen treden, ligt slechts weinig boven de drempel voor ontwaken (SEL binnen gelijk aan 55 dB(A)). In een voorbeeld is de grenswaarde  $L$  voor  $L_{Aeq}(23-07)$  in de slaapkamer gelijk gekozen aan 30 dB(A) en het maximaal toelaatbaar aantal ontwakingen aan 30 per jaar. Met een maximaal toelaatbaar aantal ontwakingen van 30 per jaar is  $L'$  in de slaapkamer gelijk aan 25 dB(A). Om ook in alle situaties met  $L_{Aeq}(23-07)$  in de slaapkamer tussen 25 en 30 dB(A) het maximaal aantal ontwakingen te beperken tot 30 per jaar mag in de slaapkamer de SEL waarde van de geluidgebeurtenissen niet hoger liggen dan 55,6 dB(A). Deze SEL waarde van 55,6 dB(A) in de slaapkamer komt globaal overeen met een SEL waarde van 71 dB(A) (slaapkamerraam op een kier) tot 77 dB(A) (gesloten slaapkamerraam) buiten aan de gevel. Voor impulsgeluiden (rekening houdend met een impulscorrectie van 13 dB(A)) impliceert dit een  $L_{Amax}$  (gemeten op stand F) van 67 tot 73 dB(A). Voor geluid afkomstig van vliegtuigpassages, waarbij geen correcties zijn toegepast voor tonale, impuls en laagfrequent componenten, komt deze range van SEL globaal overeen met een range van  $L_{Amax}$  van 56 tot 65 dB(A).

Gezien deze relatief lage waarden van SEL en  $L_{Amax}$  is het dan ook zeer de vraag of invoering van een grenswaarde voor SEL (of  $L_{Amax}$ ) praktisch en beleidsmatig wenselijk en mogelijk is.

## 7      **Literatuur**

EERD CH van. Vergelijking piekgeluiden BGS-WM Emplacement Sittard. M + P , 1997. Rapport NS.96.11.1 .

GEZONDHEIDSRAAD Committee on Uniform environmental noise exposure metric. Assessing noise exposure for public health purposes. Rijswijk: Gezondheidsraad, 1997; publikatie 1997/23<sup>E</sup>

HEUSDEN E van, Plomp R, POLS LCW. Effect of ambient noise on the vocal output and the preferred listening level of conversation speech. App Acoustics 1979;12:31-9.

HOUTGAST T. Persoonlijke communicatie, maart 1999.

JONKHART S. A study into existing methodologies for the calculation of noise exposure levels in and around airports. NLR, 1992: Rapport CR 92515 L.

JONG RG de, BERG R van den, MATSER JJ, DONGEN JEF van. Beoordeling piekniveaus in verband met het herzien van de “circulaire industrielawaai”. Leiden: TNO-PG, 1995. Publ.nr. 95.067.

JONG RG de, ed. 1996. Beoordeling van piekniveaus met betrekking tot vrachtverkeer. Leiden: TNO-PG, 1996.

MCKINLEY RC, et al. Review of USAF studies on Military Training Route (MTR) noise. Wright-Patterson AFDOH: Armstrong Laboratories, Noise effects Branch (sheets van presentatie).

MIEDEMA HME. Geluidmaten voor Nederlands beleid: een discussiestuk. Leiden: TNO-PG, 1997. Publ.nr. 97.011.

MIEDEMA HME, VOS H. Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. J Acoust Soc Am 1999;105(6):3336-44.

MINISTERIE VROM. Modernisering Instrumentarium Geluidbeleid. Den Haag: Ministerie VROM, 1998. nota 230498.

OLLERHEAD JB, JONES CJ, CADOUX RE, et al. Report of a field study of aircraft noise and sleep disturbance. London: Civil Aviation Authority, 1992.

PASSCHIER-VERMEER W. Geluid en gezondheid: achtergrondstudie. Den Haag: Gezondheidsraad, 1993. publikatie A93/02.

PASSCHIER-VERMEER W. Slaapverstoring door nachtelijk vliegtuiglawaai. Leiden: TNO-PG, 1994. Publ.nr. 94.021.

PASSCHIER-VERMEER W. Vibrations in the living environment: factors related to vibration perception and annoyance. Leiden: TNO-PG, 1998. Publ.nr. 98.022.

PASSCHIER-VERMEER W. Vibrations in the living environment: relationships between vibration annoyance and vibration metrics. Leiden: TNO-PG, 1998. Publ.nr. 98.030.

PLOMP, R. A signal-to-noise ratio model for the speech reception threshold of hearing impaired. J Speech Hearing Res 1986;29:146-54.

VOS J. A review on the annoyance caused by impulse sounds produced by small firearms. Proc. Inter-Noise 95, vol II, 875-8.

VOS J. Annoyance caused by impulse sounds produced by small, medium-large and large firearms. InterNoise 96, 2231-6. Liverpool, UK.

## **Bijlage A**



### 1. Afleiding formule (3)

Voor tentvormige gebeurtenissen neemt het geluidniveau  $L_t$  tot aan het maximum toe volgens:

$$L_t = a \cdot t$$

waarbij  $a$  de stijgsnelheid is van het geluidniveau [dB(A)/s] en  $t$  de tijd [s] is gerekend vanaf het begin van de geluidsgebeurtenis. Nadat het maximum  $L_t = L_{Amax}$  is bereikt op  $t = t_{max}$  zal het geluidniveau dalen volgens:

$$L_t = 2 \cdot L_{Amax} - a \cdot t,$$

totdat  $L_t = 0$  is bereikt op  $t = 2 \cdot t_{max}$ .

SEL wordt bepaald door integratie van  $L_t$  over de duur van de gebeurtenis:

$$SEL = 10 \cdot \lg \int 10^{L_t/10} dt$$

In dit geval geeft dit:

$$SEL = 10 \cdot \lg \int_0^{2 \cdot t_{max}} 10^{a \cdot t/10} dt$$

Hieruit volgt:

$$SEL = 10 \lg [20/(a \ln 10)(10^{L_{Amax}/10} - 1)]$$

De  $-1$  wordt geïntroduceerd doordat op  $t = 0$  het geluidniveau wel maar de geluidsdruk niet 0 is. Deze onnauwkeurigheid is zo klein dat deze verwaarloosd kan worden zodat

$$SEL \approx L_{Amax} - 10 \lg a + 9,4$$

### 2. Rekenvoorbeeld met kwadratische kansfunctie.

Aan de functie  $f(\text{SEL}) = 0,0018 \cdot (\text{SEL} - 55)$  voor de kans op tussentijds ontwaken kan ter illustratie een kwadratische term worden toegevoegd om na te gaan wat het maximum is voor het verwachte aantal ontwaken indien de functie sneller zou stijgen:

$$f(\text{SEL}) = 0,0018 \cdot (\text{SEL} - 55) + 0,0001 \cdot (\text{SEL} - 55)^2$$

Deze functie is ook 0 bij  $\text{SEL} = 55 \text{ dB(A)}$ , maar bij  $\text{SEL} = 73 \text{ dB(A)}$  tweemaal zo groot. De functie kan ook als volgt geschreven worden:

$$f(\text{SEL}) = 0,0001 \cdot \text{SEL}^2 - 0,0092 \cdot \text{SEL} + 0,2035$$

Het maximum van  $E(n; \text{SEL})$  wordt gevonden door bovenstaand functievoorschrift in te vullen in formule (7):

$$0,0002 \cdot \text{SEL} - 0,0092 = 0,23 \cdot (0,0001 \cdot \text{SEL}^2 - 0,0092 \cdot \text{SEL} + 0,2035)$$

Hieruit volgt:  $\text{SEL}^2 - 100,7 \cdot \text{SEL} + 2423 = 0$

Oplossen geeft:  $\text{SEL} = 39,8 \text{ dB(A)}$  en  $\text{SEL} = 60,9 \text{ dB(A)}$ .

Omdat de functie  $f$  alleen de kans op ontwaken geeft in een gebied boven de  $55 \text{ dB(A)}$ , moet de eerste oplossing buiten beschouwing worden gelaten.

Het toevoegen van de kwadratische term aan de functie voor de kans op tussentijds ontwaken, geeft dus een verschuiving van het maximum van  $59,3$  naar  $60,9 \text{ dB(A)}$ , dat wil zeggen een verhoging van  $1,6 \text{ dB(A)}$ . Als  $25 \text{ dB(A)}$  de grenswaarde is voor  $L_{\text{Aeq}}(23\text{-}7\text{h})$ , vinden we met de kwadratische term in de vergelijking dat  $E(n; \text{SEL}) = 38,0$ . Dit is een verhoging van het aantal maal tussentijds ontwaken per jaar met 8 (25%) in vergelijking tot de uitkomst zonder kwadratische term. Een  $E(n; \text{SEL}) = 38,0$  komt overeen met het maximum bij een  $L_{\text{Aeq}}(23\text{-}7\text{h})$  van  $26 \text{ dB(A)}$ .