

Beoordeling van geluidpieken in de woonomgeving

discussiestuk

TNO Preventie en Gezondheid

Datum

Mei 1999

Auteur(s)

HME Miedema

Auteur

HME Miedema

Projectnummer

40438

ISBN-nummer

Inhoud

Inhoud	3
1 ACHTERGROND EN VRAAGSTELLING.....	4
2 SAMENHANG VAN EXTRA NEGATIEVE EFFECTEN MET SEL OF L_{Amax}	7
3 L_{AEQ} -MATEN EN EFFECTEN VAN INDIVIDUELE GEBEURTENISSEN	11
3.1 Relatie tussen SEL en L_{Amax}	11
3.2 De maximale incidentie van een effect	13
3.3 De maximale incidentie van ontwaken.....	14
3.4 De maximale incidentie van interruptie van conversatie.....	15
4 VERWACHTTE INCIDENTIE VAN ONTWAKEN IN CONCRETE SITUATIES.....	19
4.1 Overvluchten bij Schiphol.....	19
4.2 Vrachtwagens bij industrieterreinen.....	21
4.3 Rangeerterrein bij Sittard	23
5 SAMENVATTING EN DISCUSSIE	25
LITERATUUR	29
BIJLAGE	30

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. Vooralnog 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 (23 - 7h) 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_{etm}), vastgesteld voor het invallend geluid buiten op de meest belaste gevel. Voor de geluidmaat die in verband met slaapverstoring wordt gehanteerd [$L_{Aeq}(23-6h)$], worden standaard

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 discussiestuk 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.

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

- A. geluidgebeurtenissen sterker aan nadelige effecten (hinder, slaapverstoring) bijdragen 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 voorspelbaar zijn aan de hand van de SEL of L_{Amax} voor individuele geluidgebeurtenissen;
- C. deze extra nadelige effecten optreden 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 mogelijke nadelige effecten van geluidgebeurtenissen aan de orde (punt A), waarna in hoofdstuk 3 de voorspelbaarheid met SEL of L_{Amax} voor individuele geluidgebeurtenissen besproken wordt (punt B). In hoofdstuk 4 wordt nader ingegaan op de relatie tussen L_{Aeq} -maten en niveaus van individuele gebeurtenissen in termen van SEL of L_{Amax} (punt C).

Om de bespreking concreet te maken, veronderstellen we dat L_{dn} gebruikt wordt in relatie tot hinder en $L_{Aeq}(22-7h)$ in relatie tot slaapverstoring. Verder veronderstellen we dat deze maten zonodig gecorrigeerd zijn voor het extra effect van impuls karakter, tonale componenten of

laagfrequent karakter, zodat deze aspecten hier buiten beschouwing kunnen blijven. De bespreking hangt niet af van de keuze voor L_{dn} en $L_{Aeq}(22-7h)$ en gaat, mutatis mutandis, ook op voor andere van L_{Aeq} -maten.

2 SAMENHANG VAN EXTRA NEGATIEVE EFFECTEN MET SEL OF L_{Amax}

Dit hoofdstuk gaat in op de vraag welke aspecten van geluidgebeurtenissen kunnen veroorzaken dat de gebeurtenissen een sterker negatief effect (hinder, slaapverstoring) hebben 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. De volgende aspecten van geluidgebeurtenissen die mogelijk oorzaak zijn van een extra nadelig effect, worden besproken:

- angst;
- schrik- en aandachtsreacties;
- ontwaken;
- onverstaanbaarheid;
- trillingen;
- vermijdbaarheid.

Angst is een belangrijke determinant van hinder. Bij gelijke geluidbelasting in termen van L_{dn} 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_{dn} dat (maximaal) 19 dB(A) hoger is (Miedema en Vos, 1999). Dit betekent dat geluidgebeurtenissen die angst oproepen en waardoor 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 geluidniveau, 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. Tot circa 15 dB/s is er geen extra negatief effect. In deze categorie valt vrijwel alle geluid van verkeer (weg, rail, vlieg). Tussen 15 en 150 dB/s neemt het extra negatieve effect ongeveer lineair toe met $\lg R$. In dit gebied vallen 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 SEL. Boven 150 dB/s is de extra hinderlijkheid constant 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 (#) 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 is te beschouwen als het negatiefste effect dat een enkele geluidgebeurtenis in de nacht kan hebben, maar de drempel voor ontwaken is tamelijk hoog in verhouding tot de drempel voor andere nadelige effecten. Terwijl gebeurtenissen met lagere niveaus kunnen bijdragen aan hinder

en toename van het aantal verschuivingen tussen slaapstadia, zou op basis van voorlopige expositie effect relaties vrijwel niemand wakker worden van geluidgebeurtenissen met $SEL < 60 \text{ dB(A)}$ in de slaapkamer (zie hoofdstuk 3). In discussie is of deze waarde van 60 dB(A) al dan niet vervangen zou moeten worden door 55 dB(A) , zoals is voorgesteld door de Gezondheidsraad (1997). In dit discussiestuk wordt echter voornamelijk van 60 dB(A) uitgegaan.

Met een raam op een kier (15 dB(A) isolatie) treedt ontwaken dus nauwelijks op als aan de gevel $SEL < 75 \text{ dB(A)}$. Geluidgebeurtenissen met een hogere SEL kunnen mogelijk meer bijdragen aan de slaapverstoring dan verwacht op grond van hun bijdrage aan een L_{Aeq} -maat, omdat er mensen 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. 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 verband hiermee heeft de Gezondheidsraad (1997) geadviseerd om op het L_{Aeq} voor de nacht ook ondermeer de straffactoren voor impuls karakter toe te passen.

Onverstaanbaarheid leidt tot onderbreking van een 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 en eventueel de afstand tussen de gesprekspartners verkleind moet worden. Een gesprek met een onderlinge afstand van 1 m zal echter niet onderbroken worden door geluidgebeurtenissen met $SEL < 65 \text{ dB(A)}$ op de plek waar het gesprek plaatsvindt (zie hoofdstuk 3). Dit betekent dat interrupties vooral buiten (in de tuin, op het balkon) en met de ramen open binnen zullen plaatsvinden. In zwaar belaste gebieden zullen interrupties zich ook binnen voordoen met de ramen dicht. Bij een isolatie van 25 dB(A) met de ramen dicht is er dus kans op interrupties van conversaties op 1 m binnen met gesloten ramen wanneer $SEL > 90 \text{ dB(A)}$ aan de gevel buiten.

Onverstaanbaarheid en daarmee samenhangend de kans op een interruptie van de communicatie hangt in belangrijke mate direct af van het niveau van een geluidgebeurtenis. Wel is een langdurige onderbreking, bijvoorbeeld door een passerende goederentrein, is hinderlijker dan een kort-

stondige interruptie. Het gebruik van L_{Amax} heeft de voorkeur als het alleen om de kans op interrupties gaat.

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 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 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, zeker wanneer trillingen in de woning vooral door overdracht via de bodem (weg- en railverkeer, industrie) tot stand komen. SEL of L_{Amax} zouden een indirecte, onzuivere indicatie geven voor het optreden van trillingen. 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.

Vermijdbare geluidgebeurtenissen zijn extra hinderlijk. Het gevoel dat een hinderlijke blootstelling aan geluid onnodig plaatsvindt, versterkt de irritatie over het geluid. Voorbeelden van in belangrijke mate vermijdbaar geluid zijn brommers en motoren met hoge geluidemissie en 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 vermijdbare geluid van brommers kan bijvoorbeeld direct bestreden worden door het toepassen van bestaande emissie-eisen. Het stellen van aanvullende grenzen voor SEL of L_{Amax} (immissie) is hiervoor niet nodig.

3 L_{AEQ} -MATEN EN EFFECTEN VAN INDIVIDUELE GEBEURTENISSEN

Ontwaken en onverstaanbaarheid 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} -maten reeds inhouden voor SEL of L_{Amax} . Deze beperkingen zijn eenduidiger voor SEL dan voor L_{Amax} . Als slechts een type geluidgebeurtenis voorkomt, dan geldt:

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

$$(1b) \quad L_{dn} = SEL + 10 \lg [N(7-22h) + 10.N(22-7h)] - 74,9$$

waarbij L_{Aeq} betrekking heeft op een periode met duur T (in s) en L_{dn} betrekking heeft op een jaar. SEL is het sound exposure level van een gebeurtenis en N het aantal gebeurtenissen in de desbetreffende periode. De constante is verkregen door 10 maal de logaritme van de desbetreffende tijdsduur 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_{dn} 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} (integratietijd: 125 ms) vaak gebruikt wordt om het niveau van een geluidgebeurtenis te beschrijven, wordt eerst de relatie tussen L_{Amax} en SEL besproken.

3.1 Relatie tussen SEL en L_{Amax}

De relatie van SEL met L_{Amax} is in het algemeen niet eenduidig. Voor één type gebeurtenis kan de relatie wel eenduidig zijn. We gaan hier in op de relatie voor gebeurtenissen met een blokvorm, een 'tentvorm' en op de relatie voor impulsgeluiden.

Bij een blokvorm neemt het geluidniveau zeer snel toe, is dan tijd T (in s) constant en neemt tenslotte 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 passerend-

de, 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 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. Dit is een redelijk benadering als de bijdrage aan SEL tijdens de periode met toenemend en afnemend geluidniveau groot is ten opzichte van de bijdrage van de piek. Het geluid van een op grote afstand passerend vliegtuig kan bijvoorbeeld op deze wijze benaderd worden. Voor tentvormige gebeurtenissen geldt:

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

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: $\text{SEL} = 0,8 \cdot L_{A_{\max}} + 25$. Dit is in overeenstemming met (3) wanneer bijvoorbeeld a = 2,8 als $L_{A_{\max}} = 100$, a = 1,1 als $L_{A_{\max}} = 80$ en a = 0,4 als $L_{A_{\max}} = 60$. 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 beschrijving van een gebeurtenis met SEL.

3.2 De maximale incidentie van een effect

Veronderstel dat de kans dat een geluidgebeurtenis in de nacht een effect (ontwaken bijvoorbeeld) veroorzaakt, een functie f is van de SEL van die gebeurtenis en niet afhangt van andere geluidgebeurtenissen. Dan is de verwachting voor het aantal keer n dat dit effect optreedt:

$$(5) \quad E(n; SEL) = N \cdot f(SEL).$$

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) :

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

waarin L staat voor L_{Aeq} . 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 een type gebeurtenis.

Stel, om het bovenstaande wat verder uit te kunnen werken, dat de kans dat een gebeurtenis tot ontwaken leidt, rechtevenredig is met SEL:

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

Uit (7) en (8) volgt dat het verwachte aantal gebeurtenissen maximaal is als:

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

Opgemerkt kan worden dat $f(-b/a) = 0$ en dus $-b/a$ de drempel voor ontwaken is. Uit (9) blijkt dus dat bij een lineair verband tussen SEL en de kans op het effect, de SEL-waarde waarbij maximale

incidentie optreedt, alleen afhangt van de drempel voor ontwaken en niet van de toename van de kans op het effect boven de drempel.

3.3 De maximale incidentie van ontwaken

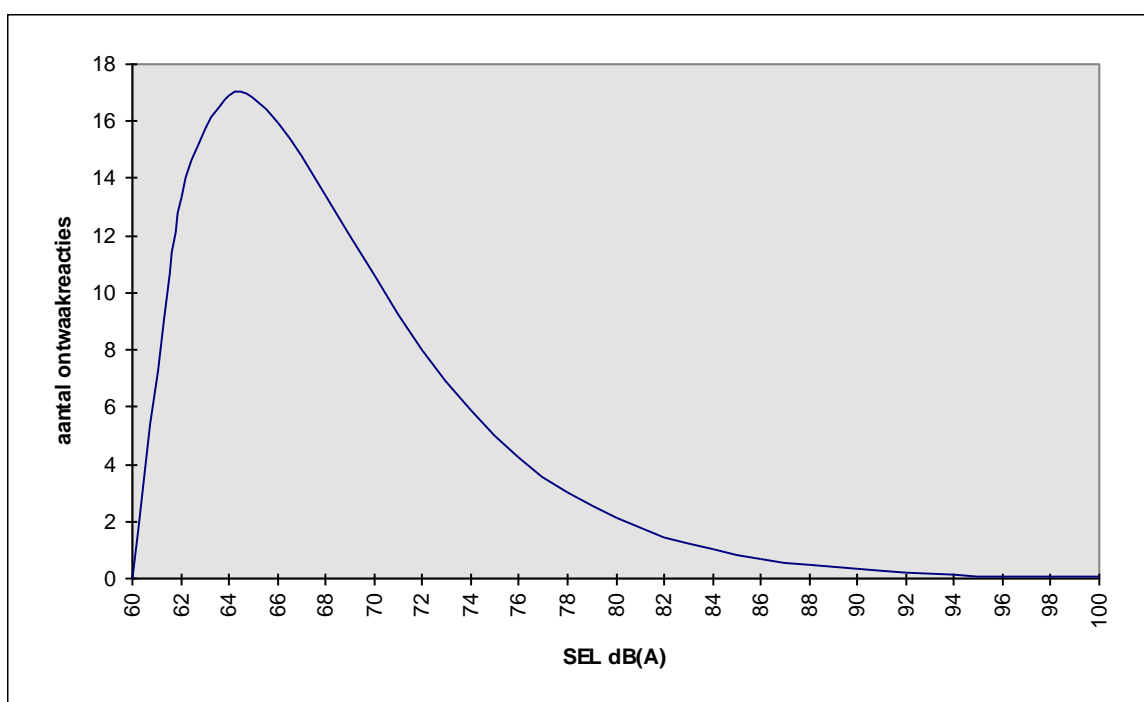
Het voorbeeld in deze paragraaf illustreert hoe een grenswaarde voor $L_{Aeq}(22-7h)$ het verwachte aantal maal dat iemand wakker wordt, beperkt. Neem 27 dB(A) als limiet voor $L_{Aeq}(22-7h)$ binnen en laat 60 dB(A) de kritische grens zijn voor SEL binnen waarboven ontwaakreacties kunnen optreden. Voor de kans op ontwaken boven deze drempel gebruiken we de relatie $f(SEL) = 0,0018 \cdot SEL - 0,108$ ofwel: $f(SEL) = 0.0018 (SEL-60)$ (Passchier-Vermeer,1994). Deze kansfunctie is alleen geldig voor 60 dB(A) en groter.

Met vergelijkingen (8) en (9) vinden we een maximale waarde voor het verwachte aantal ontwaakreacties bij $SEL = 64,3$ dB(A). Het tekenverloop van de afgeleide leert ons dat het hier om een maximum gaat. Door substitutie in vergelijking (6) wordt het maximum gevonden: $E(n; SEL) = 16,9$.

Dus met 27 dB(A) als limiet voor $L_{Aeq}(22-7h)$ binnen worden maximaal 17 ontwaakreacties in een jaar verwacht. In figuur 1 is het verband tussen het aantal verstoringen per jaar als functie van SEL weergegeven, waarbij is uitgegaan van een kans op slaapverstoring zoals voorgesteld door Passchier-Vermeer (1994).

Het toevoegen van een kwadratische term aan $f(SEL)$ waardoor de kans op ontwaken vanaf de drempel sneller toeneemt tot een ongeveer driemaal zo hoge waarde bij $SEL = 100$ dB(A), geeft slechts een geringe verschuiving van de plaats en hoogte van het maximum te zien (zie bijlage).

Figuur 1: Het aantal ontwaakreacties per jaar als functie van SEL, waarbij de kans op ontwaken evenredig is met SEL: $f(SEL) = 0.0018 (SEL-60)$. Alle geluidgebeurtenissen hebben gelijke SEL zodat het aantal geluidgebeurtenissen vastligt als de SEL waarde en het LAeq gegeven zijn. Hier geldt $LA_{eq}(22-7) = 27 \text{ dB(A)}$. Wordt een hogere waarde dan 27 dB(A) als limiet voor $L_{Aeq}(22-7h)$ genomen, dan wordt maximaal het aantal ontwaakreacties voor 28 dB(A) 21 in een jaar, voor 29 dB(A) 27 in een jaar en voor 30 dB(A) 34 in een jaar.



3.4 De maximale incidentie van interruptie van conversatie

Op gelijke wijze kan worden nagegaan hoe een grenswaarde voor L_{dn} de incidentie van onderbreking van conversatie beperkt. Neem 50 dB(A) als limiet voor L_{dn} en neem aan dat voor slaapverstoring een grenswaarde voor de nacht binnen is vastgelegd, namelijk $L_{Aeq}(22-7h) = 27 \text{ dB(A)}$.

Complicaties ten opzichte van het voorbeeld met betrekking tot ontwaken zijn:

1. Voor een deel van de periode, de nacht van 22 – 7h, wordt het L_{Aeq} apart beperkt.
2. Conversatie vindt niet voortdurend plaats tijdens de beschouwde periode, zodat een deel van de geluidgebeurtenissen geen interruptie kan veroorzaken omdat er geen conversatie is. Laat

z de kans zijn dat een bepaald persoon op een willekeurig moment converseert als spreker of als luisteraar.

3. 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 7 – 22h p_G de kans zijn dat men binnen is met de ramen gesloten en veronderstel dat dan de geluidwering 25 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 7 – 22h 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).

Standaardcurven voor de kans op onderbreking van een gesprek als functie van L_{Amax} of SEL zijn niet bekend. Wel kan een dergelijke curve geschat worden op grond van bestaande gegevens (Heusden et al., 1979; Plomp, 1986) over geleverde spraakniveau ('vocal effort') op 1 m van de spreker en het vereiste spraakniveau (SRT = 'speech reception threshold') als functie van het achtergrondgeluidniveau (Houtgast, 1999). Bij een achtergrondniveau van 65 dB(A) lijkt het spraakniveau nog net toereikend om de verstaanbaarheidsdrempel te bereiken (50 % van de zinnen wordt verstaan). Op grond hiervan kan geschat worden (Houtgast, 1999) dat de kans op gespreksonderbreking (lineair) toeneemt van 0 bij $L_{Amax} = 55$ dB(A) tot 1 bij $L_{Amax} = 75$ dB(A). De (helling van) de lijn wordt bepaald door de individuele variaties in spraakniveau, in bereidheid om even extra luid te spreken, en in individuele omstandigheden.

Bij de schatting van de 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 daar geleverde spraakniveau lager.
- 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.
- De duur van een geluidgebeurtenis speelt 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. Om alleen de kans op een onderbreking te voorspellen lijkt L_{Amax} een betere maat dan SEL.

Gegevens uit veldstudies waarin gevraagd is naar verstoring van communicatie door geluid en waarin de geluidbelasting bepaald is, bieden geen aanknopingspunten om bovenstaande schatting te verfijnen. De studie met de meest relevante gegevens betreft geluid van vliegtuigen (TNO en RIVM, 1998). In deze studie is voor iedere respondent de verdeling van de SEL voor een jaar vastgesteld voor de verschillende perioden van de dag. Voor de onderhavige studie is nagegaan welke lineaire combinatie van de aantallen gebeurtenissen per 5 dB(A) SEL-klasse de beste voorspelling van de gerapporteerde communicatieverstoring geeft (vraag H9, herschaald zodat de laagste categorie waarde 0 heeft). Dit is gedaan met een constante in de lineaire vergelijking, en zonder een constante. Het laatste is gedaan om er voor te zorgen dat de voorspelde verstoring 0 is als er geen gebeurtenissen zijn.

Ten aanzien van de uitkomst was vooral van belang of de gevonden coëfficiënten voor de 5 dB(A) SEL-klassen laag en niet significant zouden zijn voor lage klassen en zouden toenemen van de lage naar de hoge klassen. Op deze wijze zou bijvoorbeeld een indicatie voor een drempel in SEL voor bijdrage aan communicatieverstoring verkregen worden. Het geschetste patroon werd in geen van beide analyses (met en zonder constante) gevonden. Juist ook de gebeurtenissen met lage SEL, onder de eerder geschatte grens voor gespreksonderbreking van L_{Amax} van 55 dB(A), waarbij SEL 0-5 dB(A) hoger genomen is, dragen in belangrijke mate bij aan de gerapporteerde communicatieverstoring. Op grond van het boven aangehaald laboratorium onderzoek kan verwacht worden dat deze gebeurtenissen weliswaar niet leiden tot interrupties, maar wel het spraakcomfort verminderen (harder moeten praten, beter moeten luisteren omdat wel het noodzakelijke, maar niet het gewenste spraakniveau geleverd wordt). Vermoedelijk verklaard dit de invloed van deze gebeurtenissen op de gerapporteerde communicatieverstoring.

Een iets andere omrekeningsfactor van L_{Amax} naar SEL (b.v. van 10 dB(A) zou wat meer spraakinterrupties aannemelijk hebben gemaakt.

De bovenstaande relatie voor L_{Amax} kan in termen van SEL vertaald worden aan de hand van de resultaten uit paragraaf 3.1. Voor dit verschil wordt een omrekeningsfactor gebruikt van 10 dB(A). (volgens Ollerhead, 1992, is de omrekeningsfactor 10 dB(A) voor $L_{Amax} = 75$ dB(A). De kritische grens waarboven onderbrekingen kunnen optreden, is dan in termen van SEL 65 dB(A). Voor de kans op een interruptie bij $65 < SEL \leq 85$ gebruiken we de relatie $f(SEL) = 0,05 (SEL - 65)$ ofwel $f(SEL) = 0,05 \cdot SEL - 3,25$. Voor $SEL > 85$ wordt aangenomen dat de kans op een

onderbreking 1 is. De kans dat er een interruptie plaatsvindt, er rekening mee houdend dat men niet altijd converseert, is dan 0 tot 65 dB(A), bij $65 < SEL \leq 85$ is de kans $f(SEL) = 0,05 \cdot z$ ($SEL - 65$) en boven 65 dB(A) is de kans z . Met vergelijkingen (8) en (9) vinden we dat de maximaal verwachte incidentie van onderbrekingen zich voordoet bij $SEL = 69,3$ dB(A).

Het verwachte aantal interrupties tijdens de periode 22 – 7h kan verwaarloosd worden gezien de grenswaarde voor de nacht binnen van $L_{Aeq}(22-7h) = 27$ dB(A) en de beperkte tijd dat in de nacht wordt geconverseerd. De ongunstigste veronderstelling is dan dat alle geluid in de dagperiode wordt geproduceerd. Met 50 dB(A) als limiet voor L_{dn} is in dat geval 52 dB(A) ($= 50 + 10 \lg[24/15]$) de grens voor $L_{Aeq}(7-22h)$.

Het maximaal verwachte aantal interrupties in een jaar voor de periode 7 – 22h 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. Stel voor dit rekenvoorbeeld dat $z = 0,10$, $p_G = 0,75$ en $p_O = 0,22$. De kans dat men buiten is wordt daarmee 0,03 verondersteld te zijn.

Het maximum voor verblijf buiten wordt gevonden door substitutie van $10 \lg T = 57,7$ ($= 10 \lg [0,03 \times 365 \times 15 \times 60 \times 60]$), $L = 52$ en $SEL = 69,3$ in vergelijking (6): $E(n; SEL) = 235,7$. Door substitutie van $10 \lg T = 66,4$ ($= 10 \lg [0,22 \times 365 \times 15 \times 60 \times 60]$), $L = 37$ en $SEL = 69,3$ wordt het maximum voor verblijf binnen met de ramen open gevonden: $E(n; SEL) = 55,3$. Tenslotte wordt door substitutie van $10 \lg T = 71,7$ ($= 10 \lg [0,75 \times 365 \times 15 \times 60 \times 60]$), $L = 27$ en $SEL = 69,3$ wordt het maximum voor verblijf binnen met de ramen gesloten gevonden: $E(n; SEL) = 18,7$.

Dus met 27 dB(A) als limiet voor $L_{Aeq}(22-7h)$ binnen en 50 dB(A) als limiet voor L_{dn} buiten aan de gevel worden maximaal 310 ($= 235,7 + 55,3 + 18,7$) onderbrekingen van een conversatie in een jaar verwacht, gegeven de verdere boven beschreven aannames. Dit betekent ongeveer 6 onderbrekingen per week.

4 VERWACHTE INCIDENTIE VAN ONTWAKEN IN CONCRETE SITUATIES

4.1 Overvluchten bij Schiphol

In het kader van het onderzoeksprogramma Gezondheidskundige evaluatie Schiphol is een vragenlijst onderzoek uitgevoerd (TNO/RIVM, 1998). Voor elk van de 11812 respondenten is door NLR de geluidbelasting geschat. Onder meer is voor elke respondent op jaarbasis het aantal overvluchten van vliegtuigen van en naar Schiphol met bepaalde SEL waarden, ingedeeld in klassen, geschat. Deze schatting is gegeven voor de diverse perioden van het etmaal. In de volgende berekeningen is uitgegaan van de geluidbelastingen gedurende het gehele jaar in de periode van 22 tot 07 uur. Tevens is gebruik gemaakt van de schattingen van de SEL waarden die binnenshuis zouden zijn opgetreden. Ook is op de door NLR geleverde gegevens een correctie toegepast waarbij rekening is gehouden met verschillen tussen de door NLR geleverde schattingen en in werkelijkheid optredende niveaus

Op basis van de per respondent bepaalde aantallen SEL waarden in een bepaalde klasse is het totaal aantal ontwaken per jaar door overvluchten met een SEL in die klasse berekend door het aantal waarnemingen te vermenigvuldigen met de kans op ontwaken bij het klassenmidden volgens de formule

$$O_i = N_i \cdot 0,0018 (SEL_i - 60) \text{ voor } SEL_i > 60 \text{ dB(A)},$$

Waarbij O_i het aantal ontwaken per jaar door N_i overvluchten met SEL in klasse i met klassenmidden SEL_i .

Het totaal aantal ontwaken van een respondent per jaar door alle overvluchten in alle SEL klassen met klassenmiddens van tenminste 60 dB(A) is berekend door sommatie van alle O_i -waarden. *In deze berekeningen is er van uitgegaan dat de respondent, afgezien van tussentijds ontwaken door vliegtuiggeluid, gedurende de gehele periode van 22 tot 07 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 die gerelateerd zijn aan de etmaal belasting, zoals geluidhinder, 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 populatie niveau. Dezelfde weging als in het vragenlijst onderzoek gebruikt is voor de schatting van geluidhinder op populatie niveau is ook in de huidige berekening voor de schatting van slaapverstoring op populatie niveau meegenomen. Of en zo ja, welke fout hierbij gemaakt wordt is onbekend.

Gedetailleerde gegevens zijn opgenomen in de tabellen. Gemiddeld is het volgende geconstateerd:

- Gemiddeld zijn er voor een bewoner in het studiegebied rond Schiphol per jaar in de perioden van 22 tot 07 uur 2137 overvluchten met SEL waarden in de klassen boven 60 dB(A). De gemiddelde SEL waarde van deze overvluchten is 66,1 dB(A);
- Gemiddeld is het equivalente geluidniveau door vliegtuigen voor een bewoner in het studiegebied rond Schiphol in de periode van 22 tot 07 uur 32,5 dB(A);
- Naar schatting is het gemiddeld aantal ontwaken van een bewoner in het studiegebied in de perioden 22 tot 07 uur 24,3 per jaar.

Percentage van de bevolking in het studiegebied rond Schiphol	Ten hoogste het aantal overvluchten met SEL > 60 dB(A) per jaar over de perioden van 22 tot 07 uur
1	490
10	650
25	810
50	1510
75	2780
90	4020
99	8400

Midden van SEL klasse	Gemiddeld aantal overvluchten per jaar per bewoner over de perioden van 22 tot 07 uur in de SEL klasse	Bijdrage aan het gemiddeld aantal ontwaken per jaar per bewoner over de perioden van 22 tot 07 uur. Tussen haakjes het percentage
63,1	869	4,8 (19,8)
66,2	628	7,0 (28,8)
69,3	388	6,5 (26,7)
72,4	199	4,4 (18,1)
75,6	42	1,2 (4,9)
78,7	10	0,3 (1,2)
81,8	1,2	0,1 (0,4)
84,9	0,1	-
88,0 en hoger	-	-
Totaal		24,3 (100)

Cumulatief percentage van de bevolking in het studiegebied rond Schiphol	Ten hoogste het aantal ontwaken door overvluchten met SEL > 60 dB(A) per jaar over de perioden van 22 tot 07 uur
1	6
10	8
25	10
50	16
75	30
90	47
99	101

Cumulatief percentage van de bevolking in het studiegebied rond Schiphol	Blootstelling aan vliegtuiggeluid tussen 22 en 07 uur met een jaar L_{Aeq} van ten hoogste
1	29.0
10	29.5
25	30.1
50	31.0
75	32.5
90	33.7
99	37.1

4.2 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 een transportbeweging en van het equivalente geluidniveau over een periode van 15 minuten, waarin een 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 een formule afgeleid over het verband tussen buiten gemeten L_{Amax} en SEL op basis van door TPD geleverde gegevens. Deze formule luidt:

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

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 van deze cumula-

tieve 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 de tabel gegeven. Vervolgens is nagegaan bij hoeveel bewegingen het equivalente geluidniveau door deze bewegingen over een periode van 9 uur (22 – 07 uur) een waarde van 27 dB(A) wordt bereikt, uitgaande van de verdeling zoals in de tabel gegeven. Dit is bij 10,0 bewegingen (bij 100 bewegingen met dezelfde verdeling van SEL waarden ligt het equivalente geluidniveau over de periode van 9 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 elke nacht 10,0 bewegingen zijn met de verdeling van SEL waarden, zoals eerder berekend. Het totaal aantal ontwaken over een jaar is 11. Voor de situatie met de ongunstigste verdeling van SEL waarden van geluidsgebeurtenissen (te weten alle gebeurtenissen hebben een SEL waarde van 64,3 dB(A)) is in hoofdstuk 3 voor een equivalent geluidniveau van 27 dB(A) van 22 tot 07 uur een maximaal aantal ontwaken van 17 genoemd.

Het resultaat kan ook nog op andere wijze geïnterpreteerd worden. Bij de ongunstigste configuratie van SEL waarden (alle 64,3 dB(A)) treden er per jaar 11 ontwaken op als $L_{Aeq,22-07h}$ gelijk is aan $27,0 - 1,1 = 25,9$ dB(A).

Tabel Gegevens over transportbewegingen van vrachtwagens

Klassemidden L_{Amax} buiten in dB(A)	Klassemidden SEL buiten in dB(A)	Klassemidden SEL binnen in dB(A)	% transportbewegingen	Totaal 10 bewegingen bijdrage aantal malen ontwaken per jaar
87	90,2	69,2	2.1	1.3
85	88.6	67.6	4.9	2.5
83	86.9	65.9	1.5	0.6
81	85.3	64.3	7.0	2.0
79	83.6	62.6	17.6	3.0
77	82.0	61.0	24.7	1.6
75	80.3	59.3	21.1	-
73	78.7	57.7	8.5	-
71	77.1	56.1	7.0	-
65 (<70)	75.5	54.4	5.6	-
Totaal				11,0

4.3 Rangeerterrein bij Sittard

De gegevens betreffen een spoorwegemplacement in Sittard (traject 836 en 837 in het Akoestisch Spoorboekje), zich uitstrekkend van circa 750 ten noorden tot circa 750 meter ten zuiden van het station. Het emplacement bestaat uit een aantal doorgaande sporen vanuit Roermond, met aan de noordzijde een aftakking naar Born en aan de zuidzijde een grote wisselstraat voor de richtingen Maastricht en Heerlen.

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 nacht periode arriveren en vertrekken er tijdens werkdagen 12 goederentreinen.

Bij representatieve bedrijfssituatie wordt in de ochtendperiode gedurende circa 2 uur gerangeerd met goederenwagons (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 Wet milieubeheer) en rijden over wissels, remgeluid en luchtafblazen van treinen aan het eind van iedere rangeerbeweging (onder Besluit Geluidhinder Spoorwegen vallend). Het rolgeluid van rangeertreinen is niet gemeten, vanwege de relatief lage geluidsniveaus door langzaam rijdende en korte rangeertreinen in Sittard. De optredende piekgeluidsniveaus aan de zuidzijde worden met name veroorzaakt door wissels in de doorgaande sporen. In het middentracé worden de hoogste piekgeluidsniveaus veroorzaakt door remmende treinen op de rangeersporen en door kruiswissels bij de perrons. In het noordelijke tracé liggen relatief weinig wissels in de doorgaande sporen; wel is er een wisselstraat voor de doorgaande treinen naar Born en voor rangerende treinen.

Van de geluiden afkomstig van het rangeren, het passeren van wissels, remgeluiden etc. zijn de LAmax waarden op stand fast gemeten op een twintigtal meetplaatsen gedurende de dagperiode. Tevens zijn tellingen gedaan van het aantal geluidgebeurtenissen gedurende de dag, avond en nacht. Het aantal gebeurtenissen in de nacht is ongeveer 20% van de gebeurtenissen gedurende de dag. Deze factor is bij het schatten van de geluidbelasting gedurende de nacht uit die van de dag in rekening gebracht. De duur van de diverse geluidgebeurtenissen wordt niet in het rapport vermeld. Een aantal van de gebeurtenissen betreffen impulsachtige geluiden en die duren waar-

schijnlijk korter dan 1s. Andere geluidgebeurtenissen, zoals het rijden over wissels duren wellicht langer dan 1 s. Om tot een betrouwbare schatting te komen van het aantal ontwaken zou het noodzakelijk zijn om beter inzicht te hebben in de tijdsduur van de diverse geluidgebeurtenissen. Het gaat hier echter meer om een illustratie van de in het discussiestuk geformuleerde model. Vrij arbitrair wordt de duur van elke geluidgebeurtenis op 1 s gesteld. Dat houdt in dat L_{Amax} gelijk is aan SEL. De metingen zijn buiten verricht. 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 60 dB(A), in de slaapkamer gemeten, treden er door geluidgebeurtenissen met een SEL buiten waarde van 81 dB(A) of lager geen ontwaken op. De meetresultaten op alle meetpunten laten dan zien dat er twee activiteiten zijn die boven de 81 dB(A) liggen: BGS rol 80 km/uur en BGS wissel. Uit het aantal maal dat deze activiteit overdag voorkomt, is het aantal gedurende de nacht geschat. Tevens is op basis van de resultaten op alle meetpunten een schatting gemaakt van de gemiddelde L_{Amax} waarde van deze beide soorten geluidgebeurtenissen. Het resultaat is gegeven in de volgende tabel.

Omgerekend naar L_{Aeq}, 22- 07h heeft de geluidbelasting een waarde van 36 dB(A). Het maximaal aantal ontwaken is bij deze geluidbelasting 134 per jaar.

geluidgebeurtenis	aantal keer per nacht	gemiddelde SEL binnen (dB(A))	bijdrage aan aantal maal ontwaken per jaar
BGS rol 80 km/uur	3,2	67,6	16
BGS wissel	90	61,0	59
Totaal			75

5 SAMENVATTING EN DISCUSSIE

In dit discussiestuk wordt er van uitgegaan dat geluid beschreven wordt met een L_{Aeq} -maat over het etmaal in verband met hinder en met een L_{Aeq} voor de nacht in verband met slaapverstoring en dat voor deze maten grenswaarden worden 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.

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

Het is nagegaan welke beperking grenswaarden voor $L_{Aeq}(22-7)$ impliceren voor het maximaal verwachte aantal ontwakingsen en welke beperking een grenswaarden voor L_{dn} impliceren voor het maximaal verwachte aantal gespreksonderbrekingen. Daartoe moest een aantal, voor een deel tamelijk onzekere veronderstellingen worden gemaakt. Met bedoelde veronderstellingen en 27 dB(A) als limiet voor $L_{Aeq}(22-7h)$ binnen worden maximaal 17 ontwaakreacties in een jaar verwacht. Met daarnaast 50 dB(A) als limiet voor L_{dn} buiten aan de gevel worden maximaal 310 onderbrekingen van een conversatie in een jaar verwacht. Beide gekozen grenzen liggen ongeveer op het niveau van huidige streefwaarden. De uitkomst suggereert dat ook bij realisatie van deze streefwaarden 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 de empirische veronderstellingen.

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 $L_{Aeq}(22-7h)$ over een jaar reeds een grenswaarde bestaat. Relaties in het schema zijn afgeleid voor situaties met constante SEL. Het schema kan met beperkte aanpassingen ook gebruikt worden in relatie tot andere effecten en andere L_{Aeq} -maten.

SCHEMA VOOR EEN BESLUIT OVER EEN SEL (OF L_{Amax}) NORM

1. Leg de grenswaarde L vast voor $L_{Aeq}(22-7h)$ aan de hand van relaties tussen $L_{Aeq}(22-7h)$ en slaapverstoringsparameters, en overige overwegingen.
2. Stel aan de hand van gegevens uit empirisch onderzoek vast welke functie f de kans op het slaapeffect geeft bij een bepaalde 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

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

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 in te vullen in:

$$E(n; SEL) = 10^{(L - SEL + 70,7) / 10} \cdot f(SEL).$$

(70,7 is afgeleid uit $T = 9$ uur per etmaal)

5. Stel vast of het bij stap 4 gevonden maximum voor het verwachte aantal keer dat een effect optreedt nog 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, E, voor het verwachte aantal keer dat een effect optreedt nog juist acceptabel is. De bijbehorende verlaagde grenswaarde voor L of de in te voeren grenswaarde voor SEL wordt dan gevonden door:

$$E = 10^{(L - SEL + 70,7) / 10} \cdot f(SEL),$$

Op te lossen voor L of voor SEL. De verlaagde L wordt gevonden door SEL uit stap 4 te gebruiken en op te lossen voor L. De grenswaarde voor SEL wordt gevonden door L uit stap 1 te gebruiken en 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) met:

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

en voor een impuls met:

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

Een belangrijke keuze moet gemaakt worden bij stap 5: of de grenswaarde L voor de L_{Aeq} -maat verlagen of SEL aan een maximum binden. Voor het beperken van het maximale incidentie van een effect, lijkt de tweede optie in praktijk niet haalbaar. De reden daarvan is dat de bij stap 3 gevonden waarde voor SEL dicht boven de drempelwaarde voor het effect ligt. Bij een lineaire relatie van SEL met de kans op een effect is het verschil met de drempel 4,3 dB(A) ($= 10/\ln 10$). Om een beperking te zijn voor de maximale incidentie van een effect, moet een grenswaarde voor SEL beneden dit niveau vastgesteld worden. Volgens de huidige inzichten ligt de drempel voor ontwakken niet (veel) hoger dan 60 dB(A) en de drempel voor onderbreking van een gesprek niet (veel) hoger dan 65 dB(A). Dit zou betekenen dat een grenswaarde voor SEL lager vastgesteld moeten worden dan circa 65 respectievelijk circa 70 dB(A). Dit is in de huidige praktijk niet haalbaar.

Natuurlijk is het zo dat de kans op een effect in de gehele bevolking groter is bij een hoge piek dan bij een lage piek en dat het elimineren van hoge pieken een relatief grote bijdrage geeft aan de verbetering van een geluidssituatie. Deze constatering heeft echter betrekking op de aanpak van een geluidssituatie, en impliceert niet, zoals we gezien hebben, dat een praktisch haalbare grenswaarde voor pieken een adequate bescherming garandeert tegen negatieve effecten van geluidgebeurtenissen.

LITERATUUR

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

Heusden E van, R. Plomp, LCW Pols. Effect of ambient noise on the vocal output and the preferred listening level of conversation speech. Applied acoustics, 12, 1979, pp31-x.

Houtgast T., persoonlijke communicatie, maart 1999.

Miedema HME. Geluidmaten voor Nederlands beleid: een discussiestuk. Leiden: TNO-PG, 1997; rapport 97.011.

Miedema HME en Vos H. 1999

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; rapport 94.021

Plomp R. A signal-to-noise ratio model for the speech reception threshold of hearing impaired. Journal of speech and hearing research, 29, 1986, pp 146-154.

Vos J

BIJLAGE

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 $t = t_{Amax}$ zal het geluidniveau dalen volgens:

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

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

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

$$SEL = 10 \cdot \lg \int_0^{2 \cdot t_{Amax}} 10^{L_t/10} dt$$

In dit geval geeft dit:

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

Hieruit volgt:

$$SEL = 10 \lg [20 / (a \ln 10) (\int_0^{t_{Amax}} 10^{a \cdot t/10} dt)], =$$

zodat:

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

Hieruit volgt formule (3) omdat $10^{L_{Amax}/10} \gg 1$:

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

2. Rekenvoorbeeld met kwadratische kansfunctie.

Aan de functie $f(\text{SEL}) = 0,0018 \cdot \text{SEL} - 0,108$ (Passchier-Vermeer, 1994) voor de kans op slaapverstoring kan ter illustratie een kwadratische term worden toevoegd om na te gaan wat het maximum is voor het verwachte aantal ontwakingen indien de functie sneller zou stijgen:

$$f(\text{SEL}) = 0,0018 \cdot \text{SEL} - 0,108 + (\text{SEL} - 60)^2 / 10000$$

Deze functie is ook 0 bij $\text{SEL} = 60 \text{ dB(A)}$, maar bij $\text{SEL} = 78 \text{ dB(A)}$ tweemaal zo groot. De functie kan ook als volgt geschreven worden:

$$f(\text{SEL}) = 0,0001 \text{SEL}^2 - 0,0102 \text{SEL} + 0,2520$$

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

$$0,0002 \cdot \text{SEL} - 0,0102 = 0,23 (0,0001 \cdot \text{SEL}^2 - 0,0102 \text{SEL} + 0,2520)$$

$$\Rightarrow \text{SEL}^2 - 110,8 \text{SEL} + 2983 = 0$$

$$\Rightarrow \text{SEL} = 46,1 \text{ en } \text{SEL} = 65,4$$

Omdat de functie f alleen de kans op ontwakken geeft in een gebied boven de 60 dB(A) , moet de eerste oplossing buiten beschouwing worden gelaten.

Het toevoegen van de kwadratische term aan de functie voor de kans op verstoring, geeft dus een verschuiving van circa 1 dB(A) . Als 27 dB(A) de grenswaarde is voor $L_{\text{Aeq}}(22-7\text{h})$, vinden we dat $E(n; \text{SEL}) = 21,4$, een verhoging van circa 4 van het maximum van de verwachting voor het aantal slaapverstoringen per jaar

