TNO-Gezondheidsonderzoek

Nederlands Instituut voor
Praeventieve Gezondheidszorg TNO

Wassenaarseweg 56
2333 AL Leiden
Postbus 124
2300 AC Leiden

Fax 071 - 17 63 82
Telefoon 071 - 18 11 81

SC2
H71(1)

TNO-rapport

DE ROL VAN DE AANTALLEN PASSAGES BIJ GEZONDHEIDSEFFECTEN VAN NACHTVLUCHTEN

IBISSTAMBOEKNUMMER
2568

NIPG-publikatienummer
93.012

BIBLIOTHEEK NEDERLANDS INSTITUUT VOOR
PRAEVENTIEVE GEZONDHEIDSZORG TNO
2 6FEB 1993
POSTBUS 124, 2300 AC LEIDEN

Februari 1993

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, 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 Onderzoeksopdrachten aan TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

BIBLIOTHEEK NEDERLANDS INSTITUUT VOOR
PRAEVENTIEVE GEZONDHEIDSZORG TNO
0 8JUL 1993
POSTBUS 124, 2300 AC LEIDEN

W.F. Hofman*
R.G. de Jong

* Universiteit van Amsterdam
Faculteit der Psychologie

Nederlandse organisatie voor
toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek

TNO-Gezondheidsonderzoek stelt zich ten doel bij te dragen aan de verbetering van preventie en behandeling van ziekten en afwijkingen door het toepasbaar maken van kennis op medisch biologisch, psychosociaal en epidemiologisch gebied ten behoeve van de volksgezondheid en de gezondheidszorg.

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Deze uitgave is te bestellen door het overmaken van *f* 27,85 (incl. BTW) op postbankrekeningnr. 99.889 ten name van TNO-Gezondheidsonderzoek te Leiden onder vermelding van bestelnummer 93.012.

INHOUD **pagina**

SAMENVATTING i

ABSTRACT ii

1. INLEIDING 1
   1.1 Algemeen 1
   1.2 Achtergronden 1
   1.3 Aanleiding tot het onderzoek 2
   1.4 Onderzoeksvraag 3
   1.5 Uitwerking 3
   1.6 Werkwijze 5

2. THEORETISCHE ACHTERGRONDEN 6
   2.1 De menselijke slaap 6
   2.2 Geluidmaten 8

3. GELUIDGEBEURTENISSEN 9
   3.1 Definitie van het begrip 'geluidgebeurtenis' 9
      3.1.1 Gehoordrempel 11
      3.1.2 Waarnemingsdrempel 12
   3.2 Conclusie 13

4. GELUIDGEBEURTENISSEN, ONTWAAKREACTIES EN GEZONDHEID 15
   4.1 Inleiding 15
   4.2 Het voorkomen van ontwaakreacties 15
      4.2.1 Wekdrempelniveau en slaapstadium 17
      4.2.2 Geluidniveaus en ontwaakreacties 18
      4.2.3 Verschillen in geluidgevoeligheid 23
      4.2.4 De rol van het achtergrondgeluidniveau 24
      4.2.5 Laboratorium- versus veldonderzoek 25
      4.2.6 Conclusie 26

pagina

4.3 Het tegengaan van verdere ontwaakreacties 26

4.3.1 Verandering van de kans op ontwaken 27

4.3.2 Geluidpieken en achtergrondniveau 28

4.3.3 Conclusie 28

4.4 Wekdrempels: waarborg tegen gezondheidsrisico's? 29

4.4.1 Geluidniveaus en gezondheidseffecten 32

4.4.2 Reactie van de hartslag op geluidpieken 38

4.4.3 Gewenning van het organisme 39

4.4.4 Conclusie 40

5. DE ROL VAN HET TIJDSINTERVAL 41

5.1 Inleiding 41

5.2 Intermitterend versus continu geluid 42

5.3 Het belang van ononderbroken slaap 43

5.4 Geluidgebeurtenissen, intervallen en ontwaakreacties 43

5.5 Conclusie 47

6. DE INVLOED VAN DE TIJD VAN DE NACHT 48

6.1 Inleiding 48

6.2 Definitie van het begrip nacht 48

6.3 Effect van de tijd van de nacht op de slaap 50

6.3.1 Circadiaan ritme en wekdrempels 51

6.3.2 Gevoeligheid van nachtperioden 51

6.3.3 Conclusie 52

7. VERSCHILLEN TUSSEN GELUID AFKOMSTIG VAN WEGVERKEER EN VAN LUCHTVAART 54

7.1 Inleiding 54

7.2 Verschil in invloed van geluid 55

7.3 Conclusie 56

pagina

8. DE INVLOED VAN MEER DAN 32 GELUIDGEBEURTENISSEN GEDURENDE DE NACHT OP DE SLAAP 57
   - 8.1 Inleiding 57
   - 8.2 Stimuli van gelijk geluidniveau 58
   - 8.3 Studies met meer dan 32 stimuli per nacht 59
   - 8.4 Meer dan 32 stimuli en gezondheid 60
   - 8.5 Conclusie 62

9. GELUIDGEVOELIGE GEBOUWEN 63
   - 9.1 Inleiding 63
   - 9.2 Leeftijd 63
   - 9.3 Zieken 64
   - 9.4 Conclusies 64

10. EINDCONCLUSIE 66
   - 10.1 Conclusies 66
   - 10.2 Betekenis voor de Griefahn-methodiek 68

LITERATUUR 71

SAMENVATTING

In dit literatuuronderzoek is nagegaan welke rol de aantallen passages spelen bij de mogelijke gezondheidseffecten van nachtvluchten op de mens. De nadruk ligt hierbij op het voorkomen van ontwaakreacties. Allereerst is een kort exposé gegeven over de essentie van de menselijke slaap en over geluidmaten die doorgaans gebruikt worden bij onderzoek naar verstoringen van de slaap door blootstelling aan geluid. Vervolgens is het begrip 'geluidgebeurtenis' aan een nadere beschouwing onderworpen.

Ontwaakreacties blijven (vrijwel) geheel achterwege wanneer de maximale niveaus van individuele geluidgebeurtenissen niet boven de 40 dB(A) uitkomen. Wanneer er geluidspieken boven deze grens uitkomen kunnen ontwaakreacties ontstaan. Een gevolg van ontwaken is weer, dat wanneer nieuwe geluidgebeurtenissen, die kort daarna (binnen ongeveer tien minuten) optreden, men waarschijnlijk nog in een lichter slaapstadium verkeert, waardoor de kans op ontwaken weer groter wordt. Deze opvolgende geluidgebeurtenissen zullen dan beneden het niveau dienen te blijven waarop veranderingen van slaapstadia kunnen optreden, dus 5 dB(A) lager. Met andere woorden: gevoelige mensen kunnen reeds ontwaken door herhaalde geluidgebeurtenissen boven 35 dB(A). Deze 'drempels' moeten bij de discussie over normstelling gezien worden als streefwaarden. Pas boven de 55 dB(A) is er sprake van een significante toename van het aantal ontwaakreacties.

Ontwaakreacties lijken boven 32 geluidgebeurtenissen per nacht geen goede maat meer te zijn voor de kwaliteit van de slaap, aangezien bij grotere aantallen geluidgebeurtenissen de kans steeds groter wordt dat men nog wakker is als de volgende geluidgebeurtenis plaatsvindt en er dus geen nieuwe ontwaakreactie optreedt, terwijl wel de duur van de waakperiode verlengd wordt.

Redenerend kan de voorlopige conclusie worden getrokken dat meer dan 28 tot 36 geluidgebeurtenissen (verspreid over de tijd) van elk meer dan 35 dB(A) een minimaal vereiste continuïteit van de slaap in de weg staat en daarmee tot acute gezondheidsschade kunnen leiden.

Bovendien zullen reeds bij geringere aantallen dan deze, ergernis en stress bij omwonenden toenemen, hetgeen op de lange termijn een negatieve invloed kan hebben op de gezondheid.

In de Nederlandse situatie zal er ook slaapstoring kunnen optreden wanneer er in de wettelijke nachtperiode geen vliegverkeer is. De wettelijke nachtperiode (23-6 uur) sluit namelijk niet aan bij het gebruikelijke slaappatroon van de Nederlanders.

Er zijn geen onderzoeken uitgevoerd met meer dan 32 passages van vliegtuigen. Grotere aantallen passages van wegverkeer zijn wel bestudeerd. Er zijn geen aanwijzingen dat de andere aard van dit geluid de slaap principieel anders beïnvloedt.

ABSTRACT

In this literature survey the impact of the number of nighttime overflights on health is studied. Special attention is focused on awakening reactions. Firstly a summary is given of the essential features of human sleep and the noise measures, generally used in surveys on noise induced sleep disturbance. Secondly the term 'noise event' is contemplated upon.

Virtually no awakening reactions occur when peak levels of individual noise events do not exceed 40 dB(A). Noise events with higher peak levels may produce awakening reactions. As a result of these reactions new events, when occurring within approx. 10 minutes, have more chance to wake you up. Within this period repetitive noise events with peak levels exceeding 35 dB(A) can induce awakening reactions in sensitive people. These 'thresholds' should be used as values to strive for in the discussion on where to set limits. Only with sound levels over 55 dB(A) the number of awakening reactions will increase significantly.

Awakening reactions do not seem a valid indicator of sleep quality if induced by more than 32 noise events, as with higher numbers of noise events the chance of being awake at the time of the next noise event will also increase. In this situation no new awakening reaction will be observed, but sleep latency will be longer.

Theoretical deduction leads to the preliminary conclusion that more than 28 to 36 noise events (evenly distributed over the night) of over 35 dB(A) each, may prevent a minimally required sleep continuity and, in doing so, may actually endanger health.

Moreover, when peaklevels reach 50 to 55 dB(A), already with lower numbers than the ones mentioned before, annoyance and stress in the community will increase, with adverse effects on health in the future. In situations like these, strong community reactions have to be ancitipated.

The situation in the Netherlands may also lead to sleep disturbance if there would be a complete nighttime curfew. The legal nighttime period (23-6 hour) is not compatible with the usual sleeping pattern of the average citizen in the Netherlands.

No studies have been carried out using more than 32 aircraft overflights. There are studies on road traffic noise using more noise events. No indications are found that the different character of traffic noise influences human sleep in a basically other way.

1. INLEIDING

1.1 Algemeen

Het voorliggende rapport doet verslag van een onderzoek naar de rol van aantallen passages bij de mogelijke gezondheidseffecten van nachtvluchten op de mens.
Het onderzoek is in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer verricht door het Nederlands Instituut voor Preventieve Gezondheidszorg TNO in samenwerking met de Faculteit Psychologie van de Universiteit van Amsterdam. Het onderzoek is uitgevoerd parallel aan de inspraakprocedure inzake de ter visie gelegde ontwerp-aanwijzing ex artikel 24 LVW, waarop in paragraaf 1.3 wordt ingegaan.

1.2 Achtergronden

De aanbevelingen van Griefahn met betrekking tot normstelling voor de gevolgen van nachtvluchten richten zich op de bescherming van slapende mensen.
Griefahn gaat in haar methodiek uit van de situatie per afzonderlijke nacht. Zij tekent hierbij expliciet aan dat haar aanbevelingen niet als gemiddelde over een reeks van nachten mogen worden geïnterpreteerd (Griefahn, 1989).
In de Griefahn-methodiek worden de binnen de slaapkamer optredende piekniveaus en het aantal geluidgebeurtenissen gedurende een nacht in hun onderlinge samenhang beschouwd. Het werkingsgebied van de Griefahn-methodiek gaat tot 32 geluidgebeurtenissen. Er bestaat onzekerheid over de effecten van grotere aantallen geluidgebeurtenissen door vliegtuigen in de nachtperiode op de mens. Sommige onderzoeksresultaten (o.a. die van Griefahn, 1989) suggereren dat de slaappatronen slechts in geringe mate worden beïnvloed wanneer de aantallen verder toenemen. Andere resultaten wijzen echter op de gevaren daarvan (Altena, 1992).

1.3 Aanleiding tot het onderzoek

In de ontwerp-aanwijzing ex artikel 24 LVW betreffende de uitbreiding van de Luchthaven Maastricht met de oost-westbaan, zijn, mede gebaseerd op een evaluatie van de stand van zaken

van het wetenschappelijk onderzoek op het terrein van slaapverstoring als gevolg van luchtvaartlawaai op dat moment, door De Jong (1989), zogenoemde Griefahn-contouren opgenomen. Deze geven, afhankelijk van de dempingswaarde (dit is het verschil tussen het geluidniveau buitenshuis en in de slaapkamer) aan, waar de grenswaarde zoals die is geformuleerd door Griefahn, wordt bereikt. Deze contouren vormen vooralsnog de basis voor het isolatieprogramma betreffende slaapkamers van woningen rond de luchthaven. Het isolatiegebied waarbinnen woningen voor isolatie in aanmerking komen, wordt begrensd door de Griefahn-contour die uitgaat van een situatie zonder extra geluidwerende voorzieningen bij gesloten (ventilatie)ramen. Hierbij wordt uitgegaan van het verschil in geluidsspectrum van een modern straalverkeersvliegtuig bij het starten en bij het landen. De dempingswaarde van de gevel is bij een startend vliegtuig bepaald op 17 dB en voor een landend vliegtuid op 20 dB.

In deze ontwerp-aanwijzing is tevens vastgelegd dat het aantal vliegtuigbewegingen (dit is de som van het aantal starts en landingen) dat gedurende één periode van 23 tot 06 uur mag worden uitgevoerd, niet hoger mag zijn dan 36, waarvan ten hoogste 18 starts en 18 landingen. Voorts is in de ontwerp-aanwijzing, aan de hand van een indeling in drie vliegtuigcategorieën op basis van het door de vliegtuigen veroorzaakte geluidniveau buitenshuis, aangegeven welke soorten vliegtuigen gedurende deze periode van het vliegveld gebruik mogen maken en hoeveel starts en landingen met vliegtuigen uit elke categorie mogen worden uitgevoerd. In dit kader zijn vluchten met de lawaaiigste vliegtuigtypen - bijvoorbeeld de B 747 en DC 10 - gedurende de nacht verboden.

Door de Provincie Limburg en de exploitant van de Luchthaven Maastricht is verzocht meer dan 36 vliegbewegingen per nacht toe te staan c.q. geen getalsmatige limitering van het aantal vliegbewegingen per nacht te hanteren, voor zover dat dit niet leidt tot grotere Griefahn-contouren.

Er is nader onderzoek gewenst om te kunnen beoordelen of, en zo ja in hoeverre en onder welke voorwaarden, aan deze wensen tegemoet gekomen kan worden.

De afspraken over de inhoud van het onderzoek zijn verwoord in de brief van de Minister van Volkhuisvesting, Ruimtelijk Ordening en Milieubeheer van 28 maart 1991 (MGB 19391006). Hierin staat dat "nader onderzoek zal worden uitgevoerd naar de toepassing van de door het Kabinet voor de oostwestbaan gekozen Griefahn-normstelling voor nachtvluchten. Hoofdvraagstelling daarbij - zoals verwoord in de ontwerp-aanwijzing - is te bezien of en zo ja in hoeverre en onder welke omstandigheden de mogelijkheid bestaat om binnen de Griefahn-normstelling en binnen de voor de oostwestbaan vastgestelde Griefahnzone, per nacht meer bewegingen toe te laten dan het aantal van 36 dat in de ontwerp-aanwijzing als maximum is gesteld".

Relevant onderzoek met betrekking tot grotere aantallen nachtvluchten dan 32 is echter niet voorhanden. Daarom zal dit onderzoek zich noodgedwongen richten op andere geluidstimuli,

bijvoorbeeld afkomstig van wegen met een mix van licht en zwaar wegverkeer. Over de effecten van grotere aantallen (dan 32) nachtelijke passages van (vracht)auto's op de slaap bestaat wellicht wel informatie.

1.4 Onderzoeksvraag

De beleidsvraag luidt (zie ook 1.3): is het binnen de Griefahn-normstelling en binnen de voor de oostwestbaan vastgestelde Griefahnzone mogelijk per nacht meer dan 36 vliegbewegingen toe te laten?

Aangezien relevant onderzoek met betrekking tot grotere aantallen nachtvluchten niet voorhanden is, wordt noodzakelijkerwijs gekeken naar andere nachtelijke geluidstimuli, waarvan wellicht wel de inwerking van grotere aantallen op de slaap bestudeerd is. Daarom luidt de voornaamste onderzoeksvraag: welke effecten hebben talrijke (meer dan 32, dus buiten het werkingsgebied van het door Griefahn uitgevoerde onderzoek) geluidgebeurtenissen van luchtvaart en wegverkeer op de slaap, in het bijzonder op ontwaakreacties? Dit brengt onmiddellijk een tweede vraag met zich mee, naar de generaliseerbaarheid van onderzoeksresultaten met betrekking tot geluidgebeurtenissen van wegverkeer naar overvluchten.
Tevens wordt op verzoek van de opdrachtgever aandacht besteed aan de vraag welke bescherming tegen de gevolgen van nachtvluchten moet worden geboden met betrekking tot "andere geluidgevoelige gebouwen" zoals ziekenhuizen en dergelijke.

1.5 Uitwerking

Bij het uitwerken van de onderzoeksvraag is op verzoek van de begeleidingscommissie onder meer aandacht besteed aan de volgende aspecten:

a. wanneer (vanaf welke piekniveaus in de slaapkamer) moet men spreken van een 'geluidgebeurtenis'?

b. is er een ondergrens ten aanzien van het geluidniveau in de slaapkamer aan te geven, zodanig dat als gedurende een nacht uitsluitend gebeurtenissen optreden met een geluidniveau onder deze grens, ontwaakreacties achterwege blijven, ongeacht het aantal malen dat een dergelijk piekniveau optreedt? Zo ja, waar ligt deze grens (in dB(A))?

c. is er een ondergrens ten aanzien van het geluidniveau in de slaapkamer aan te geven, zodanig dat als gedurende een nacht zowel geluidgebeurtenissen optreden met niveaus boven als onder deze grens, de gebeurtenissen onder deze grens niet meer bijdragen tot het optreden van ontwaakreacties, ongeacht het aantal van deze gebeurtenissen? Zo ja, waar ligt deze grens (in dB(A))?

d. is het op wetenschappelijke gronden aantoonbaar dat met geluidniveaus onder de drempels als bedoeld in b en c bij normstelling betreffende nachtvluchten de gezondheidseffecten beneden een aanvaardbaar niveau blijven?

e. welke rol speelt het interval tussen opeenvolgende geluidgebeurtenissen bij het optreden van slaapverstoring?

f. wat is de definitie van het begrip nacht in het licht van recente bevindingen van de Gezondheidsraad?

g. wat is de rol die de periode van de nacht (vroeg, midden, laat) speelt bij het optreden van slaapverstoring door vliegtuigen?

h. onder welke voorwaarden is het uit gezondheidsoogpunt verantwoord om gedurende een nacht meer dan 32 geluidgebeurtenissen toe te laten?

i. wat zijn de beperkingen bij het generaliseren van de onderzoeksbevindingen met betrekking tot wegverkeer naar vliegtuigen? Zijn bevindingen ten aanzien van wegverkeer zonder meer geldend voor de luchtvaart? Welke zijn de randvoorwaarden?

j. welke mate van extra bescherming is wenselijk of nodig met betrekking tot de mensen in ziekenhuizen en andere - te specificeren - geluidgevoelige gebouwen?

Deze uitwerking van de onderzoeksvraag vergt een analyse van de effecten van aantallen geluidsprikkels en de niveaus daarvan op de absolute ontwaakdrempel. De uitkomsten van deze analyse maken duidelijk onder welke omstandigheden er hoegenaamd geen ontwaken door geluidgebeurtenissen zal plaatsvinden. Zij kunnen daarom bij de discussie over de nachtnormstelling gehanteerd worden als ondergrenzen of streefwaarden. Ook zullen waar mogelijk de grenzen voor maximum toelaatbare risico's, als bovengrenzen, worden aangegeven. Op grond van de resultaten van dit onderzoek zal in de eindconclusie (hoofdstuk 10) worden aangegeven welke percentages ontwaakreacties verwacht kunnen worden bij enkele mogelijke grenswaarden tussen deze onder- en bovengrenzen.

1.6 Werkwijze

De omvangrijke hoeveelheid literatuur die is bestudeerd in het kader van het onderzoek van W.F. Hofman: 'Vliegtuiglawaai, slaap en gezondheid. Achtergrondstudie in opdracht van de Gezondheidsraad.' (1991) heeft als uitgangspunt gediend voor het onderhavige onderzoek.
Er is een aanvullende literatuurverkenning uitgevoerd op de bestanden:

* MEDLINE;
* EMBASE;
* ENVIROLINE;
* PSYCHINFO;
* BIOSIS PREVIEW ABSTRACTS;

over de meest recente periode: 1990 en 1991.
Tevens zijn de Zweedse onderzoekers Öhrström en Eberhart geconsulteerd.

Het rapport is opgebouwd rond de aandachtspunten die genoemd zijn in de Uitwerking (1.5). De behandeling van deze aandachtspunten wordt voorafgegaan door een algemeen theoretisch hoofdstuk, waarin de veel gebruikte basisbegrippen in het kort de revue passeren (hoofdstuk 2). Vervolgens komen in de hoofdstukken 3 t/m 9 de diverse aandachtpunten aan de orde. In hoofdstuk 10 vindt tenslotte een expliciete terugkoppeling naar de beleidsvraag plaats.

2. THEORETISCHE ACHTERGRONDEN

2.1 De menselijke slaap

Het slaappatroon wordt beschreven aan de hand van parameters uit het electro-encephalogram (EEG), aangevuld met informatie uit het electro-oculogram (EOG of oogbewegingen) en het electromyogram (EMG of spierspanning). Deze laatste twee signalen zijn vooral nodig voor het bepalen van de REM-slaap.

De structuur van de slaap heeft een cyclisch karakter. REM-slaap (rapid eye movement slaap) en non-REM-slaap wisselen elkaar af met een periode van ongeveer 90 minuten. De REM slaap wordt gekenmerkt door een gedesynchroniseerd EEG (d.w.z. met hogere frequenties, zoals ook in de stadia 1 en 2 worden aangetroffen), het wegvallen van de spiertonus en het optreden van snelle, vaak in clusters voorkomende, oogbewegingen. In de non-REM-slaap kunnen vier stadia onderscheiden worden:

- een overgangsstadium tussen slapen en waken (stadium 1), gekenmerkt door gedesynchroniseerde slaap, dat wil zeggen met EEG frequenties in de alpha- -range (8-12 cycli per seconde) en de thêta-range (4-8 cycli per seconde);
- stadium 2, eveneens gekenmerkt door een gedesynchroniseerd EEG, maar ten opzichte van stadium 1 met minder alpha- en meer thêta-golven. Belangrijk is het optreden van 'slaapspoelen' en 'K-complexen', kortdurende fenomenen die opvallen ten opzichte van het achtergrond EEG;
- stadium 3, voor een deel gekenmerkt door een gesynchroniseerd EEG, met frequenties in de thêta-range en voor meer dan 30% in de delta-range (0,5-4 cycli per seconde);
- stadium 4, grotendeels gekenmerkt door een gesynchroniseerd EEG, met voor meer dan 50% frequenties in de delta-range (0,5-4 cycli per seconde) en voor het overige in de thêta-range (4-8 cycli per seconde).

De stadia 3 en 4 worden samen de diepe slaap genoemd, de stadia 1 en 2 de ondiepe slaap.
Deze hierboven beschreven cyclische afwisseling van 90 minuten treedt zo'n vier of vijf keer per nacht op, afhankelijk van de totale slaapduur. De verschillende slaapstadia treden niet alle ongeveer evenveel op tijdens een nacht slaap. De diepe slaap treedt vooral op in het begin van de nacht, terwijl de REM-periodes groter worden naarmate de nacht vordert. In de tweede helft van de nacht

komt voornamelijk stadium 2 voor, afgewisseld door REM-slaap. Figuur 1 laat de tijdstructuur van de slaap zien van kinderen, jonge volwassenen en ouderen (Visser en Hofman, 1986).

Figuur 1 Vergelijking van de hypnogrammen van kinderen, jonge volwassen en ouderen (Visser en Hofman, 1986)

Zelfs jonge volwassenen kunnen spontaan uit de slaap ontwaken, maar dit ontwaken is vaak te kort van duur om de volgende morgen nog herinnerd te worden. Er kunnen individuele verschillen optreden in het slaappatroon. Hoewel de gemiddelde slaapduur van een gezonde normale volwassene gemiddeld acht uur bedraagt, zijn er habituele 'langslapers' (langer dan negen uur slaap) en habituele kortslapers (korter dan zes uur), zonder dat dit bij de betreffende personen gepaard gaat met een verlies aan slaapkwaliteit. De slaapparameters moeten dan ook altijd vergeleken worden met een zogeheten 'baseline'nacht van dezelfde proefpersonen (dit is een nacht waarin geen experimentele manipulatie optreedt). Verstoringen van de slaap kunnen worden uitgedrukt in slaapparameters als benodigde inslaaptijd, kans op ontwaken, het deel van de totale 'slaaptijd' dat men wakker is, verandering van slaapstadium, veranderingen in de slaapstructuur.

2.2 Geluidmaten

Er bestaan vele geluidmaten. Hieronder volgt een kort overzicht van de meest gebruikte maten bij het onderzoek naar verstoringen van de slaap ten gevolge van blootstelling aan geluid.

* Het geluidniveau in decibel (dB) geeft de sterkte van het geluid ten opzichte van een referentiewaarde. Het menselijk gehoor is niet in alle frequentiegebieden even gevoelig. In het bijzonder is de mens voor geluiden in de middenfrequenties gevoeliger dan voor geluiden met lagere en hogere frequenties. Als men het geluidniveau in decibel voor deze verschillen in gevoeligheid corrigeert en men daarbij gebruik maakt van de zogeheten A-karakteristiek, dan wordt het resultaat aangegeven in dB(A).
* Het equivalente geluidniveau, L_{Aeq}, is het A-gewogen geluidniveau gemiddeld over een bepaalde tijd. Soms past men bij de middeling bepaalde weegfactoren toe die afhankelijk zijn van het tijdstip van de dag. In een aantal landen gebruiken sommige onderzoekers L_{dn}, waarbij men het geluidniveau over een etmaal middelt en het geluidniveau in de nacht zwaarder meetelt.
* L_{Amax} is de maximale waarde van het geluidniveau (bijvoorbeeld tijdens het overvliegen van een vliegtuig), gemiddeld over 0,125 of 1 seconde (afhankelijk van de instelling van de geluidmeter). Om de variatie van het geluidniveau in de tijd aan te geven gebruikt men grootheden als L_{10}, L_{90} en dergelijke. L_x is de waarde die het geluidniveau gedurende x% van de tijd (bijvoorbeeld de gehele nacht of een geheel etmaal) overschrijdt.
* Bij het onderzoek naar (ook nachtelijke) hinder door vliegtuigen heeft men 'hinderscores' in verband gebracht met maten voor het 'totale' geluid van de vliegtuigen gedurende een (gemiddeld) etmaal. In Nederland is daarvoor een grootheid ontwikkeld die het aantal vluchten, het maximale geluidniveau per vlucht en een 'nachtstraffactor' over een jaar combineert; het resultaat wordt uitgedrukt in de maat B, doorgaans de Kosten-eenheid genoemd. In Engeland combineert men het aantal vluchten per etmaal met het gemiddelde maximale geluidniveau in PNdB (perceived noise decibels) tot de Noise and Number Index (NNI). Het geluidniveau in PNdB is omslachtig te berekenen; in de praktijk volstaat men meestal met het optellen van 13 bij het maximale geluidniveau in dB(A). Overigens is men aan het eind van 1990 in Engeland officieel overgegaan van het gebruik van de NNI op het gebruik van het zestien-uurs equivalent geluidniveau (dagperiode). Tot en met 1993 zal men voor een vliegtuiggeluid nog beide methodieken naast elkaar gebruiken, daarna uitsluitend de 16h-L_{eq} methode.

3. GELUIDGEBEURTENISSEN

3.1 Definitie van het begrip 'geluidgebeurtenis'

In de literatuur wordt vaak gesproken over het aantal 'geluidgebeurtenissen' per nacht. Het geluidniveau van deze 'gebeurtenissen' kan daarbij zeer uiteen lopen. Alvorens dieper in te gaan op de verschillende aspekten van de in 1.4 geformuleerde onderzoeksvraag is het verstandig om even stil te blijven staan bij de vraag:

> wanneer (vanaf welke piekniveaus in de slaapkamer) moet men spreken van een 'geluidgebeurtenis'? (vraag a)

Bij de definitie van de term 'geluidgebeurtenis' kan men uitgaan van fysische/fysiologische aspecten, psychologische aspecten of een combinatie van beide. Achtereenvolgens komen aan de orde:

- *het begrip gehoordrempel*
  Als we uitgaan van de mens als wakkere waarnemer, dan is een geluidgebeurtenis elke geluidtrilling die boven de gehoordrempel uitkomt.
  Het menselijk oor is voor sommige frequenties gevoeliger dan voor andere. Dit komt tot uitdrukking in een verschil in waargenomen luidheid van stimuli die een gelijk geluidniveau hebben, maar verschillende frequenties. Dit wordt verder uitgewerkt in 3.1.1.

- *het begrip waarnemingsdrempel*
  De gehoordrempel is ook de onderste grens waarboven - al dan niet bewuste - waarneming van een geluid kan optreden. Waarneming wordt daarnaast beïnvloed door de informatiewaarde die een geluid heeft voor de waarnemer. Een voorbeeld hiervan is het roepen van de eigen naam. Ook een negatieve of juist positieve emotionele lading die een geluid voor de waarnemer heeft kan de waarnemingsdrempel beïnvloeden en daarmee een aantal andere processen in gang zetten. Dit wordt verder uitgewerkt in 3.1.2.

- *het begrip wekdrempel*

  Tijdens de slaap is het geluidniveau dat nodig is om een geluidsprikkel waar te nemen hoger dan overdag. Wat de waarnemingsdrempel is voor de wakkere waarnemer, is de wekdrempel voor iemand die slaapt. De wekdrempel is niet alleen afhankelijk van fysische aspecten van de geluidstimulus en fysiologische aspecten van het menselijk oor, maar ook van de 'arousal' toestand van de waarnemer. De diverse aspecten die hierbij een rol spelen, komen uitgebreid aan de orde in 4.2. Daarom wordt hier volstaan met de voornaamste conclusies:

  - elk slaapstadium kent zijn eigen wekdrempel. Voor stadium 3 en 4 is deze hoger dan voor stadium 1 en 2. In de REM-slaap is de wekdrempel variabel. Bovendien ligt de wekdrempel in elk slaapstadium aan het begin van de nacht hoger dan aan het eind;
  - reeds bij piekniveaus van 40 dB(A) zijn ontwaakreacties geconstateerd;
  - leeftijd, subjectieve geluidgevoeligheid, individuele slaapkwaliteit en (waarschijnlijk) ziekte spelen een rol bij de hoogte van de wekdrempel;
  - hoe minder een piekniveau van een individuele geluidgebeurtenis uitkomt boven het achtergrondgeluidniveau, hoe kleiner de kans op ontwaken.

- *het begrip geluidpiek ten opzichte van het achtergrondniveau*

  Bij het evalueren van verstoringen van de slaap door geluid is vooral het piekniveau van het geluid van belang. Een belangrijk aspect hierbij is het verschil tussen het piekniveau van de individuele geluidstimulus en het achtergrondniveau. Dit aspect zal in 4.2.4 nog uitgebreid besproken worden. Hierboven is de voornaamste conclusie vermeld. Daarom wordt dit aspect op deze plaats niet verder behandeld.

- *het begrip detectiedrempel*

  Zowel de gehoor-, de waarnemings- als de wekdrempel hebben betrekking op bewuste waarneming. Behalve bewuste waarneming echter, is het ook mogelijk dat het lichaam een geluidprikkel wel ontvangt en daar fysiologisch op reageert, zonder dat wij ons dat bewust zijn. Dit gebeurt bijvoorbeeld (maar niet alleen) tijdens de slaap. Tijdens de slaap moeten we hierbij denken aan het overgaan van een dieper naar een lichter slaapstadium of veranderingen in de slaapstructuur onder invloed van een geluidgebeurtenis. Gemiddeld ligt het geluidniveau waarbij veranderingen van slaapstadium op kunnen treden zo'n 5

dB(A) onder het wekdrempelniveau. Het is dan ook zinvol een geluidgebeurtenis te definiëren als een geluid dat in het menselijk organisme een (tijdelijke) verandering teweeg brengt. Aangezien ook niet bewust ontvangen prikkels ziekmakend kunnen zijn (neem als voorbeelden straling, virussen of bacteriën), sluit deze definitie het beste aan bij de vraagstelling van dit onderzoek. De detectiedrempel is gelijk aan de gehoordrempel maar wordt hier apart vermeld om te benadrukken dat geluid ook onbewust op de mens inwerkt.

3.1.1 Gehoordrempel

Geluid is een successie van luchtdrukveranderingen die zich onder standaardcondities met een snelheid van 322 ms^{-1} voortplant met als parameters intensiteit uitgedrukt in dB en frequentie uitgedrukt in Hz.

Geluidintensiteit wordt uitgedrukt in dB, een maat voor de ratio van twee vermogens. Aangezien het vermogen van een sinusvormig signaal evenredig is met het kwadraat van de amplitudo, is de dB maat ook bruikbaar voor amplitudo's:

$$20.{}^{10}\log \frac{P_s}{P_o}$$

P_s is de effectieve geluiddruk van het signaal, P_o is een volgens internationale norm vastgestelde referentiedruk van 2.10^{-5} Nm^{-2} en correspondeert met de luidheid van een toon van 1.000 Hz, die nog net te horen valt. Bovenstaande formule is wat een dB-meter meet (de waarde van P_o zit als het ware ingebouwd) en staat bekend als SPL (sound pressure level).

De gehoordrempel ligt voor een 1.000 Hz toon op ongeveer 0 dB ($P_s = P_o$, ${}^{10}\log 1 = 0$), en 20 dB erbij betekent dat de geluiddruk vertienvoudigt. Enkele voorbeelden: 130 dB is ongeveer de pijngrens en correspondeert met een geluiddruk van 63,25

Nm^{-2}, een rockgroep haalt 110 dB of meer, een nieuwe motorfiets mag voluit accelererend op niet te grote afstand (7,5 m) niet meer dan 82 dB produceren, een normaal gesprek haalt 60 tot 70 dB, stiller dan 20 dB is het vrijwel nergens.

Het menselijk oor is voor sommige frequenties minder gevoelig dan voor andere: beneden de 20 en boven de 20.000 Hz hoort men vrijwel niets meer, een 80 dB 40 Hz toon klinkt ongeveer even hard als een 60 dB 1.000 Hz toon. Het oor is dus een soort filter. Met het toenemen van de leeftijd neemt vooral het vermogen hoge tonen te horen af. De foonschaal geeft het verband tussen fysische

(SPL) geluidintensiteit en de door een 'standard observer' waargenomen luidheid van de verschillende frequenties (figuur 2).

Figuur 2 'Equal loudness curves' voor personen van 20 jaar (doorgetrokken lijn) en 60 jaar (onderbroken lijn). De curve 'M.A.F.' geeft de gehoordrempel aan (minimum hoorbaar veld).

3.1.2 Waarnemingsdrempel

Er bestaan aanwijzingen dat een zekere mate van informatieverwerking wel degelijk onbewust, dus bijvoorbeeld tijdens de slaap, kan plaatsvinden. Proefpersonen werd voor het slapen gaan geleerd dat ze een toon van 1.000 Herz (0,5 seconde aan/uit) konden beëindigen door één keer diep adem te halen (Burton et al., 1988). Bij aanbieding van deze (subliminale) stimuli tijdens de slaap bleken zij inderdaad in staat te zijn om door dieper te ademen de storende stimuli te beëindigen. Dit zou erop kunnen wijzen dat tijdens de slaap de in de aangeboden stimuli vervatte informatie adequaat kan worden verwerkt.

Ook de mogelijkheid van het maken van onderscheid tussen betekenisvolle en betekenisloze stimuli tijdens de slaap is al eens aangetoond (McDonald et al., 1975). Via metingen van de hartslagfrequentie en het vingerplethysmogram (bepaling van de verandering van het bloedvatvolume door weerstandsmeting) bleek dat proefpersonen op betekenisvolle stimuli anders reageerden dan op

betekenisloze. Aangezien men bij vliegtuig- en wegverkeerslawaai te maken heeft met betekenisvolle stimuli, is het verstandig dit in gedachten te houden.

Een negatieve attitude ten aanzien van het voorkomen van een geluidbron in de omgeving, bijvoorbeeld veroorzaakt door de vrees voor een vliegtuigongeluk, resulteerde in meer gerapporteerde hinder (Birnie et al., 1980; Moran et al., 1981).

Neuss deed onderzoek in twee gebieden. Het ene werd gekenmerkt door een hoge geluidbelasting (L_{Aeq} groter dan 73 dB(A)) en het andere door een betrekkelijk lage geluidbelasting (L_{Aeq} kleiner dan 51 dB(A)). In beide gebieden bestudeerde hij proefpersonen met een tolerante houding ten opzichte van het (wegverkeers)geluid en proefpersonen die meenden dat het geluid gevaarlijk was voor de gezondheid. In het 'lawaaiige' gebied bleken de proefpersonen met een negatieve attitude jegens het geluid meer hinder te ervaren dan de leden van de andere groep, terwijl in het 'rustige' gebied geen verschil werd gevonden. In het 'rustige' gebied hadden de personen met een positieve attitude minder last van verhoogde bloeddruk dan de anderen; in het 'lawaaiige' gebied was er geen verschil tussen beide groepen: beide hadden een verhoogde bloeddruk (Neuss et al., 1983).

Het tot nu toe aangehaalde onderzoek betreft bewust ervaren hinder. Ontwaakreacties kunnen echter ook beinvloed worden door het manipuleren van de attitude. Cederlöf et al. (1967) manipuleerden de attitude van omwonenden van een militair vliegveld door middel van suggestieve en interessante vragen over vliegverkeer. De controlegroep rapporteerde niet alleen meer hinder door vliegtuiggeluid dan de experimentele (gemanipuleerde) groep, maar gaf ook aan vaker wakker te worden door het vliegtuiggeluid. Bradley en collega's (1979) vonden dat omwonenden van een vliegveld in de UK met een lagere sociaal-economische status vaker vermeldden slaapverstoringen te ondervinden door het vliegtuiggeluid dan omwonenden met een hogere sociaal-economische status. Volgens Bradley is dit waarschijnlijk te verklaren door de grotere onvrede van de mensen met een lagere sociaal-economische status met hun woon- cq. leefsituatie. Het geluid fungeert dan als een sterkere stressor dan bij mensen die wel tevreden zijn met die situatie. Ook hier is te zien dat de attitude van mensen een grote invloed kan hebben op de ondervonden verstoringen door geluid.

3.2 Conclusie

Een 'geluidgebeurtenis' wordt, betrekking hebbend op de mens, gedefinieerd als elke geluidtrilling die in het menselijk organisme een (tijdelijke) fysiologische reactie teweeg brengt. Het geluidniveau dat een geluidgebeurtenis zal moeten hebben om zowel een bewuste als een onbewuste fysiologische reactie teweeg te kunnen brengen zal tijdens de slaap hoger zijn dan overdag. In hoofdstuk 4

wordt uitgewerkt vanaf welke piekniveaus in de slaapkamer men moet spreken van een 'geluidgebeurtenis' tijdens de slaap. Dat wordt ook duidelijk welke geluidgebeurtenissen van belang zijn in de Griefahn-methodiek.

4. GELUIDGEBEURTENISSEN, ONTWAAKREACTIES EN GEZONDHEID

4.1 Inleiding

De vraagstelling: 'wat is de relatie tussen het aantal geluidgebeurtenissen per nacht, de intensiteit van de stimuli en het aantal ontwaakreacties in het EEG en wat zijn de implicaties hiervan voor de gezondheid?' kan verder worden toegespitst in drie aparte vragen, waarbij de nadruk wordt gelegd op de mogelijkheid of onmogelijkheid om binnen deze relatie grenzen te stellen. Deze vragen zijn:

- is er een ondergrens ten aanzien van het geluidniveau in de slaapkamer aan te geven, zodanig dat als gedurende een nacht uitsluitend gebeurtenissen optreden met een geluidniveau onder deze grens, ontwaakreacties achterwege blijven, ongeacht het aantal malen dat een dergelijk piekniveau optreedt? Zo ja, waar ligt deze grens (in dB(A))? (vraag b)
- is er een ondergrens ten aanzien van het geluidniveau in de slaapkamer aan te geven, zodanig dat als gedurende een nacht zowel geluidgebeurtenissen optre- den met niveaus boven als onder deze grens, de gebeurtenissen onder deze grens niet meer bijdragen tot het optreden van ontwaakreacties, ongeacht het aantal van deze gebeurtenissen? Zo ja, waar ligt deze grens (in dB(A))? (vraag c)
- is het op wetenschappelijke gronden aantoonbaar dat met geluidniveaus onder de drempels als bedoeld in b en c bij normstelling betreffende nachtvluchten de gezondheidseffecten beneden een aanvaardbaar niveau blijven? (vraag d)

De invloed van het aantal geluidgebeurtenissen op de slaap is afhankelijk van een aantal factoren, zoals het geluidniveau in de slaapkamer, wanneer in de nacht de geluidgebeurtenissen optreden en in welk slaapstadium de slaper zich bevindt.
Bij de genoemde vraagstellingen speelt elk van deze factoren een rol. Op elk van de drie vragen zal nu apart worden ingegaan.

4.2 Het voorkomen van ontwaakreacties

Wanneer men ernaar streeft ontwaakreacties ten gevolge van geluid te voorkomen, moet eerst gesteld worden dat dit in beginsel onmogelijk is: elk geluid, al is het noch zo zacht en beteke-

nisloos, zal ooit wel eens iemand doen ontwaken. Maar beneden een bepaald niveau zal dit een te verwaarlozen (niet significant aantoonbare) fractie van de bevolking zijn. Het is zeker zinvol dit niveau te bepalen om een ondergrens te hebben die als streefwaarde kan fungeren. Wordt om andere (beleids)redenen een bepaald ontwaakpercentage als risico aanvaard, dan kan de te stellen grenswaarde boven deze ondergrens verhoogd worden. Om het niveau van de ondergrens te bepalen, is de volgende vraag (vraag b uit 1.5) gesteld:

> is er een ondergrens ten aanzien van het geluidniveau in de slaapkamer aan te geven, zodanig dat als gedurende een nacht uitsluitend gebeurtenissen optreden met een geluidniveau onder deze grens, ontwaakreacties achterwege blijven, ongeacht het aantal malen dat een dergelijk piekniveau optreedt? Zo ja, waar ligt deze grens (in dB(A))?

Bij het beantwoorden van deze vraag zijn de volgende aspecten van belang:

- *het verschil in wekdrempelniveau tussen de slaapstadia*
  Er is een verschil in wekdrempelniveau tussen diepe slaap, lichte slaap en REM-slaap. Dit geldt zowel voor kunstmatige stimuli als voor omgevingsgeluid. Dit wordt uiteengezet in 4.2.1.

- *de invloed van de tijd van de nacht op het wekdrempelniveau*
  Dit aspect komt in hoofdstuk 6 nog uitgebreid aan de orde. Hier zal worden volstaan met het noemen van de belangrijkste conclusie, namelijk dat er in de tweede helft van de nacht meer ontwaakreacties optreden dan in de eerste helft van de nacht. Dit betekent, dat als we uitgaan van de lichte slaap als criterium voor het bepalen van de laagste wekdrempel, vooral de tweede helft van de nacht van belang is. Hierbij past wel de relativerende opmerking, dat de verhouding lichte slaap diepe slaap over de gehele nacht gezien ca. 80 - 20 is. In het laatste deel van de nacht treedt vrijwel alleen lichte slaap op. Maar ook in het eerste deel van de nacht is het aandeel van de lichte slaap nog altijd meer van de helft!
- *het geluidniveau waarbij ontwaakreacties beginnen op te treden*
  In een standaardonderzoek naar de invloed van geluid op de slaap worden de effecten van een hoger geluidniveau (experimentele conditie) vergeleken met de effecten van een lager geluidniveau (controle conditie). Deze niveaus (vooral in de experimentele conditie) verschillen aanzienlijk tussen studies. De onderzoekers zijn het redelijk eens over het

ideale achtergrondniveau in de controle conditie (zo rustig mogelijk, opdat in deze conditie geen reacties worden opgewekt), maar vooral in veldstudies moet daar noodgedwongen nogal eens van worden afgeweken. Dit wordt verder uiteengezet in 4.2.2.

- *verschil in gevoeligheid tussen personen*
  Leeftijd heeft invloed op de waarschijnlijkheid van ontwaken bij een geluidgebeurtenis en op de heftigheid van cardiovasculaire reacties. Over andere zogenaamde 'risico'groepen, zoals zieken zijn weinig gegevens beschikbaar. De wel beschikbare resultaten zijn niet altijd eensluidend. Zie de uiteenzetting in 4.2.3.

- *het belang van het achtergrond niveau bij het detecteren van een geluidgebeurtenis*
  Bij het evalueren van verstoringen van de slaap door geluid is vooral het piekniveau van het geluid van belang. Een belangrijk aspect hierbij is het verschil tussen het piekniveau van de individuele geluidstimulus en het achtergrondniveau. Zie voor meer informatie 4.2.4.

- *verschillen tussen laboratorium- en veldonderzoek*
  In laboratoriumstudies zijn de effecten over het algemeen groter dan in veldstudies. Dit aspect wordt in 4.2.5 verder behandeld.

4.2.1 Wekdrempelniveau en slaapstadium

De verschillende slaapstadia hebben niet allemaal dezelfde wekdrempel voor geluidsstimuli. Uit onderzoek met kunstmatige geluidstimuli blijkt dat de wekdrempels in stadium 3 en 4 het hoogst en in stadium 1 en 2 het laagst zijn (Bonnet et al., 1982). In de REM-slaap zijn de wekdrempelwaarden wat variabeler, afhankelijk van onder andere de informatiewaarde van de geluidstimulus en het tijdstip van de nacht. Voor het beantwoorden van de in 4.2 gestelde vraag moeten we derhalve rekening houden met het slaapstadium met de laagste wekdrempel, in casu stadium 2*

---

* Griefahn gaat uit van de ontwaakdrempel bij REM-slaap. In tegenstelling tot de ontwaakdrempel in stadium 2 fluctueert deze sterk. Slechts incidenteel kan de ontwaakdrempel van de REM-slaap iets lager liggen dan die van stadium 2. Meestal ligt de wekdrempel van de REM-slaap echter hoger. Daarom verdient het de voorkeur om uit te gaan van stadium 2.

De kunstmatige geluidstimuli die gebruikt zijn in studies voor het bepalen van wekdrempels hebben meestal een frequentie van 800 of 1000 Hz. De gevonden wekdrempelwaarden in de verschillende studies varieerden tussen de 45 en 70 dB, afhankelijk van het tijdstip van de nacht waarop de stimulus werd aangeboden (Watson et al., 1969; Zimmerman, 1970; Bonnet et al., 1978; Bonnet et al., 1982). Slechts één studie (Wills et al., 1978) laat een veel hogere drempel zien van ongeveer 80 dB, gemiddeld over de nacht. We moeten hierbij bedenken dat het nog altijd om kunstmatige stimuli gaat.

Een overeenkomstige relatie tussen de verschillende slaapstadia en het wekdrempelniveau geldt ook voor natuurlijk omgevingsgeluid. Ook hier zijn de wekdrempels in stadium 3 en 4 het hoogst en in stadium 1 en 2 het laagst. De kans op ontwaken in de REM-slaap ligt tussen deze twee in (Lukas, 1975; Vallet et al., 1982). Als de stimuli voor de slaper relevante informatie bevatten is de wekdrempel voor de REM-slaap lager dan de wekdrempel voor stadium 2. Maar ook in het algemeen kunnen geluidstimuli met een voor een bepaalde persoon negatieve of anderzins belangrijke lading de wekdrempel verlagen.

4.2.2 Geluidniveaus en ontwaakreacties

In haar publicatie van 1990, waarop de Griefahn-normstelling is gebaseerd, gaat Griefahn uit van gegevens, afkomstig van een tiental verschillende onderzoeken (tot 1976) naar de invloed van geluid op de slaap. In die onderzoeken werden uiteenlopende vormen van geluid bestudeerd: vliegtuiggeluid, verkeersgeluid, supersonische knallen en zogeheten roze ruis. Het is illustratief om, binnen het kader van de Griefahn-norm, naar deze oorspronkelijke data te kijken, die de relatie aangeven tussen het piekniveau van het geluid en de waarschijnlijkheid dat men door dat geluid wakker wordt. Om de vergelijkbaarheid tussen de geluidsbronnen te vergroten zijn alleen de data meegenomen van wegverkeergeluid en vliegtuiggeluid. Tevens zijn de data aangevuld met enkele recente studies (Hofman, 1991). Ten behoeve van deze studie zijn de data verder uitgewerkt in de figuren 3 en 4. De puntenwolk in figuur 3 is gebaseerd op negen studies waarin de luchtvaart of het wegverkeer als geluidbron is genomen. In figuur 4 is één studie (Thiessen, 1978) buiten beschouwing gelaten omdat in deze studie de kans op ontwaken op een afwijkende wijze is berekend. Zoals te verwachten was, is de spreiding in ontwaakreakties verminderd door het verwijderen van de te zeer afwijkende geluidbronnen.

Figuur 3 Relatie tussen de het piekniveau van het geluid en de waarschijnlijkheid van ontwaken (9 studies).

Bij de negen studies waren 134 proefpersonen betrokken in de leeftijd van 5 tot 75 jaar. Het aantal geluidstimuli per nacht varieerde van 7 tot 72. Zoals te zien is in figuur 3, treden bij een piekniveau van 40 dB(A) al ontwaakreacties op, zij het in geringe mate. Daarbij moet niet vergeten worden dat het in deze figuur gaat om gemeten effecten in een experimentele conditie. Er is geen studie gevonden waar in de experimentele conditie geluid wordt aangeboden met een piekniveau dat lager is dan 40 dB(A). Als achtergrondniveau in de 'rustige' conditie wordt over het algemeen 25 tot 30 dB(A) L_{eq} genoemd, het achtergrondniveau van een slaapkamer in een rustige woonwijk. Een achtergrondniveau van 35 dB(A) L_{eq} wordt aan de hoge kant beschouwd en is vaak het gevolg van het niet controleerbare geluid van airconditioning in het gebouw.

Figuur 4 Relatie tussen de het piekniveau van het geluid en de waarschijnlijkheid van ontwaken (8 studies).

Wanneer de studie van Thiessen (1978) buiten beschouwing wordt gelaten, wordt het inzichtelijk dat de piekniveaus van (intermitterend) wegverkeer en vliegtuigen een vergelijkbare kans op ontwaken geven in de range van 60 tot 80 dB(A) (figuur 4). Daaronder komen vrijwel alleen observaties voor met betrekking tot wegverkeer, zodat de geldigheid van deze observatie bij lagere niveaus dan 60 dB(A) niet zeker is. Vooralsnog is er echter geen reden om aan te nemen dat bij niveaus lager dan 60 dB(A) deze vergelijkbaarheid tussen vliegverkeer en wegverkeer erg zou veranderen. Een extrapolatie naar lagere geluidniveaus lijkt dan ook op niet al te grote bezwaren te stuiten (zie ook hoofdstuk 7).

Ondanks het buiten beschouwing laten van de studie van Thiessen blijkt de spreiding van deze onderzoeksgegevens aanzienlijk en neemt toe naarmate het maximale geluidniveau groter wordt. Dit betekent dat als we door deze puntenwolk een regressielijn zouden trekken, de voorspelbaarheid van de waarschijnlijkheid van ontwaken vanuit het maximale geluidniveau slechter wordt bij hogere geluidniveaus. Als we deze regressielijn door de puntenwolk toch berekenen, is de correlatie van .6 statistisch significant ($p \leq .0001$).

Uit figuur 4 is, behalve dat er geen ontwaakreacties worden gerapporteerd onder een piekniveau van 40 dB(A), tevens op te maken dat als men kijkt bij welke geluidniveaus een kans op ontwaakreacties wordt gerapporteerd van meer 10% en hoger, er geen studies worden gevonden van minder dan 50 dB(A) piekniveau met een dergelijke ontwaakkans. Indien men 10% ontwaakreacties een

aanvaardbaar risico zou noemen, zou de grenswaarde in de slaapkamer dus gelegd kunnen worden bij 50 dB(A) piekniveau. Dit probleem is ook nog van een andere kant te benaderen door de vraag te stellen bij welk geluidniveau de meeste onderzoeken een 'statistisch significante' toename rapporteren van het aantal ontwaakreacties onder invloed van geluid.

In een standaardonderzoek wordt de invloed gemeten van het hogere geluidniveau in de experimentele conditie ten opzichte van de controle conditie. Natuurlijk mag verondersteld worden dat het effect groter wordt naarmate het verschil tussen de experimentele en de controle conditie groter is. In figuur 5 is dit verschil voor een aantal studies uitgezet tegen het piekniveau in dB(A) in de experimentele conditie. Voor drie verschillende klassen van piekniveaus (onder 55 dB(A), tussen 55 en 65 dB(A) en boven 65 dB(A)) is bij een aantal studies de verhouding berekend tussen de experimentele (aan geluid blootgestelde) groepen en de controle groepen voor wat betreft het aantal minuten dat men tijdens de totale slaapperiode wakker is. De verhouding is berekend volgens de formule:

$$\text{Verh. (exp/contr)} = \frac{P_E/(1-P_E)}{P_C/(1-P_C)}$$

waarbij P_E en P_C de proporties zijn van het aantal minuten dat men wakker is, gedeeld door het totale aantal minuten slaap voor respektievelijk de experimentele groepen en de controle groepen. Naarmate de uitkomst verder afwijkt van 1 is het effekt van het geluid op de experimentele groepen groter. Vanaf ongeveer 55 dB(A) begint het aantal minuten dat men wakker is ten opzichte van de controle conditie duidelijk toe te nemen.

Figuur 5 Verhouding tussen de experimentele (aan geluid blootgestelde) groepen en de controle groepen voor wat betreft het aantal minuten wakker tijdens de totale slaapperiode in minuten berekend over drie geluidniveaus. Voor elk van de drie geluidniveaus staat de mediaan als streepje ingetekend.

Met de Mann-Whitney U-test is getoetst of het verschil tussen de experimentele en de controle groep siginificant groter wordt (significant meer afwijkt van 1) naarmate het geluidniveau hoger wordt. Dit bleek inderdaad het geval te zijn: de verhouding tussen de experimentele groep en de controle groep bij een geluidniveau tussen 55 en 65 dB(A) is significant groter dan bij een geluidniveau lager dan 55 dB(A), waarbij $z = 1{,}96$ en $p \leq 0{,}05$. Evenzo is de verhouding tussen de experimentele en de controle groep bij een geluidniveau hoger dan 65 dB(A) significant groter dan bij een geluidniveau tussen 55 en 65 dB(A), waarbij $z = 2{,}45$ en $p \leq 0{,}015$.

Wij stellen voor om de laatste alinea van 4.2.2 voor de duidelijkheid als volgt bij te stellen:

'Uit het bovenstaande kan geconcludeerd worden dat ontwaakreacties ten gevolge van geluid reeds zichtbaar zijn bij een geluidniveau van 40 dB(A) (figuren 3 en 4). Een statistische significante effectgrootte wordt in het merendeel van de studies bereikt boven ca. 50 tot 55 dB(A). Tussen 40 en 50 dB(A) hangt het optreden van ontwaakreacties in sterkere mate af van toevallige eigenschappen van de proefpersoon en van de situatie waarin hij/zij verkeert. Het geheel overziend kan 40 dB(A) worden beschouwd als een ondergrens, een 'no adverse effect level'.

4.2.3 Verschillen in geluidgevoeligheid

Er bestaan grote individuele verschillen tussen proefpersonen in hun reactie op geluid. Belangrijke factoren hierbij zijn: leeftijd, of men zichzelf als geluidgevoelig beschouwt, of men slecht slaapt, of men (chronisch) ziek is.

- *Leeftijd*

  Zepelin et al. (1984) toonde aan dat de wekdrempel afneemt met het ouder worden.

  In Hofman (1991) wordt een aantal studies waarin ouderen en/of kinderen zijn onderzocht besproken. In het kleine aantal artikelen dat rechtstreeks de reacties van een groep oudere mensen vergelijkt met een groep jonge volwassen, worden inderdaad merendeels meer ontwaakreacties gevonden bij ouderen. Ook het aantal veranderingen van slaapstadium lijkt meer te worden. Na gemiddeld ongeveer het zestigste levensjaar ondergaat het slaappatroon van ouderen structurele veranderingen. Miles et al. (1980) hebben in een review van een groot aantal artikelen vele van deze veranderingen beschreven. Hoewel ook hier sprake is van grote individuele verschillen zijn de belangrijkste trends:

  - een langere slaaplatentie;
  - een kortere slaapduur;
  - een groter aantal keren wakker;
  - een vermeerdering van het aantal arousals zonder ontwaken;
  - een vermindering van de hoeveelheid diepe slaap.

  Kinderen zijn ongeveer 10 dB(A) minder gevoelig voor de invloed van geluid op het slaap-EEG dan volwassenen (Eberhardt, 1987). Er worden wel veel lichaamsbewegingen waargenomen. Ook cardiovasculaire reacties zijn bij kinderen groter dan bij volwassen (Muzet et al., 1980). Hierbij moeten we in gedachten houden dat kinderen vroeger naar bed gaan of zelfs overdag slapen. Het geluidniveau waaraan zij tijdens het inslapen en de eerste uren van de slaap blootstaan, zal dan ook hoger zijn dan op het tijdstip waarop volwassenen zich ter ruste begeven.

- *Geluidgevoelige personen en slechte slapers*

  Tot nu toe is zeer weinig onderzoek verricht naar de invloed van blootstelling aan geluid op de slaap van mensen die hetzij door een ziekte, hetzij door andere oorzaken, gevoeliger zijn voor slaapverstoring.

Öhrström et al. (1990) heeft de invloed van verkeerslawaai op proefpersonen die aangaven gevoelig te zijn voor geluid vergeleken met proefpersonen die zich zelf niet zo gevoelig vonden. De geluidgevoelige groep had een slechtere slaapkwaliteit, een grotere toename van de hartslag en iets meer lichaamsbewegingen dan de ongevoelige groep, na blootstelling aan geluid. Al eerder heeft Öhrström (1989), bij een vergelijking van een groep mensen die al jaren waren blootgesteld aan veel verkeerslawaai met een controlegroep in een rustige omgeving, gevraagd naar de geluidgevoeligheid van de proefpersonen. Öhrström vond een samenhang tussen geluidgevoeligheid enerzijds en gerapporteerde langere inslaaptijd, vaker ontwaken en grotere vermoeidheid in de ochtend anderzijds. Bij geluidgevoelige personen werden ook wat grotere hartslagresponsen waargenomen (DiNisi et al., 1987).

In één studie (Ehrenstein et al., 1977) is gekeken naar mensen die van zichzelf zeiden slechte slapers te zijn. Er werden geen verschillen in slaapparameters gevonden tussen deze groep en 'gezonde' proefpersonen. Een van de belangrijkste problemen hierbij wordt gevormd door het subjectieve oordeel van de proefpersonen waarop de samenstelling van de groep 'slechte slapers' gebaseerd is. Uit de klinische praktijk is bekend dat de anamnese bij slaapstoornissen van crucieel belang is en niet eenvoudig afgedaan kan worden met de simpele vraag aan de proefpersoon of hij/zij last heeft van slaapproblemen.

- *Zieken*

  Uit casuïstiek en uit het omgaan met patiënten is bekend dat veel zieken gevoeliger zijn voor blootstelling aan geluid dan 'gezonde' mensen. Systematisch, statistisch onderbouwd onderzoek naar deze verwachte grotere gevoeligheid voor de invloed van blootstelling aan geluid bij personen die ziek zijn, is tot nu toe nog niet bekend.

4.2.4 De rol van het achtergrondgeluidniveau

Hoewel vele studies alleen gebruik maken van een maat voor het gemiddelde geluidniveau zoals L_{eq} is gebleken dat een maat voor het piekniveau van de aangeboden stimulus zoals L_{Amax} een betere voorspeller is van slaapverstoringen (onder andere Vallet et al., 1983; Eberhardt, 1987). Tevens is gebleken dat intermitterend geluid een grotere invloed op de slaap heeft dan een meer continu geluid (Öhrström et al., 1983; Metz et al., 1977). Eberhardt et al. (1987) stelden hun proefpersonen bloot aan het geluid van passerende vrachtwagens met een maximum geluidniveau van 55 dB(A)

gecombineerd met een achtergrond van continu verkeersgeluid met een L_{eq} van 27 of 45 dB(A). Deze twee combinaties werden vergeleken met condities waarin alleen het continue geluid werd aangeboden. De combinatie van 55 dB(A) maximum geluidniveau met 27 dB(A) achtergrondgeluidniveau gaf de grootste effecten te zien. De effecten van de combinatie van 55 dB(A) maximum geluidniveau met 45 dB(A) L_{eq} achtergrondgeluid waren kleiner. De effecten van het continue geluid waren echter het kleinst.
Tulen et al. (1986) vonden dat dubbele beglazing wel het achtergrondniveau omlaag bracht, maar dat het aantal pieken dat relatief ten opzichte van dat achtergrondniveau aanwezig was, hetzelfde bleef. Hierbij bedenke men dat dit een veldonderzoek betrof, waarbij de pieken ook na het aanbrengen van dubbele beglazing de 40 dB(A) te boven gingen. Binnen hetzelfde onderzoek toonden Hofman et al. (1980) en Kumar et al. (1985) aan dat zowel vóór als na het aanbrengen van de dubbele beglazing een piek met eenzelfde verhouding ten opzichte van het achtergrondniveau (met een vergelijkbare stijgsnelheid en duur van de piek) een acute en tijdelijke hartslagversnelling tot gevolg had. Dit werd ook gevonden door Wilkinson en Campbell (1984). Vallet et al. (1983) vond dat pieken (L_{max}) die tenminste 8 dB(A) uitstaken boven het (op zich ook fluctuerende) achtergrondniveau (in L_{eq}) een groter effect hadden op het EEG en de hartslag.

Kennelijk is het verschil tussen het achtergrond niveau en het piekniveau van belang bij verstoringen van de slaap. Wat betreft de hinder (niet specifiek tijdens de slaap) die men zegt te ondervinden als gevolg van vliegtuiggeluid, vindt men dit effect niet (Taylor et al., 1980; Diamond et al., 1984). Het niveau van het vliegtuiggeluid is voldoende om de hoeveelheid ondervonden hinder te voorspellen, zonder dat het niveau van het achtergrondgeluid hier iets aan toe voegt.

4.2.5 Laboratorium - versus veldonderzoek

In laboratoriumstudies zijn de effecten over het algemeen groter dan in veldstudies (Vallet et al., 1980). Voor een deel kan dit worden verklaard door het probleem dat de 'rustige' conditie waarmee de waarden van de experimentele conditie worden vergeleken, vaak niet rustig genoeg is. Het aanbrengen van dubbele beglazing bijvoorbeeld (een veel gebruikte techniek) doet wel het gemiddelde geluidniveau dalen, maar leidt niet tot een afname van het totale <u>aantal</u> pieken ten opzichte van het achtergrondniveau (Tulen et al., 1986). Overigens is niet voor alle effecten dit verschil even duidelijk. De veranderingen in slaapstadia (die minder gewenning vertonen) lijken voor laboratorium en veldstudie wel goed overeen te stemmen.

4.2.6 Conclusie

Concluderend: als achtergrondniveau is 30 dB(A) L_{eq} een absolute grens om ontwaakreacties van geluidgebeurtenissen te voorkomen. Gelet op de bevindingen dat:

- (een gering aantal) ontwaakreacties reeds op gaan treden bij piekniveaus van 40 dB(A);
- het verschil tussen het piekniveau en het achtergrondniveau (in L_{eq}) onder de 10 dB(A) moet blijven;

  en met in het achterhoofd dat het hier gaat om het achterwege blijven van ontwaakreacties;

dan kunnen we een volgende gevolgtrekking maken: maximale niveaus van individuele geluidgebeurtenissen zouden niet boven de 40 dB(A) mogen uitkomen (no adverse effect level). In het licht van de betekenis die hieraan gegeven wordt in 'Omgaan met Risico's', is dit als een streefwaarde aan te merken.
Bij geluidniveaus van 50 tot 55 dB(A) worden in de meeste studies ontwaakreacties gerapporteerd. Als er een risico op ontwaakreacties wordt aanvaard (ongeveer 10%), dan zou het maximale niveau van de individuele geluidgebeurtenis niet boven 50 tot 55 dB(A) uit mogen komen.

4.3 Het tegengaan van verdere ontwaakreacties

In de vorige paragraaf is nagegaan beneden welke piekniveaus ontwaakreacties te verwaarlozen zullen zijn. De volgende vraag (vraag c uit 1.5) is erop gericht om zichtbaar te maken wat er gebeurt wanneer men enkele ontwaakreacties toelaat. Heeft dit gevolgen voor de piekniveaus van verdere geluidgebeurtenissen, als men verdere ontwaakreacties wil vermijden? Oftewel:

> is er een ondergrens ten aanzien van het geluidniveau in de slaapkamer aan te geven, zodanig dat als gedurende een nacht zowel geluidgebeurtenissen optreden met niveaus boven als onder deze grens, de gebeurtenissen onder deze grens niet meer bijdragen tot het optreden van ontwaakreacties, ongeacht het aantal van deze gebeurtenissen? Zo ja, waar ligt deze grens (in dB(A))?

Deze vraag hangt nauw samen met de vorige vraag. Een aantal aspecten, die reeds bij de vorige vraag ter sprake zijn gekomen, zal hier slechts worden aangehaald. Daarnaast zijn nog andere factoren van belang:

- *verandering in de kans op ontwaken door het optreden van stimuli boven de in 4.2.6 genoemde grens van 40 dB(A) piekniveau.*
  Indien er ook geluidgebeurtenissen op gaan treden met een piekniveau boven 40 dB(A), krijgen we te maken met de mogelijkheid dat de slaper gewekt wordt of overgaat naar een lichter slaapstadium. De wekkans voor geluidgebeurtenissen met een piekniveau onder 40 dB(A), maar optredend kort na lichaamsbewegingen (wellicht veroorzaakt door stimuli met een hoger geluidniveau) wordt groter. Tot hoe lang na een lichaamsbeweging dit opgaat, is niet exact te zeggen. Het verschijnsel is in elk geval geconstateerd tot tien minuten na een lichaamsbeweging.

- *geluidpiek ten opzichte van het achtergrondniveau*
  Hierover is in 4.2.4 reeds het nodige gezegd. Indien de waarschijnlijkheid tot ontwaken voor geluidgebeurtenissen onder een piekniveau van 40 dB(A) zeer klein moet zijn, dan zal aan twee voorwaarden voldaan moeten worden: het achtergrondniveau (in L_{eq}) moet laag genoeg zijn en de pieken mogen hier niet veel boven uitkomen (minder dan 8 dB(A)).

4.3.1 Verandering van de kans op ontwaken

Zoals al in 4.2.1 beschreven is hebben de verschillende slaapstadia niet allemaal dezelfde wekdrempel voor geluidstimuli. Ook de tijd van de nacht speelt een rol bij het optreden van ontwaakreacties. Indien er in een nacht ook geluidgebeurtenissen op gaan treden met een piekniveau boven 40 dB(A), dan wordt de slaper, afhankelijk van het slaapstadium waarin hij verkeert en de tijd van de nacht, mogelijk wakker of gaat over naar een lichter slaapstadium. Veranderingen in slaapstadia kunnen, zonder dat dit hoeft te leiden tot ontwaken, al optreden bij een lager geluidniveau (gemiddeld 5 dB(A) lager) dan voor een ontwaakreactie nodig is. De wekdrempel tijdens de lichte slaap (stadium 1 en 2) is lager dan de wekdrempel tijdens de diepe slaap. Een overgang naar een lichter slaapstadium kan dus tot gevolg hebben dat de kans op ontwaken bij het optreden van een volgende geluidstimulus groter is geworden. De tijd tussen twee opeenvolgende geluidstimuli is

hierbij natuurlijk van groot belang (zie hoofdstuk 5). Als het interval tussen twee opeenvolgende geluidstimuli groot is, dan is het minder waarschijnlijk dat de reactie op de voorgaande stimulus nog een rol speelt bij de mogelijke reactie op de nu optredende stimulus. Bonnet et al. (1978) ontdekten dat er meer arousals optraden in het slaap-EEG als de geluidstimuli optraden in de nabijheid (dat wil zeggen binnen 10 minuten) van lichaamsbewegingen. Dit betekent dat als er door een geluidstimulus met een piekniveau boven 40 dB(A) lichaamsbewegingen worden veroorzaakt, de kans op ontwaken voor geluidgebeurtenissen met een lager piekniveau enige tijd (tot tien minuten toe) groter kan worden.

In de vraag, zoals geformuleerd onder 4.3, gaat het om geluidstimuli die wat betreft hun pieknivеaus zowel onder als boven 40 dB(A) liggen. Het zal duidelijk zijn dat, zolang de geluidstimuli onder deze grens blijven, er een te verwaarlozen fractie ontwaakreacties op zal treden. Zodra er echter geluidstimuli optreden met een piekniveau boven deze grens, neemt de kans op ontwaken, of op het veranderen van slaapstadium, toe. De kans op ontwaken begint toe te nemen met stimuli van circa 5 dB(A) onder de wekdrempel, maar optredend in de nabijheid van een voorafgaande stimulus. Dit zal zich beperken tot zeer gevoelige mensen.

4.3.2 Geluidpieken en achtergrondniveau

In 4.2.4 is al dieper ingegaan op het belang van het verschil tussen het achtergrond niveau en het piekniveau bij verstoringen van de slaap. Pieken die tenminste 8 dB(A) uitstaken boven het achtergrondniveau bleken een groter effect te hebben op het EEG en de hartslag dan pieken die daar minder boven uitstaken (Vallet et al., 1983). Stimuli met een piekniveau boven 40 dB(A) zullen vaker meer dan 8 dB(A) boven het achtergrondniveau uitsteken en alleen al daardoor meer verstoringen kunnen veroorzaken in het slaap-EEG.

4.3.3 Conclusie

Bij het beantwoorden van de vraag of er een ondergrens ten aanzien van het geluidniveau in de slaapkamer is aan te geven, zodanig dat als gedurende een nacht zowel geluidgebeurtenissen optreden met niveaus boven als onder deze grens, de gebeurtenissen onder deze grens niet meer bijdragen tot het optreden van ontwaakreacties, ongeacht het aantal van deze gebeurtenissen, is een aantal punten naar voren gekomen:

- zolang de individuele geluidstimuli onder de grens van 40 dB(A) (piekniveau) blijven, zullen er geen noemenswaardige ontwaakreacties optreden;
- bij geluidstimuli met een piekniveau boven deze grens neemt de kans op ontwaken of op het veranderen van slaapstadium toe;
- veranderingen in slaapstadia kunnen, zonder dat dit hoeft te leiden tot ontwaken, al optreden bij een gemiddeld 5 dB(A) lager geluidniveau dan voor een ontwaakreactie nodig is;
- ten gevolge hiervan kan de kans op ontwaken door geluidstimuli met een circa 5 dB(A) lager piekniveau dan 40 dB(A), maar optredend kort na (binnen circa 10 minuten) geluidstimuli boven deze grens waarbij enige vorm van arousal is opgetreden, groter worden;
- pieken die meer dan 8 dB(A) uitsteken boven het achtergrondniveau hebben een groter effect op het EEG en de hartslag dan pieken die daar minder boven uitsteken.

Om ervoor te zorgen dat de geluidstimuli met een piekniveau beneden 40 dB(A) geen ontwaakreactie veroorzaken als ze in de nabijheid optreden van een geluidstimulus met een hoger piekniveau, zullen ze beneden het niveau moeten blijven waarop veranderingen van het slaapstadium op kunnen treden. Dit niveau ligt 5 dB(A) lager dan het geluidniveau dat voor een ontwaakreactie nodig is.
De conclusie is, dat de gevraagde ondergrens tenminste 5 dB(A) onder de genoemde grens moet liggen, dat wil zeggen op 35 dB(A).
Voor de goede orde dient gezegd te worden dat er uitgegaan wordt van de ideale situatie, waarin nauwelijks of geen ontwaakreacties optreden. Daarom behoeven nachtelijke geluidprikkels onder dit niveau niet meegeteld te worden als 'geluidgebeurtenis'. Boven dit niveau beginnen de voor de Griefahn-systematiek relevante geluidgebeurtenissen.

4.4 Wekdrempels: waarborg tegen gezondheidsrisico's?

In beide vorige paragrafen zijn de piekniveaus aangegeven, waar beneden geen ontwaakreacties (par. 4.2) of geen verdere ontwaakreacties dan 'gedoseerd' (par. 4.3) zullen optreden. De vraag is, of deze grenzen, naast het feit dat zij ontwaakreacties voorkomen, ook voldoende bescherming bieden tegen mogelijke gezondheidseffecten. De vraag (vraag d uit 1.5) luidt dan ook:

is het op wetenschappelijke gronden aantoonbaar dat met geluidniveaus onder de drempels als bedoeld in 4.2 en 4.3 bij normstelling betreffende nachtvluchten de risico's op gezondheidseffecten beneden een aanvaardbaar niveau blijven?

Kunnen we nu, na de bespreking van de vragen zoals gesteld in 4.2 en 4.3, concluderen dat bij het aanhouden van deze grenzen de gezondheidsrisico's beneden 'aanvaardbare' grenzen zouden komen te liggen? De conclusies van beide voorgaande vragen in ogenschouw nemend, kunnen we stellen dat de kans op een ontwaakreactie of een verandering van slaapstadium als gevolg van een stimulus met een piekniveau beneden de genoemde grenzen klein is. Er is echter in 4.3 ook sprake van geluidstimuli die wel degelijk ontwaakreacties kunnen oproepen. Bovendien kunnen er tijdens de slaap nog andere reacties optreden dan ontwaakreacties en veranderingen van slaapstadium.

De invloed van geluid op gezondheid is moeilijk te bepalen. Als de direkte invloeden van geluid op het auditieve systeem buiten beschouwing worden gelaten, is vooral een indirecte wijze van beïnvloeding van de gezondheid door geluid aannemelijk. Het zal meestal niet mogelijk zijn om de oorzaak van een ziekteproces op medisch/biologische gronden direct aan geluid toe te schrijven (zoals bijvoorbeeld bij gehoorverlies als gevolg van geluid wel het geval is). In extreme gevallen van slaapverstoring is het wel mogelijk om te spreken over de direkte gevolgen daarvan voor het menselijk functioneren. Verstoring van de slaapstructuur leidt, indien de omstandigheden dit toelaten, tot een 'rebound effect' of inhaalslaap, hoewel niet evenveel als het oorspronkelijke slaapverlies. Indien de slaap elke nacht gedurende langere tijd verstoord wordt, leidt de opgelopen 'slaapschuld' tot gevoelens van vermoeidheid. Men mag veronderstellen dat de weerstand van het organisme (vooral van gevoelige personen) tegen verstoringen van de gezondheid, zowel de geestelijke als de lichamelijke, daardoor vermindert.

Meestal is het echter niet mogelijk om de oorzaak van een ziekteproces direct aan geluid toe te schrijven. We moeten dan wel veronderstellen dat geluid via een mediërend proces de gezondheid zou kunnen beïnvloeden. Aspecten, die voor het beantwoorden van deze vraag aan de orde komen, zijn:

- *geluidniveaus van stimuli zoals gebruikt zijn in studies die blootstelling aan geluid aan gezondheidseffecten relateren*

  Een indicatie voor de gezondheidsrisico's bij langdurige blootstelling aan geluid kan ontleend worden aan onderzoek naar het voorkomen van auditieve effecten, hinder, cardiovasculaire aandoeningen, vegetatieve effecten in het algemeen, gevolgen voor geestelijke gezondheid, geneesmiddelengebruik, overlijden en voortplanting. Dit wordt verder uiteengezet in 4.4.1.

- *EEG reacties op geluidpieken*

  Bij de vragen, behandeld in 4.2 en 4.3, zijn voornamelijk ontwaakreacties aan de orde gekomen. Verstoringen van de slaap kunnen echter ook leiden tot de overgang naar een lichter slaapstadium, waarbij de drempel voor het waarnemen van een eventuele volgende geluidstimulus tevens lager wordt. Ook kan de ritmische structuur van de slaap verstoord worden. De implicaties voor de gezondheid zijn minder eenduidig aan te geven dan het geval is bij ontwaakreacties. Bij de streefwaarden zoals aangegeven bij de vragen, behandeld in 4.2 en 4.3, zullen de kansen op andere verstoringen van de slaap echter minimaal zijn. Bij een geluidniveau van 50 dB(A) zal de kans op verstoringen van de slaap omhoog gaan met zo'n 10 procent.

- *reactie van de hartslag op geluidpieken*

  Bij een maximum geluidniveau van ongeveer 40 dB(A) treedt een significante versnelling van de hartslag op. Kinderen hebben een grotere vegetatieve respons dan volwassenen. Kumar et al. (1985) vonden dat de grootte van de hartslagrespons op een geluidstimulus vooral afhankelijk was van de steilheid van de geluidprikkel en minder van het absolute piekniveau. Habituatie van de hartslagrespons treedt nauwelijks op. Deze resultaten worden in 4.4.1, 4.4.2 en 4.4.3 besproken in het licht van de normale variaties van de hartfrequentie over het etmaal. Hiermee wordt het volgende bedoeld: bij gebruikelijke niveaus van omgevingsgeluid (equivalente geluidniveaus tussen 40 en 65 dB(A)) liggen de acute variaties van de hartslagfrequentie in het normale bereik (= reacties van een hevigheid zoals die dagelijks door vele gebeurtenissen teweeg worden gebracht (Jansen, 1986)). Dit schildert de kenmerkende situatie van gezondheidsonderzoek in relatie tot omgevingsfactoren in het algemeen en tot geluid in het bijzonder: als een mogelijk schadelijke stimulus geen acuut schadelijk effect teweeg brengt, kan gezondheidsschade niet op individueel niveau worden voorspeld. Men kan alleen trachten de kans aan te

geven, dat een bepaald effect in een populatie zal voorkomen. De vraag is dan, of mensen die meer aan deze prikkel zijn blootgesteld ook een groter risico lopen dan mensen die er in mindere mate aan zijn blootgesteld.

4.4.1 Geluidniveaus en gezondheidseffecten

Alvorens over te gaan tot het behandelen van onderzoeksresultaten over de samenhang tussen geluidniveaus en mogelijke negatieve effecten op de gezondheid, dient in het kort te worden verduidelijkt hoe geluid op het menselijk organisme inwerkt. Nadat geluidgolven ons oor bereikt hebben, worden ze in de organen van Corti omgezet in electrische potentialen. Vervolgens wordt de prikkel langs twee wegen verwerkt:

A. Een directe, snelle weg. Vanaf het binnenoor worden de prikkels via de gehoorzenuwen, door de hersenstam, naar dat deel van de hersenschors geleid waar herkenning van het geluid plaatsvindt. De effecten zijn vrij goed bekend en houden direct verband met de intensiteit van het geluid, het type geluid en de duur van de blootstelling.

B. Een indirecte weg. De gehoorzenuwen hebben zeer vele aftakkingen in de structuren van de hersenstam waar het activatiesysteem zetelt, dat bijvoorbeeld het vigilantieniveau regelt. Delen van de hersenstam zijn op hun beurt verbonden met het limbische systeem (een vaag omschreven complex van delen van de hersenen die in verband worden gebracht met het ontstaan van emoties), met andere delen van de hersenen, met het vegetatieve of autonome zenuwstelsel en met het hormonale systeem. Kortom met systemen die een grote rol spelen bij het regelen van allerlei fysiologische functies, van attentie en van gedrag.

Zonder verder in detail te gaan kan gesteld worden dat het niet verbazend is dat geluid vele aspecten van ons functioneren beïnvloedt, en wel op een wijze die wij ons nauwelijks of niet bewust zijn (Spreng, 1984). De invloed van andere stimuli dan geluid is veel minder divers. Het zijn alleen de gehoorzenuwen die zoveel aftakkingen kennen (Blinkov and Glezer, 1968).
De reacties die door de systemen worden afgegeven, wanneer zij eenmaal geactiveerd worden door geluid, zijn typische stress-reacties. Hiermee plaatst geluid zich, samen met bijvoorbeeld 'crowding', extreme hitte of kou, of merkbare luchtverontreiniging, in de categorie van omgevingsstres-

soren. En een stressor kan in beginsel de gezondheid schaden. Wij zullen nu zien of dit met geluid inderdaad het geval is.

Achtereenvolgens zal worden ingegaan op de mogelijkheid van auditieve effecten, hinder, cardiovasculaire aandoeningen, vegetatieve effecten in het algemeen, gevolgen voor geestelijke gezondheid, geneesmiddelengebruik, overlijden en voortplanting.

- *Auditieve effecten*

  In onderzoek naar geluideffecten van de burgerluchtvaart is noch bij volwassenen, noch bij kinderen gehoorschade aangetoond tot equivalente geluidniveaus van 75 dB(A) toe. Weliswaar vonden Tarnopolski et al. (1980) in gebieden rond Heathrow met een geluidbelasting van meer dan 45 NNI meer gevallen van acuut en chonisch oorsuizen, maar andere onderzoekers konden in gelijke omstandigheden zijn bevindingen niet herhalen (Fisch, 1981; Andrus et al., 1975; Green et al., 1982). De geluidniveaus in de hier aangehaalde onderzoeken liggen ver boven de grenzen zoals aangegeven in 4.2 en 4.3.

- *Hinder*

  Hinder is het meest voorkomende effect van omgevingslawaai. Het moet worden gezien als een eerste-orde effect dat erop duidt dat het geluid in de gegeven situatie optreedt als stressor. Veel, en een steeds toenemend, aantal mensen wordt gehinderd door lawaai, vooral van buren, van snelwegverkeer en van de luchtvaart (De Jong, 1989). Treinen en stedelijk wegverkeer veroorzaken minder hinder: tussen 55 en 60 dB(A) (equivalent geluidniveau, gemeten voor de gevel) beweegt de ernstige hinder door treinen en stedelijk wegverkeer zich nog rond de vijf procent, terwijl de erge hinder ten gevolge van snelwegverkeer en de luchtvaart al op vijftien procent of hoger zit (Miedema, 1992). Beneden een equivalent geluidniveau van 45 dB(A) (de geluidpieken liggen hier boven) wordt voor alle verkeersgeluidbronnen slechts een te verwaarlozen hinder aangetroffen. Dit betekent dat bij piekniveaus beneden de in 4.2 en 4.3 genoemde grenzen geen noemenswaardige hinder te verwachten is.

- *Cardiovasculaire aandoeningen*

  Er is een indrukwekkende hoeveelheid epidemiologisch onderzoek verricht naar effecten van lawaai op de bloeddruk, en recentelijk ook op andere determinanten van ischaemische hartziekten. Deze studies zijn recentelijk samengevat in o.a. Hofman (1991), Thompson (1991) en De Jong (1991).

Hofman vermeldt (op blz. 90 van haar publicatie) dat in negen van de twaalf veldonderzoeken waarin het effect van lawaai op de bloeddruk is nagegaan, een significante verhoging is geconstateerd en in één studie een tendens tot verhoging. In beide overige studies werd geen effect van lawaai geconstateerd.

In dit kader wordt verder niet op individuele studies ingegaan, op een zeer recente na. Babisch (1991) noemt, als een van de meest saillante uitkomsten van de 'Caerphilly-Speedwell' en 'Berlijn' studies naar wegverkeerslawaai als een risicofactor voor hartinfarcten, een geluidbelasting van 65-70 dB(A), uitgedrukt in equivalent geluidniveau gedurende de dagperiode (6 tot 22 uur), als het grensgebied waaronder met epidemiologische onderzoeksmethoden geen effecten te vinden zijn, dus waarin het relatieve risico (RR) gelijk is aan 1. Daarboven is er sprake van een toenemend extra risico (in de klasse van 71-75 dB(A): RR < 1,5; van 76-80 dB(A): 1,5 < RR < 2,0). Uit vele andere (oudere) onderzoeken is echter niet met zekerheid komen vast te staan dat geluid op den duur cardiovasculaire problemen veroorzaakt, zodat deze recente resultaten met enige terughoudendheid moeten worden gehanteerd.
Al deze studies zijn uitgevoerd met aanzienlijk hogere geluidbelastingen (en dus ook piekniveaus) dan waarvan hier sprake is. De kans op cardiovasculaire aan- doeningen kan in de situaties waarop wij ons richten dan ook verwaarloosbaar worden geacht.

- *Vegetatieve effecten in het algemeen*

Sommige vegetatieve effecten habitueren (dat wil zeggen dat de effecten na verloop van tijd minder heftig worden of zelfs helemaal verdwijnen). Andere, waaronder de reacties van het hart-vaatstelsel, habitueren niet. Vegetatieve effecten worden direct boven de gehoor- of detectiegrens al zichtbaar.
Zoals reeds vermeld in 4.4, in verband met de reactie van de hartslag op geluidpieken, liggen de acute fysiologische reacties bij gebruikelijke niveaus van omgevingsgeluid (equivalente geluidniveaus tussen 40 en 65 dB(A)) in het normale bereik (= reacties van een hevigheid zoals die dagelijks door vele gebeurtenissen teweeg worden gebracht (Jansen, 1986)). Bij gebrek aan acute schadelijke effecten kan gezondheidsschade niet op individueel niveau worden voorspeld. Men kan alleen trachten de kans aan te geven, dat een bepaald effect in een populatie zal voorkomen. De vraag is dan, of mensen die meer aan deze prikkel zijn blootgesteld ook een groter risico lopen dan mensen die er in mindere mate aan zijn blootgesteld. Deze relaties worden echter vaak gemaskeerd door

mediërende variabelen als geluidgevoeligheid of door de persoonlijke geschiedenis van een individu.

Kort en goed: er kan bij langdurige blootstelling aan niveaus zoals hiervoor aangeduid geen grens worden aangegeven waaronder een geluid met zekerheid geen, en ook geen grens waarboven een geluid met zekerheid wel schade aan de gezondheid kan veroorzaken. De recente bevindingen van Babisch (1991) met betrekking tot cardiovasculaire effecten geven wel een eerste vingerwijzing over waar zo'n grens voor een totale populatie zou kunnen liggen. Op individueel niveau - het zij nogmaals gezegd - heeft zo'n grens geen voorspellende waarde.

- *Geestelijke gezondheid*

De meest stellige bewering over een verband tussen luchtvaartlawaai en geestelijke gezondheid komt van Meecham en Smith (1977). In hun onderzoek bij Los Angeles Airport registreerden zij 29 procent meer opnames in psychiatrische ziekenhuizen van mensen uit lawaaiige gebieden dan uit rustige gebieden. De waarde van deze studie wordt echter in twijfel getrokken (Frerichs et al., 1980).

Rond Heathrow is een reeks onderzoeken naar het effect van vliegtuiglawaai op de geestelijke gezondheid uitgevoerd. Abey-Wickrama et al. (1969) voerden een retrospectieve studie uit naar opnames in een psychiatrische kliniek uit gebieden met verschillende geluidbelastingen. Zij registreerden meer opnamen uit gebieden met een geluidbelasting boven 55 NNI. In het bijzonder vrouwen, ouden van dagen en neurotici bleken kwetsbaar. Herridge en Chir (1972) vonden hetzelfde.

Gattoni en Tarnopolsky (1973) analyseerden opnames in dezelfde kliniek over twee meer recente jaren. Hoewel zij een tendens vinden in dezelfde richting, vinden zij geen statistische verschillen. Meer recent bestudeerden Jenkins et al. (1981) opnamen in drie psychiatrische ziekenhuizen over een periode van vier jaar. Zij vonden geen verschillen.

In Denemarken vond Relster (1981) dat 19 procent van een populatie die blootstond aan een geluidbelasting (in equivalent geluidniveau) van 69 tot 78 dB(A), in de periode van vijf jaar voorafgaande aan het onderzoek een psychiater of psycholoog had geconsulteerd (tegen 12 procent uit contrôlegebieden) en dat 4 procent (tegen 2 procent uit contrôlegebieden) opgenomen was geweest.

Samenvattend kan worden gesteld dat in het bijzonder de meer recente, en methodologisch sterkere, onderzoeken de hypothese dat lawaai de geestelijke gezondheid schaadt niet ondersteunen. Maar wanneer er een samenhang gevonden is, is dit altijd in gebieden met

een aanzienlijke geluidbelasting. Het is niet aannemelijk dat er in het gebied onder de grenzen die in 4.2 en 4.3 zijn aangegeven, schade aan de geestelijke gezondheid zal kunnen ontstaan.

- *Geneesmiddelengebruik*

Onderzoek in Canada, Zwitserland en Nederland toont aan dat er meer medische consultaties voorkomen en er meer geneesmiddelen gebruikt worden in gebieden met veel vliegtuiglawaai dan in gebieden met weinig vliegtuiglawaai (Hemingway et al., 1981; Grandjean et al., 1974; Knipschild, 1976). Tarnopolsky en Clark (1984) vonden een (niet significante) tendens in deze richting, evenals Watkins et al. (1981).

Altena et al. (1988) vonden in een methodologisch goed uitgevoerde studie geen verhoogd gebruik van slaapmiddelen en tranquilizers in gebieden met geluidbelasting tot ca. 70 dB(A) (de zwaarst belaste gebieden in het onderzoek).

De ongeveer vijf onderzoeken waarin wegverkeer centraal stond, geven alle slechts zwakke verbanden (tendenzen) te zien (Langdon et al., 1977; Lambert et al., 1984; Wehrli et al., 1978; François, 1986; Relster, 1981; Vallet et al., 1986).

Taylor en Wilkins (1987) wijzen er terecht op dat de meeste van de hier aangehaalde onderzoeken methodologisch zwak zijn. In het bijzonder de wijze van steekproeftrekken is vaak aan kritiek onderhevig, terwijl er tevens lang niet altijd wordt gecontroleerd voor mediërende variabelen als geslacht, leeftijd, sociale klasse e.d.

Al bij al luidt de conclusie dat er onvoldoende zekerheid is over het verband tussen geluidbelasting en het gebruik van geneesmiddelen als slaapmiddelen en tranquilizers. Wel is er sprake van convergerende tendenzen.

- *Overlijden*

Meecham en Shaw (1979 en 1986) rapporteren hogere sterftecijfers over gebieden met een hoge geluidbelasting bij Los Angeles Airport. Zij rapporteren ook meer gevallen van zelfmoord, meer cardiovasculaire klachten en meer gewelddadigheden uit deze gebieden. De auteurs schatten dat er per jaar ca. 60 doden meer vallen (in een populatie van ca. 103.000 inwoners) dan in gebieden met een lagere geluidbelasting (ca. 91.000 inwoners). Een extra risico van 0,6 promille.

In Frankrijk onderzochten Pacheco en Servillat (1984) de relatie tussen (mislukte) zelfmoordpogingen en vliegtuiglawaai. In een case-control studie zagen zij bevestigd, dat mensen die een zelfmoordpoging hadden ondernomen, gevoeliger waren voor (vlieg-

tuig)lawaai dan de mensen in de contrôlegroep. Het is een gegeven dat vele mensen met een depressie geluidgevoeliger zijn dan mensen die niet aan depressies lijden.
Hoewel in de aangehaalde onderzoeken niet expliciet geluidniveaus genoemd worden, geldt zeker voor de studie van Meecham en Shaw dat daarin sprake is van hogere geluidniveaus en geluidgebeurtenissen met hogere pieken dan waarvan sprake is in ons geval (lager dan 40 respectievelijk 35 dB(A)). Het lijkt zeer onwaarschijnlijk dat geluid onder dergelijke niveaus een vergrote kans op overlijden zou kunnen bewerkstelligen.

- *Geboorte en ontwikkeling*

Ando en Hattori hebben als eersten gewezen op de mogelijke gevolgen van geluid voor de menselijke voortplanting. Zij vonden inderdaad een reeks van effecten: een verhoogde kans op vroeggeboorte, een lager geboortegewicht, abnormale reacties op lawaai direct na de geboorte. Ando en Hattori (1970, 1973, 1977a en 1977b) voerden hun onderzoeken uit in gebieden met een extreem hoge geluidbelasting (hoger dan 62 NNI, dus hoger dan ca. 70 Ke).
Jones en Tauscher (1978) troffen meer geboorte-afwijkingen aan in gebieden met een hoge geluidbelasting bij Los Angeles Airport. Zij verzuimden echter te corrigeren voor de leeftijd van de moeder en sociaal-economische klasse. Juist deze factoren kunnen de conclusies beïnvloeden (Bader, 1978).
Knipschild et al. (1981) rapporteren dat er in rumoerige gebieden rondom Schiphol relatief meer babies geboren worden die minder wegen dan 3.000 gram. De gezondheidskundige betekenis hiervan is echter onduidelijk, omdat er volgens de definitie van de WHO pas sprake is van een vroeggeboorte als het geboortegewicht minder is dan 2.500 gram.
Edmonds et al. (1979), in hun studie naar het voorkomen van spina bifida (open ruggetje) en Schell en Hodges (1985), in een studie naar de lichamelijke ontwikkeling van kinderen van 6 tot 11 jaar die in de nabijheid van een vliegveld wonen, rapporteren geen effecten van lawaai.
Green et al. (1982), Bronzaft en McCarthy (1975), Maser et al. (1978), Cohen et al. (1981) en Moch (1980 en 1981) constateerden een achterstand in leesvaardigheid onder invloed van verschillende soorten omgevingslawaai, vanaf een equivalent geluidniveau van ca. 60 dB(A), gemeten buiten de school.
Ergo: het lijkt niet waarschijnlijk dat lawaai invloed heeft op de ontwikkeling van het ongeboren kind of op zijn lichamelijke ontwikkeling na de geboorte. Wel is er een verband met leesvaardigheid.

4.4.2 Reactie van de hartslag op geluidpieken

De hartslag staat onder contrôle van het parasympatische en sympatische zenuwstelsel. 's Nachts daalt de sympatische tonus en geleidelijk aan ook de hartslag, met een minimum ongeveer anderhalf tot twee uur voor het ontwaken. Tijdens de slaap reageert de hartslag op een geluidstimulus meestal met een versnelling, soms gevolgd door een vertraging.

Als geluid verstorend werkt op de hartslag tijdens de slaap, dan kan men de volgende effecten verwachten:

- de hartslagfrequentie neemt toe;
- de variantie van de hartslagfrequentie neemt toe.

Over deze variabelen is een tiental studies bekend. Samenvattend kan gesteld worden dat geluid aantoonbaar de hartslagfrequentie beïnvloedt (meestal verhoogt) en de variantie daarvan vergroot. Een voorbeeld hiervan kan gevonden worden in de studie van Kumar et al., 1983). In waaktoestand beginnen deze reacties op te treden bij piekniveaus vanaf ca. 70 dB(A) (Rövekamp, 1980) en wanneer men slaapt vanaf ca. 45 dB(A). Ehrenstein en Müller-Limmroth (1980) vonden geen verandering in de hartslag bij een achtergrondniveau in L_{eq} van 38 dB(A) en voorgrondgeluiden (eveneens in L_{eq}) van 50 tot 86 dB(A). Wilkinson en Campbell (1984) vonden een positieve correlatie tussen hartslagfrequentie en geluidniveau, bij equivalente geluidniveaus van 41 tot 47 dB(A). Ook Vallet et al. (1983) vonden deze samenhang, bij equivalente geluidniveaus van 37 tot 52 dB(A).

Kumar et al. (1985) vonden dat de grootte van de hartslagrespons vooral afhankelijk was van de steilheid van de geluidprikkel, terwijl de samenhang met het maximale geluidniveau niet significant was. Zij telden een geluidprikkel als zodanig, als deze tenminste 10 dB(A) boven het L_{90}-niveau uitkwam. Ook anderen vonden geen verband met het maximale geluidniveau, nu gedefinieerd als de hoeveelheid overschrijding per minuut van L_{50} (Vallet, 1986).

De toename in hartslagfrequentie is over het algemeen niet zeer groot en ligt binnen de normale variaties in hartslag over 24 uur.

Figuur 6 Gemiddelde veranderingen in hartslagfrequentie ten gevolge van geluid, gemeten over perioden van twee uur. (uit: Vallet, 1987)

Uit een onderzoek van Muzet (1980) bleek dat kinderen meer reageerden dan oudere proefpersonen. Al bij al kan worden geconcludeerd, dat er reeds verandering van de hartslag en vergroting van de variantie daarvan wordt geconstateerd bij piekniveaus van ca. 40 dB(A). Het is niet zeker dat bij lagere waarden geen reacties optreden, omdat dit niet onderzocht is. Zie figuur 6.

4.4.3 Gewenning van het organisme

Het organisme kan in zekere zin wennen aan blootstelling aan nachtelijk geluid. Nadat men langdurig (vele dagen tot jaren) daaraan is blootgesteld neemt de ontwaakrespons af, maar veranderingen in slaapstadia niet (Muzet en Ehrhart, 1980; Saletu et al, 1989; Thiessen en Lapointe, 1978). Het subjectieve oordeel over de slaap wordt minder negatief na langere tijd van blootstelling aan lawaai. De verschuiving van het subjectieve oordeel duurt echter langer dan de habituatie van EEG-kenmerken (Vallet en François, 1982). Gewenning van de hartslagrespons op geluid treedt niet op, ook al woont men al jaren langs de snelweg (Tulen et al., 1986).

4.4.4 Conclusie

Wanneer een heel scala aan mogelijke gezondheidseffecten kritisch wordt beschouwd, kan geconcludeerd worden dat, met geluidniveaus onder de drempels als bedoeld in 4.2 en 4.3 bij normstelling betreffende nachtvluchten de risico's te verwaarlozen zijn en derhalve beneden een aanvaardbaar niveau blijven. Er kunnen onder deze drempels wellicht nog geringe veranderingen in de hartslagfrequentie optreden, maar deze zijn verwaarloosbaar. Bij discussies over normstelling kunnen deze drempels gebruikt worden als streefwaarden. Als van deze streefwaarden wordt afgeweken en er een grenswaarde van 50 dB(A) wordt gekozen, dan zullen de ontwaakreacties en de slaapstadia veranderingen toenemen. Veranderingen in de hartslag zullen ook toenemen, maar deze liggen nog altijd binnen de normale variantie over het etmaal.

5. DE ROL VAN HET TIJDSINTERVAL

5.1 Inleiding

Bij de bespreking van de vragen, gesteld in 4.2, 4.3 en 4.4, is een aantal malen gewezen op het belang van het tijdsinterval tussen opeenvolgende geluidgebeurtenissen. In dit hoofdstuk wordt dieper op dit aspect ingegaan. De vraag is als volgt geformuleerd:

> welke rol speelt het tijdsinterval tussen opeenvolgende geluidgebeurtenissen bij het optreden van slaapverstoringen? (vraag e)

Het interval tussen opeenvolgende geluidgebeurtenissen kan leiden tot verschillende reacties tijdens de slaap. Aan de orde komen de volgende kenmerken:

- *verschil in effect tussen intermitterend geluid en continu geluid*
  Geluid afkomstig van overvliegende vliegtuigen heeft een intermitterend karakter. Dat wil zeggen dat zich tussen de duidelijk te onderscheiden geluidpieken intervallen bevinden met een veel lager geluidniveau. Wegverkeersgeluid kan, bij voldoende voertuigen per tijdseenheid, eerder een continu karakter hebben, aangezien de geluidpieken elkaar zeer snel opvolgen of zelfs overlappen. 's Nachts neemt de verkeersintensiteit op de meeste wegen vrij sterk af, zodat er ook bij wegverkeer in de nacht vaak eerder sprake zal zijn van intermitterend dan van continu geluid. Wel zal het verschil tussen geluidpieken en rustige perioden groter zijn bij de luchtvaart dan bij wegverkeer. Tijdens de slaap wordt verschillend gereageerd op continu geluid en op intermitterend geluid. Dit wordt in 5.2 verder uitgewerkt.

- *het belang van geconsolideerde slaap voor de slaapkwaliteit*
  Frequente verstoringen van de slaap, zelfs al leidt dit niet tot een grote afname van de totale slaaptijd, kunnen leiden tot slaperigheid overdag en tot vermindering van het prestatieniveau. Een uitwerking hiervan wordt gegeven in 5.3.

- *geluidgebeurtenissen, intervallen en ontwaakreacties*
  De relatie tussen grootte van het interval tussen de geluidstimuli en het effect op het aantal verstoringen van de slaap is niet lineair, maar heeft eerder de bekende omgekeerde U-vorm. Als het interval zo klein wordt dat de pieken elkaar deels overlappen, heeft het geluid een continu karakter gekregen. De ontwaakreacties treden bij blootstelling aan continu geluid minder vaak op dan bij intermitterend geluid, maar men blijft wel langer wakker. Bij het groter worden van het interval tussen de geluidstimuli krijgt het geluid een intermitterend karakter en wordt de kans op ontwaakreacties groter. Bovendien wordt ook de kans groter dat de slaper reeds wakker was of naar een lichter slaapstadium was overgegaan ten gevolge van een vorige stimulus, hetgeen een verlaging van de wekdrempel tot gevolg heeft. Als het interval nog groter wordt neemt de kans op dit laatste 'opslingereffect' weer af. Een uitwerking wordt gegeven in 5.4.

5.2 Intermitterend versus continu geluid

Eberhardt et al. (1987) voerden een experiment uit waarbij proefpersonen werden blootgesteld aan verkeerslawaai in zes verschillende condities: (1) continu verkeerslawaai met L_{Aeq} is 36 dB(A), (2) continu verkeerslawaai met L_{Aeq} is 45 dB(A), (3) intermitterend verkeerslawaai met L_{Aeq} is 29 dB(A) en 50 passages van zware vrachtwagens met L_{Amax} is 45 dB(A), (4) intermitterend verkeerslawaai met L_{Aeq} is 36 dB(A) en 50 passages van zware vrachtwagens met L_{Amax} is 55 dB(A), (5) een combinatie van (2) en (4). Tenslotte is het effect van oordopjes nagegaan in (4). De belangrijkste uitkomsten waren: continu wegverkeersgeluid van 45 dB(A) verstoort reeds de REM-slaap en wordt subjectief als storend ervaren. Intermitterend geluid met pieken van dit niveau tast de slaap in ernstiger mate aan, doordat het de diepe slaap verstoort, meer lichaamsbewegingen met zich mee brengt en veranderingen van slaapstadium veroorzaakt. Bij een equivalent geluidniveau van 36 dB(A) vindt hoegenaamd geen beïnvloeding van het slaappatroon plaats. Dit geldt ook bij maximum niveaus onder 40 dB(A) (bewerkstelligd met de oordopjes). De conclusie is, dat intermitterend geluid anders, en meer, op de slaap inwerkt dan continu geluid.
Ook uit ander onderzoek is gebleken dat intermitterend geluid een grotere invloed op de slaap heeft dan een meer continu geluid (Öhrström et al., 1983; Metz et al., 1977).

5.3 Het belang van ononderbroken slaap

Uit recente literatuur, bijeengebracht en besproken in Hofman (1991), blijkt dat de intervallen tussen twee opeenvolgende geluidgebeurtenissen zo lang mogelijk dienen te zijn, omdat met name de continuïteit van de slaap een belangrijke functie vervult bij het herstel van het organisme. Al in 1978 ontdekten Bonnet et al. dat er meer arousals optraden in het slaap-EEG als de geluidstimuli optraden in de nabijheid van (dat wil zeggen 10 minuten) van lichaamsbewegingen (zie ook 4.3.2). Hieruit ontwikkelden zij de 'sleep continuity' theorie, die zij met een serie tests ondersteunden (Bonnet, 1986; Downey en Bonnet, 1987). Deze theorie houdt in, dat de continuiteit van de slaap belangrijker is voor het herstel van het menselijke organisme dan de totale slaaptijd of de hoeveelheid slaap, doorgebracht in de verschillende slaapstadia. Om zijn herstelfunctie goed te vervullen, moet de slaap gedurende perioden van minstens tien minuten ononderbroken zijn. De Gezondheidsraad (1991) schrijft hierover:

> 'Een belangrijke conclusie uit het rapport van mevrouw Hofman, die door de commissie wordt onderschreven, is dat nachtelijk vliegtuiggeluid het ritmische patroon van de slaap kan verstoren, mensen kan doen ontwaken en kan leiden tot een verbrokkelde slaap.'

Daarom is concentratie van geluidgebeurtenissen in een deel van de nacht, bijvoorbeeld in de relatief ongevoelige voornacht (als men tenminste eenmaal slaapt), niet aan te bevelen, omdat dit deel van de nacht dan onttrokken wordt aan de herstelfunctie van de slaap.
Van praktisch belang in verband met vliegtuiggeluid is dat één vliegtuig op een bepaalde plaats voor meer dan één geluidgebeurtenis kan zorgen. Dit kan gebeuren wanneer men een boog moet beschrijven om een landing te kunnen inzetten. Wanneer er tussen twee geluid'pieken' van dezelfde vlucht een stil interval ligt, moeten deze pieken vanuit de beleving van de ontvangers worden beschouwd als twee aparte geluidgebeurtenissen.

5.4 Geluidgebeurtenissen, intervallen en ontwaakreacties

Uit het voorafgaande, onder meer in 4.3.2 en in 5.3, is duidelijk geworden dat het aantal geluidgebeurtenissen per nacht en de intervallen daartussen van belang zijn voor het aantal ontwaakreacties dat verwacht kan worden. De volgende overwegingen zijn van belang om een indruk te krijgen van

de relatie daartussen. Hierbij wordt voor de gedachtenbepaling uitgegaan van intervallen van gelijke grootte.

* Wanneer er geen geluidgebeurtenis plaats vindt met een piekniveau boven 40 dB(A), treedt er hoegenaamd geen ontwaken door geluid op.
* Bij weinig geluidgebeurtenissen boven deze grens treden weinig ontwaakreacties op. De intervallen zijn lang.
* Komen er meer geluidgebeurtenissen boven deze grens (kortere intervallen), dan gebeuren er, simpel gezegd, drie dingen. Ten eerste treden er meer ontwaakreacties op. Niet alleen doordat de kans op ontwaken groter wordt naarmate het aantal geluidgebeurtenissen toeneemt, maar ook doordat meer mensen in lichte slaap verkeren ten gevolge van voorafgaande geluidgebeurtenissen die een arousal teweeg gebracht hebben. Ten tweede wordt de tijd, die men nodig heeft om weer in te slapen na eerst ontwaakt te zijn, langer (Eberhardt et al., 1987). Ten derde wordt de wekdrempel voor geluidgebeurtenissen met een piekniveau onder 40 dB(A) lager (zie 4.3.1),
* Neemt het aantal geluidgebeurtenissen boven de arousalgrens, dus boven 35 dB(A), verder toe, waardoor zeer gevoelige mensen wellicht eerder ontwaken, dan neemt het aantal ontwaakreacties af. Steeds meer mensen worden dan blootgesteld aan een geluidprikkel, terwijl men nog wakker is. In dit geval wordt uiteraard geen ontwaakreactie geregistreerd. De tijd dat men wakker ligt, neemt in dat geval steeds verder toe, hetgeen inhoudt dat de kwaliteit van de slaap verder achteruit gaat.

Deze redenering maakt duidelijk, dat ontwaakreacties boven een nader te bepalen aantal geluidgebeurtenissen geen goede maat zijn voor de kwaliteit van de slaap. Waar dit 'nader te bepalen aantal geluidgebeurtenissen' boven 40 dB(A) ligt, is nog niet empirisch vastgesteld. Bij dit aantal zijn de intervallen tussen twee opeenvolgende geluidgebeurtenissen theoretisch gelijk aan de tijd die nodig is om weer in te slapen.

Er zijn slechts enkele globale indicaties over het maximale aantal geluidgebeurtenissen per nacht dat nog een redelijke indicatie geeft van de kwaliteit van de slaap.

Instructief is in deze inspectie van de figuren 7 en 8.

Figuur 7 Percentage ontwaakreacties in relatie tot het aantal stimuli per nacht (naar Griefahn, 1976)

Inspectie van figuur 7 geeft een 'trendbreuk' te zien tussen 32 en 45 geluidgebeurtenissen.
In deze studies zijn geluidstimuli gebruikt met piekniveaus varierend van 55 tot 86 dB(A). Bij inspectie van het totale beeld wordt, vanwege de grote spreiding in de geluidniveaus, niet duidelijk of de relatief geringe percentages ontwaken bij de hoge aantallen stimuli een gevolg zijn van de aantallen op zich of van een eventueel verschil in reacties op luchtvaart en wegverkeer. Dit laatste is overigens op voorhand minder waarschijnlijk op grond van de bevindingen zoals die zijn beschreven in 4.2.2. Meer inzicht geeft de onderverdeling in klassen met minder spreiding in piekniveaus, zoals weergegeven in figuur 8.

Figuur 8 Percentage ontwaakreacties in relatie tot het aantal stimuli per nacht voor klassen met oplopende piekniveaus. (naar Griefahn, 1976)

In de klasse met piekniveaus onder 65 dB(A)is geen verband zichtbaar tussen de aantallen geluidgebeurtenissen per nacht en de kans op ontwaken. De kans op ontwaken kan overigens in deze klasse reeds oplopen tot 20 procent. Er is geen onderscheid tussen luchtvaart en wegverkeer. Tussen 65 en 70 dB(A) is de kans op ontwaken bij aantallen geluidgebeurtenissen onder de 30 groter dan bij 64 stimuli. Zou dit nog een effect van de bron kunnen zijn, dan maken de gegevens in de klasse van 70 tot 75 dB(A) dit onwaarschijnlijk: een gering aantal passages van wegverkeer geeft meer kans op op ontwaken dan vliegtuigen. In de klasse van de hoogste (onderzochte) piekniveaus zien we weer dat de kans op ontwaken bij 80 stimuli gering is in vergelijking met 10-32 stimuli.

Het is niet zo, dat de kleinere kans op ontwaakreacties tot een betere subjectieve slaapkwaliteit leidt. Öhrström et al. hebben in 1990 de effecten van 4, 8, 16 en 64 verkeersgeluidstimuli op subjectieve slaapkwaliteit en stemming vergeleken. De stimuli hadden een piekniveau van 50 of van 60 dB(A). Bij een piekniveau van 60 dB(A) nam de subjectieve slaapkwaliteit af naarmate het

aantal stimuli groter werd. Bij een piekniveau van 50 dB(A) was er geen relatie tussen het aantal stimuli en de slaapkwaliteit.

Deze observaties suggereren, dat het grootste aantal geluidgebeurtenissen, waarbij het aantal ontwaakreacties nog een redelijke maat vormt voor slaapkwaliteit, tussen 32 en 45 ligt.

5.5 Conclusies

Intermitterend geluid, waarvan in de nacht in de meeste gevallen sprake is omdat het verkeersaanbod veel geringer is dan overdag, heeft een sterker effect op de slaap dan continu geluid. De continuiteit van de slaap is belangrijker voor het herstel van het menselijke organisme dan de totale slaaptijd of de hoeveelheid slaap, doorgebracht in de verschillende slaapstadia. Om zijn herstelfunctie goed te vervullen, moet de slaap gedurende perioden van minstens tien minuten ononderbroken zijn.

Ontwaakreacties zijn, boven een nader te bepalen aantal geluidgebeurtenissen, geen goede maat voor de kwaliteit van de slaap. Waar dit 'nader te bepalen aantal geluidgebeurtenissen' boven 40 dB(A) ligt, is nog niet empirisch vastgesteld. Er zijn indicaties dat dit tussen 32 en 45 geluidgebeurtenissen ligt.

6. DE INVLOED VAN DE TIJD VAN DE NACHT

6.1 Inleiding

Tot nu toe is steeds sprake geweest van reacties tijdens de slaap. Niet iedereen slaapt echter op dezelfde tijden: het begrip 'nacht' zal voor verschillende personen een verschillende betekenis hebben. De periode tussen 23.00 en 06.00 uur is grofweg de periode die door de meeste mensen als slaapperiode wordt benut en dit is ook de periode die genoemd wordt in het aanvullend milieu-effectrapport met betrekking tot vliegveld Zuid-Limburg. In het advies zoals kort geleden is uitgebracht door de Gezondheidsraad (1991) wordt hier enig commentaar op gegeven. De vraag luidt:

> Wat is de definitie van het begrip nacht in het licht van recente bevindingen van de Gezondheidsraad? (vraag f)

6.2 De definitie van het begrip nacht

Uit de analyse van onderzoeksresultaten naar de tijd, die men besteedt aan nachtrust, bleek dat nachtrust tot het type tijdbesteding behoort waarbij individuen, in relatie tot de hoeveelheid tijd die hiermee is gemoeid, betrekkelijk weinig van elkaar verschillen (Knulst, 1977). Tabel 1 leert verder dat het tijdbeslag van de genoemde bezigheden tussen 1975 en 1980 stabiel bleef. In het algemeen wordt op jeugdige en op hoge leeftijd de meeste tijd gebruikt voor slapen. In de tussenliggende leeftijdsfase hangt de tijd die voor nachtrust wordt gebruikt, negatief samen met de hoeveelheid tijd die met de taak overdag gemoeid is. Personen met een werkkring slapen gemiddeld korter dan personen zonder werk, en huisvrouwen met jonge kinderen korter dan huisvrouwen zonder jonge kinderen (zie tabel 2).

Tabel 1 Gemiddelde tijdbesteding aan slapen [1]) naar leeftijd, 1975 - 1980, in uren per etmaal (uit Knulst en Schoonderwoerd, 1983)

	1975	1980
12-19 jaar	9,2	9,3
20-34 jaar	8,3	8,3
35-49 jaar	8,3	8,3
50-64 jaar	8,7	8,7
65 jaar en ouder	9,2	9,0

[1]) Met inbegrip van dutjes overdag

Tabel 2 Gemiddelde slaapduur tijdens werkdagen en tijdens het weekeind, 1980(uit Knulst en Schoonderwoerd, 1983)

	Werkweek	Weekeind
	Uren per etmaal	
Werkenden[1])	7,7	8,9
Niet-actieven[2])	8,9	8,9
Huisvrouwen met jonge kinderen[3])	8,2	9,0
Huisvrouwen zonder jonge kinderen	8,7	9,1

[1]) Hebben tijdens de onderzochte week meer dan 20 uur arbeid verricht
[2]) Werkzoekende, arbeidsongeschikte en gepensioneerde mannen
[3]) Tot 15 jaar

Uit de bovenstaande tabellen wordt het volgende duidelijk:

1. Voor alle leeftijdsgroepen is de nachtperiode zoals wordt gehanteerd in de aanvullende MER voor vliegveld Zuid-Limburg niet in overeenstemming met de benodigde nachtrust: zij is te kort.
2. De genoemde nachtperiode maakt geen verschil tussen werkdagen en weekeinde en doet derhalve geen recht aan de behoefte om in het weekeind uit te slapen.

Bij inspectie van een figuur (op blz 54) uit het advies van de Gezondheidsraad (1991) blijkt het volgende voor een 'gemiddelde' nacht (uit tabel 2 blijkt dat er eigenlijk geen gemiddelde nacht bestaat: men moet onderscheid maken in door-de-weekse nachten en nachten in het weekeinde).

Tabel 3 Percentage van de Nederlandse bevolking van 16 t/m 65 jaar dat voor het genoemde tijdstip naar bed gaat cq. na het genoemde tijdstip opstaat

	naar bed voor genoemd tijdstip	nog in bed na genoemd tijdstip
22.00	5	
22.15	10	
22.30	15	
22.45	20	
23.00	30	
06.00		96
07.00		80
08.00		45
09.00		20
10.00		7

Een nachtperiode van 23 tot 6 uur, zoals die gehanteerd wordt in de ontwerp-aanwijzing voor Maastricht Airport, betekent dat bij de aanvang van de nacht 30 procent al naar bed is gegaan en dat 's ochtends 96 (!) procent nog niet op is. Dit betekent dat vluchten met de meest lawaaiige vliegtuigyypen zoals de B747 en de DC10 (die 's nachts verboden zijn op de Luchthaven Zuid-

Limburg) in de periode vlak voor en vlak na de wettelijke nacht een aanzienlijke hoeveelheid ontwaakreacties kunnen veroorzaken, met alle protesten uit de bevolking van dien.
De conclusie luidt, dat de gehanteerde nachtperiode niet aansluit bij het gebruikelijke slaappatroon. Hierbij is al opgemerkt dat er eigenlijk geen 'gemiddelde' nacht bestaat. Beleidsmatig is kennis over verschillen tussen werkdagen en dagen in het weekeinde van belang. Daarnaast is inzicht in de, op het eerste gezicht nogal verschillende, slaappatronen in de diverse leeftijds- en beroepsgroepen (bijv. agrarische beroepsbevolking) interessant, omdat hieruit ook regionale verschillen kunnen blijken. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig.

6.3 Effect van de tijd van de nacht op de slaap

Uit het voorafgaande zal duidelijk zijn geworden dat het begrip nacht een wat flexibeler betekenis kan hebben dan tot nu toe is aangenomen. Als we het in deze paragraaf hebben over de rol die de periode van de nacht kan spelen bij het optreden van slaapstoornissen, dan bedoelen we met 'nacht' de subjectieve nacht, dus variabel en afhankelijk van de gewoonten van de in het onderzoek betrokken personen.

Verschillende delen van de nacht kunnen verschil uitmaken voor de reacties die te verwachten zijn op geluidgebeurtenissen tijdens de slaap. Een aantal facetten treedt hierbij op de voorgrond:

- *de invloed van het normale circadiane ritme op de wekdrempels in de verschillende slaapstadia*
  Er zijn verschillen in wekdrempelniveaus tussen de slaapstadia. Tevens zijn er verschillen vastgesteld tussen de wekdrempeldniveaus van eenzelfde slaapstadium op verschillende tijdstippen van de nacht.

- *de 'gevoeligheid' van verschillende delen van de nacht voor blootstelling aan geluid*
  In de eerste helft van de nacht zijn de wekdrempels hoger dan in de tweede helft van de nacht.

6.3.1 Circadiaan ritme en wekdrempels

Een circadiaan effect op de hoogte van de wekdrempels is ook zichtbaar als de verschillen in wekdrempelwaarden tussen de verschillende slaapstadia in de beschouwing betrokken worden. Dit is vooral onderzocht in stadium 2 en tijdens de REM-slaap aangezien deze slaapstadia, in tegenstelling tot stadium 3 en 4 (de diepe slaap) verspreid over de gehele nacht voorkomen. Een aantal studies heeft evidentie aangevoerd voor het bestaan van een hogere wekdrempel in het begin van de nacht en een lagere aan het einde daarvan, voor zowel stadium 2 (Rechtschaffen et al., 1968; Watson et al., 1969; Zimmerman, 1970, Bonnet et al., 1978) als REM-slaap (Shapiro et al., 1963; Goodenough et al., 1965). Bonnet et al. waarschuwen er in hun artikel voor dat, indien een geluidstimulus wordt aangeboden vlak nadat de proefpersoon is ontwaakt of zich heeft bewogen, er een grotere kans is op een ontwaakreactie na een volgende stimulus. Het aantal lichaamsbewegingen neemt toe naarmate de nacht vordert (Kleitman, 1963) en daarmee de kans dat een geluidstimulus wordt aangeboden in de buurt van een lichaamsbeweging of van een vorig ontwaken.

6.3.2 Gevoeligheid van nachtperioden

Het normale circadiane ritme zorgt ervoor dat de meeste diepe slaap optreedt in de eerste helft van de nacht. Naarmate de nacht vordert neemt het aandeel van de diepe slaap op het totaal sterk af, terwijl die van de lichte slaap toeneemt. Hierbij bedenke men, dat de lichte slaap ook in de eerste helft van de nacht het meest voorkomt. Gegeven het gevonden verschil in wekdrempels tussen de slaapstadia mag verondersteld worden dat in de eerste helft van de nacht de wekdrempels gemiddeld hoger zijn dan in de tweede helft. Bonnet en Moore (1982) wekten elk van hun twaalf proefpersonen vijf keer per nacht door het aanbieden van een serie tonen van 1000 Herz die in intensiteit opliepen tot het punt waarop de proefpersoon rapporteerde wakker te zijn. De wekdrempel steeg zeer snel na het inslapen en bleef geleidelijk stijgen. De onderzoekers hebben helaas geen gegevens over de wekdrempels na de eerste 2,5 uur van de nacht.

Eberhardt en Öhrström (1987) verdeelden de nacht in drie stukken van 2,5 uur, verder het eerste, het middelste en het laatste deel van de nacht te noemen. Vervolgens speelden zij op tape opgenomen verkeersgeluid af in de slaapkamers bij de proefpersonen thuis, waarbij op verschillende nachten het geluid in het eerste, midden- of laatste gedeelte van de nacht aangeboden werd. De

proefpersonen bleken in het eerste deel van de nacht het meest gevoelig te zijn voor het verkeersgeluid. Na blootstelling aan verkeersgeluid in het eerste deel van de nacht nam het aantal minuten, dat de proefpersonen wakker waren, toe. Over de gehele nacht gezien nam de hoeveelheid REM-slaap af, waren er meer lichaamsbewegingen en werd in de ochtend meer vermoeidheid gerapporteerd. Ook geluidbelasting in het middelste deel van de nacht had slaapverstoringen tot gevolg. In het laatste deel van de nacht waren de proefpersonen het minst gevoelig voor het geluid. Deze resultaten zijn enigszins verrassend in het licht van eerdere resultaten. De auteurs wijzen er op dat geluid een algemeen stress-effect kan hebben dat vooral de REM-slaap over de gehele nacht heen zou kunnen beïnvloeden zonder dat een directe reactie op de geluidstimulus in het EEG zichtbaar wordt. Tevens is mogelijk van invloed geweest dat het geluid pas na het inslapen aangeboden werd.

Eberhardt en Öhrström hebben in dezelfde studie ook naar een meer directe reactie in het EEG, binnen 30 seconden na het begin van een geluidstimulus afkomstig van het passeren van een vrachtwagen, gekeken. Ontwaakreacties en stadiumveranderingen traden het meest op tijdens blootstelling aan geluid in het middelste deel van de nacht en het minst in het eerste deel. Dit komt redelijk overeen met eerder gevonden resultaten met betrekking tot de wekdrempel (Bonnet en Moore, 1982; Bonnet, Johnson en Webb, 1978). Hoewel de onderzoekers hier verder niet op in gaan, dient gezegd dat de schijnbare tegenstelling tussen het resultaat dat na geluidbelasting in de eerste 2,5 uur van de nacht het aantal minuten dat men wakker ligt het grootst was, terwijl het aantal directe ontwaakreacties die optraden binnen 30 seconden na het begin van een geluidstimulus in diezelfde periode het minst was, geen tegenstelling is. Integendeel. Naarmate men langer wakker ligt kunnen er minder ontwaakreacties optreden.

6.3.3 Conclusie

Concluderend kan gezegd worden dat de kans om te ontwaken het kleinst is in het begin van de nacht. De kans om te ontwaken wordt groter naarmate de nacht vordert. In een aantal studies wordt een lineair verband gevonden tussen de kans op ontwaken en de tijd van de nacht (Shapiro et al., 1963; Goodenough et al., 1965; Rechtschaffen et al., 1968; Watson et al., 1969; Zimmerman, 1970): een kleine kans op ontwaken in de eerste helft van de nacht en een grotere kans op ontwaken in de tweede helft. Maar ook wordt een curvilineair verband genoemd (Eberhardt en Öhrström, 1987): de kleinste kans op ontwaken in het eerste, de grootste kans op ontwaken in het middelste en een iets kleinere kans in het laatste deel van de nacht. Blootstelling aan betekenisvol

geluid zoals verkeersgeluid in het begin van de nacht kan echter wel degelijk leiden tot verstoringen van de slaap. Zo is het mogelijk dat er in het gedeelte van de nacht waarin de blootstelling aan het geluid plaatsvindt, niet veel specifieke verstoringen van de slaap terug te vinden zijn, maar dat dit wel doorspeelt in verstoringen in de rest van de nacht. Belangrijk is in dit verband ook, dat de kans op ontwaken groter wordt als de geluidstimulus optreedt in de buurt van een vorig ontwaken of een lichaamsbeweging.

7. VERSCHILLEN TUSSEN GELUID AFKOMSTIG VAN WEGVERKEER EN VAN LUCHTVAART

7.1 Inleiding

De weinige studies die gevonden zijn met betrekking tot grotere aantallen geluidgebeurtenissen dan 32 hebben alle betrekking op wegverkeer. De vraag is, in hoeverre het gewettigd is om de resultaten die in deze onderzoeken geboekt zijn, te generaliseren naar de luchtvaart. Oftewel:

> Wat zijn de beperkingen bij het generaliseren van de onderzoeksbevindingen met betrekking tot wegverkeer naar vliegtuigen? Zijn bevindingen ten aanzien van wegverkeer zonder meer geldend voor de luchtvaart? Welke zijn de randvoorwaarden? (vraag i)

In de eerste tijd dat er onderzoek gedaan werd naar de invloed van blootstelling aan geluid en slaap werd vrij veel gewerkt met geluiden van vliegtuigen en knallen. De laatste jaren is de aandacht meer gericht geweest op de invloed van wegverkeer. Achtereenvolgens komen aan de orde:

- *het verschil in geluidkarakter tussen vliegtuiggeluid en wegverkeersgeluid,*
  Dit aspect is reeds op verscheidene plaatsen in het voorafgaande behandeld (4.2.2, 5.1). Daarom wordt volstaan met een resumé.
  Geluid afkomstig van overvliegende vliegtuigen heeft een intermitterend karakter. Dat wil zeggen dat zich tussen de duidelijk te onderscheiden geluidpieken intervallen bevinden met een veel lager geluidniveau. Wegverkeersgeluid kan, bij voldoende voertuigen per tijdseenheid, eerder een continu karakter hebben, aangezien de geluidpieken elkaar zeer snel opvolgen of zelfs overlappen. 's Nachts neemt de verkeersintensiteit op de meeste wegen vrij sterk af (de gemiddelde nachtuur-intensiteit is één procent van de etmaal-intensiteit), zodat er ook bij wegverkeer in de nacht vaak eerder sprake zal zijn van intermitterend dan van continu geluid, met een grote spreiding in intensiteisniveaus en geluidskarakteristieken (Tulen et al., 1986). Ook in dit geval blijven er verschillen tussen wegverkeer en luchtvaart. Zo zullen de verschillen tussen die pieken en het achtergrondniveau doorgaans groter zijn bij de luchtvaart dan bij wegverkeer, terwijl het geluid van wegverkeer meer lage tonen bevat dan de luchtvaart. Tijdens de slaap wordt verschillend gereageerd op continu geluid en op intermitterend geluid. De resultaten van onderzoek

tonen aan dat intermitterend geluid heviger op de slaap inwerkt dan continu geluid (Eberhardt et al, 1987).

Als we er vanuit gaan dat er geen noemenswaardige verschillen zijn tussen wegverkeersgeluid en vliegverkeersgeluid, zijn er dan indicaties voor het tegendeel? De uitkomsten uit het geringe aantal maar kwalitatief goede studies waarin verschillende geluidsbronnen onderzocht zijn, geven geen duidelijke verschillen aan. Ook laat figuur 4 zien dat er geen onderzoeken zijn die vliegtuiggeluid hebben gemeten met een geluidniveau lager dan 60 dB(A), maar dat (intermitterend) wegverkeer en vliegtuigen een vergelijkbare kans op ontwaken geven, zeker in de range van 60 tot 80 dB(A) (figuur 4). Het is derhalve niet aannemelijk te maken dat deze vergelijkbaarheid beneden deze geluidniveaus sterk zou veranderen.

- *het verschil in invloed tussen vliegtuiggeluid en wegverkeersgeluid*

  Behalve het verschil tussen het intermitterende karakter met grote intervallen van vliegtuiggeluid en met kleinere intervallen van wegverkeergeluid zijn er ook nog andere verschillen zoals de frequentiekarakteristiek van de individuele piek, duur, stijgtijd, maar ook de attitude ten opzichte van vliegtuiggeluid c.q. wegverkeersgeluid (o.a. Hall, 1984; Osada et al., 1972). De attitude is van belang omdat hij de waarnemingsdrempel, en daarmee de wekdrempel, mede bepaalt (zie 3.1.2). Dit brengt ons op de hindervraag. Deze wordt in 7.2 behandeld.

7.2 Verschil in invloed van geluid

Gedurende de afgelopen tien jaar was het een controversieel punt of er voor alle transportgeluid één universele dosis-effectrelatie kon gelden (Schultz) of dat elke geluidbron zijn eigen, unieke dosis-effectrelatie kende (Kryter). De kwestie is lang onopgelost gebleven (o.a. Hall, 1984). Onderzoek op een groot aantal data van zowel Nederlandse als buitenlandse onderzoeken toont het volgende patroon (zie figuur 9). Lawaai van treinen, trams en stedelijk wegverkeer veroorzaken bij hetzelfde niveau ongeveer even veel hinder. Dit zelfde geldt voor vliegtuiglawaai en verkeerslawaai van snelwegen. Beide groepen geluidbronnen verschillen van elkaar. Vooral bij de hogere geluidbelastingen veroorzaakt de laatste groep meer hinder. (Miedema 1992). Het onderzochte vliegtuiglawaai is (uiteraard) intermitterend. Het verkeer op de snelwegen zal overdag, wegens de grote drukte en gehoord van wat verder af, veelal een continu karakter gehad hebben. In de nacht is het intermit-

terend, vooral bij de hogere niveaus. Deze resultaten geven in die zin een aanknopingspunt ten faveure van de toelaatbaarheid van extrapoleren, dat het hinderniveau ongeveer gelijk is. Bij beide geluidbronnen heeft de attitude dus een ongeveer gelijke invloed op de wekdrempel.

Figuur 9 Hinder door treinen, trams en stedelijk wegverkeer en luchtvaart/verkeer op snelwegen. Uit: Miedema, 1992

A = luchtvaart H = snelwegverkeer O = overig verkeer R = railverkeer

7.3 Conclusie

Boven de 60 dB(A) lijkt het effect van snelwegverkeer- en vliegtuiggeluid goed vergelijkbaar. Hoewel geen specifieke onderzoeken zijn gedaan naar de vergelijkbaarheid onder de 60 dB(A) zijn er ook geen aanwijzingen dat er bij deze niveaus een wezenlijk verschil zou ontstaan. Er zijn derhalve geen belemmeringen om de onderzoeksresultaten met betrekking tot snelwegverkeer te extrapoleren naar vliegverkeer.

8. DE INVLOED VAN MEER DAN 32 GELUIDGEBEURTENISSEN GEDURENDE DE NACHT OP DE SLAAP

8.1 Inleiding

Rekening houdend met hetgeen in de voorafgaande hoofdstukken is besproken komen we nu terug op de oorspronkelijke onderzoeksvraag zoals die geformuleerd is in 1.4:

> Welke effecten hebben talrijke (meer dan 32, dus buiten het werkingsgebied van het door Griefahn uitgevoerde onderzoek) geluidgebeurtenissen van luchtvaart en wegverkeer op de slaap, in het bijzonder op ontwaakreacties?

Er is ter sprake gekomen bij welk geluidniveau ontwaakreacties en veranderingen van slaapstadium beginnen op te treden, welke invloed het tijdsinterval tussen de opeenvolgende geluidgebeurtenissen heeft op het optreden van slaapverstoringen en wat de invloed is van de periode van de nacht. Interessant is nu om te onderzoeken of er misschien studies zijn waarin direct wordt gekeken naar invloed meer dan 32 geluidgebeurtenissen per nacht op de slaap.

Griefahn (1990) heeft bij het construeren van haar curve (die de relatie aangeeft tussen de waarschijnlijkheid van ontwaken bij een gegeven aantal stimuli en een gegeven geluidniveau) geen studies betrokken waarin meer dan 32 geluidstimuli per nacht werden aangeboden. Uit haar curve zijn dan ook geen conclusies af te leiden voor de waarschijnlijkheid van ontwaken bij een groter aantal stimuli per nacht. Wel doet Griefahn een poging tot extrapolatie door te stellen dat de relatie tussen de waarschijnlijkheid van ontwaken en het aantal geluidstimuli per nacht boven de 32 stimuli afgevlakt is. In het voorafgaande (hoofdstuk 5) is aannemelijk gemaakt dat deze extrapolatie niet te rechtvaardigen is.
We kunnen nu zoeken naar twee verschillende soorten studies:

- *studies waarin blootstelling aan een verschillend aantal stimuli van gelijk geluidniveau vergeleken worden*
  In dit kader is het interessant om direct binnen een studie te vergelijken wat de invloed is van verschillende aantallen geluidstimuli per nacht, waarbij het geluidniveau constant

wordt gehouden. Örström et al. hebben dit in 1990 gedaan met 4, 8, 16 en 64 verkeersgeluidstimuli en daarbij gekeken naar de effecten op slaapkwaliteit en stemming.

- *studies waarin meer dan 32 stimuli per nacht worden aangeboden*
  Studies waarbij de invloed van wegverkeersgeluid bestudeerd wordt hebben meestal te maken met een aantal stimuli per nacht dat ver boven de 32 uitkomt. De individuele geluidpieken volgen elkaar snel op of overlappen elkaar zelfs, zodat wegverkeersgeluid veelal een min of meer continu karakter zal hebben. Anders wordt het wanneer in het laboratorium pieken uit wegverkeersgeluid separaat worden aangeboden (al of niet met achtergrondgeluid). Er zijn echter weinig studies waarin dit is gebeurd met meer dan 32 stimuli.

8.2 Stimuli van gelijk geluidniveau

Öhrström et al. hebben in 1990 de effecten van 4, 8, 16 en 64 verkeersgeluidstimuli op subjectieve slaapkwaliteit en stemming vergeleken. De stimuli hadden een piekniveau van 50 of van 60 dB(A). Bij een piekniveau van 60 dB(A) nam de subjectieve slaapkwaliteit af naarmate het aantal stimuli groter werd. Ook tussen 16 en 64 stimuli trad geen afvlakking op. Bij een piekniveau van 50 dB(A) was er geen relatie tussen het aantal stimuli en de slaapkwaliteit. Dit is de enige beschikbare studie die op deze wijze is uitgevoerd met betrekking tot slaapkwaliteit.

Er is een aantal studies waarin de invloed van verschillende aantallen geluidstimuli op de gerapporteerde hinder is onderzocht (Fields, 1984; Labiale, 1983; Rice, 1977, Rylander et al., 1980; Rylander, 1982), dan wel geëvalueerd. Voor de volledigheid word ook aan deze studies aandacht besteed. Fields (1984) evalueerde de data van 14 grote survey-onderzoeken. Hierbij gaan de auteurs uit van het 'additief-logaritme model' waarin het aantal decibellen wordt berekend dat de hinderscore laat toenemen met dezelfde hoeveelheid als een tienvoudige toename van het aantal geluidgebeurtenissen. De belangrijkste conclusie is dat, hoewel er een aantal survey's is waarin de hinder afneemt als het aantal gebeurenissen toeneemt boven de 150 per dag, de beschikbare gegevens toch wijzen op een relatie tussen de toename van de hinder en een logaritmische toename in het aantal geluidgebeurtenissen.
In een onderzoek van Labiale (1983) naar de invloed van aantallen verkeersgeluidstimuli (varierend van 1 tot 30) op de hinder, bleek dat de hinder eerst sterk toeneemt met een toename in het aantal

gebeurtenissen per half uur, maar dat er voor het aantal van 30 gebeurtenissen per half uur een stabilisatie optreedt. Deze stabilisatie treedt bij geluidstimuli van 60 dB(A) L_{eq} op tussen vijf en dertig gebeurtenissen per half uur en voor geluidstimuli van 50 dB(A) L_{eq} tussen vijftien en dertig gebeurtenissen per half uur.
Rylander et al. (1980), Rylander (1982) en Rice (1977) zien met vliegtuiggeluidstimuli met een gemiddeld piekniveau van 85 dB(A) een stabilisatie optreden van de ondervonden hinder bij een toename van het aantal geluidgebeurtenissen boven vier per uur. Rice vindt weer een verdere toename van de hinder boven zestien geluidgebeurtenissen per uur.

8.3 Studies met meer dan 32 stimuli per nacht

In Griefahn et al. (1976) en Griefahn (1990) is bij het construeren van haar curve gebruik gemaakt van de data van studies waarin tot 32 geluidstimuli per nacht werden aangeboden. Deze data zijn in de figuren 7 en 8 (zie 5.4) aangevuld met data van studies waarin meer dan 32 geluidstimuli per nacht aangeboden werden (Eberhardt et al., 1987; Eberhardt, 1987; Ehrenstein et al., 1977; Vernet et al., 1983; Sumitsuji et al., 1980). Geluidstimuli afkomstig van wegverkeer en van vliegverkeer zijn afzonderlijk aangegeven.
Figuur 8 laat zien dat studies met hogere piekniveaus inderdaad een hogere waarschijnlijkheid tot ontwaken laten zien dan de studies met lagere piekniveaus. Er zijn vijf studies gevonden waarin expliciet de invloed is onderzocht van meer dan 32 geluidstimuli per nacht. In slechts één daarvan is een hoger piekniveau dan 70 dB(A) gebruikt.

De studies waarin meer dan 32 geluidstimuli per nacht zijn onderzocht geven een kleinere kans op ontwaken te zien dan verwacht zou worden als de relatie tussen het aantal geluidstimuli en de kans op ontwaken lineair zou zijn.

Aangezien het aantal studies dat expliciet meer dan 32 stimuli per nacht gebruikt zeer beperkt is en aangezien de spreiding in de data van de studies die tot 32 stimuli per nacht gebruiken zeer groot is, kan hier niet eenduidig uit geconcludeerd worden dat het aantal reacties minder wordt naarmate het aantal stimuli groter wordt. Wel is op logische wijze te beredeneren dat dit uiteindelijk zo zou moeten zijn aangezien de kans dat iemand al wakker was bij het optreden van een volgende stimulus steeds groter wordt naarmate het aantal stimuli toeneemt. Dit verschijnsel is uiteengezet in 5.4.

Er zijn ook studies die continu verkeersgeluid als stimulus gebruiken en waarbij geluidpieken optreden waarvan het aantal kan oplopen tot een paar honderd per nacht. Er is echter gebleken dat de invloed van continu verkeersgeluid op de slaap minder is dan de invloed van intermitterend geluid (zie hoofdstuk 5).

8.4 Meer dan 32 stimuli en gezondheid

In deze paragraaf wordt ingegaan op vraag h uit 1.5. Deze is als volgt geformuleerd:

> onder welke voorwaarden is het uit gezondheidsoogpunt verantwoord om gedurende een nacht meer dan 32 geluidgebeurtenissen toe te laten?

Uit het voorafgaande is het volgende duidelijk:

1. Om ontwaken te voorkomen mogen individuele geluidpieken niet boven 40 dB(A) uitkomen.
2. Wanneer men additioneel ontwaken door ander geluid wil voorkomen, wanneer men pieken boven 40 dB(A) toestaat, dan moet het piekniveau van het andere geluid onder 35 dB(A) blijven.
3. Wanneer er geluidgebeurtenissen met piekniveaus boven 40 dB(A) worden toegestaan, dan moeten er 'stille' intervallen tussen deze geluidgebeurtenissen worden aangehouden. In deze intervallen mogen piekniveaus van overig geluid (hetzij van vliegtuigen, hetzij van andere geluidbronnen) 35 dB(A) niet overschrijden. Hoe lang deze stille intervallen moeten zijn, is met empirisch onderzoek niet nagegaan.

Wel kan een minimaal vereiste intervallengte theoretisch worden benaderd. Hierbij gaan we uit van de volgende aannamen:

1. De nacht loopt, volgens de ontwerp-aanwijzing ex artikel 24 LVW, van 23 tot 6 uur en is dus zeven uur lang.
2. Een overvlucht (geluidgebeurtenis) waarbij een ontwaakreactie kan optreden (dus boven 40 dB(A)) is ongeveer een minuut lang hoorbaar. Soms iets korter, meestal langer, al naar gelang de afstand tot de ontvanger.
3. De ongestoorde, aaneengesloten slaaptijd moet, nadat men ingeslapen is, tenminste tien minuten bedragen.

4. De inslaaptijd na ontwaken, dus de tijd die men nodig heeft om in een volgend blok van ongestoorde, aaneengesloten slaap te geraken, duurt grosso modo van een tot vier minuten, maar is afhankelijk van vele factoren.

Uit 2, 3 en 4 volgt, dat er vier tot vijf overvluchten met piekniveaus boven 40 dB(A) in een uur passen. Gecombineerd met 1 betekent dit, dat er maximaal 28 à 36 geluidgebeurtenissen met piekniveaus boven 40 dB(A) per nacht toelaatbaar zouden zijn. Bij grotere aantallen zijn acute gezondheidseffecten niet uit te sluiten. Er wordt van uitgegaan dat de intervallen alle even lang zijn. In deze intervallen zijn slechts pieken lager dan 35 dB(A) toegestaan.

Bij dit alles zijn nog drie opmerkingen op hun plaats.

1. In de Griefahn-systematiek zal reeds bij geringere aantallen dan de hier genoemde zal de ergernis en stress bij de omwonenden zeker toenemen, hetgeen op de lange termijn een negatieve invloed kan hebben op de gezondheid. Het aantal van 28 à 36 passages met piekniveaus van circa 53 dB(A) moet in de Griefahn-systematiek worden gebruikt als grens voor het maximum toelaatbare risico.
2. De in de MER aangehouden nachtperiode sluit niet aan bij de slaapbehoefte van het overgrote deel van de bevolking. Wanneer er kort voor 23 uur en kort na 6 uur gevlogen zou worden met kortere
   tussenpozen en wellicht met lawaaiiger toestellen, dan zou dit betekenen dat er in die perioden zeer veel slaapverstoring te verwachten is.
3. Het isoleren van slaapkamers zodat geluidpieken de 55 dB(A) (gericht op het reduceren van ontwaakreacties tot tien procent) niet te boven gaan, zal slechts ten dele werken. Tulen et al. (1986) vonden immers dat isolatie zowel de pieken als het achtergrondgeluidniveau omlaag brengt, zodat de verhouding tussen piekniveau en achtergrond vrijwel gelijk blijft. En het is juist deze verhouding die een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van fysiologische reacties. De Jong, Knottnerus en Altena (1986) wezen er al op, dat in de zomer 80 tot 90 procent, en in de winter 60 tot 65 procent, van alle Nederlanders met open ramen slaapt. In gebieden met een hoge geluidbelasting, bijvoorbeeld langs Rijkswegen, is dit pencentage maar weinig lager. Het isolatiegebied rond de Luchthaven Maastricht, dat wordt begrensd door de Griefahn-contour die uitgaat van een situatie bij gesloten ramen (zie 1.3) zal dan ook leiden tot meer dan tien procent slaapverstoring.

8.5 Conclusie

Een eerste conclusie moet luiden, dat er met betrekking tot de vraag welke effecten meer dan 32 geluidgebeurtenissen hebben op de slaap in het algemeen en op ontwaakreacties in het bijzonder, onvoldoend onderzoek gedaan is om hier empirisch gestaafde uitspraken over te doen. De resultaten die er zijn, lijken erop te wijzen dat ontwaakreacties bij meer dan ca. 32 geluidgebeurtenissen geen goede maatstaf meer zijn voor slaapkwaliteit.

Daarnaast kan al redenerend de voorlopige conclusie worden getrokken dat meer dan 28 à 36 geluidgebeurtenissen per nacht alleen dan uit gezondheidsoogpunt volledig veilig zijn, als alle extra pieken onder 35 dB(A) blijven. Bij discussies over normstelling moet deze waarde gezien worden als streefwaarde. In de eindconclusie (hoofdstuk 10) zal worden aangegeven wat de effecten zijn wanneer wordt afgeweken van deze streefwaarde.

Een ander aspect dat de gezondheid (in ruime zin) zal blijven schaden zelfs wanneer er helemaal niet in de in de Aanwijzing als nacht aangemerkte periode gevlogen zou worden, is dat deze periode niet aansluit bij de slaapbehoefte van het overgrote deel van de bevolking. Dit betekent, dat er zonder nadere operationele maatregelen zeer veel hinder te verwachten is van vluchten in de late avond, maar vooral in de vroege morgen, wanneer de slaap minder diep is.

9. GELUIDGEVOELIGE GEBOUWEN

9.1 Inleiding

De laatste vraag waarop een antwoord wordt geformuleerd is vraag j uit 1.5. Deze vraag luidt:

> Welke mate van extra bescherming is wenselijk of nodig met betrekking tot de mensen in ziekenhuizen en andere - te specificeren - geluidgevoelige gebouwen?

Deze vraag is gesteld met het oog op de slaapkwaliteit. Centraal staat dus de nachtperiode. Daardoor spitst de vraag zich, naast de genoemde ziekenhuizen, alleen toe op bejaardentehuizen of, algemener, bejaardenwoningen. Daarbij zijn de volgende factoren van belang:

- *leeftijd*
  Naarmate men ouder wordt neemt de wekdrempel af. Daardoor worden er bij overigens gelijke omstandigheden over het algemeen meer ontwaakreacties gevonden bij ouderen dan bij jongeren. Ook het aantal veranderingen van slaapstadium lijkt meer te worden. Na gemiddeld ongeveer het zestigste levensjaar ondergaat het slaappatroon van ouderen structurele veranderingen.

- *zieken*
  Over de gevoeligheid van zieken in de slaap bestaan geen kwantitatieve onderzoeksgegevens. Wel is er in waaktoestand bij zieken een gemiddelde toename van de vegetatieve gevoeligheid gevonden van circa 11 dB(A) (Griefahn, 1982).

9.2 Leeftijd

Zepelin et al. (1984) toonde aan dat de wekdrempel afneemt met het ouder worden. In Hofman (1991) wordt een aantal studies waarin ouderen zijn onderzocht, besproken. In het kleine aantal artikelen dat rechtstreeks de reacties van een groep oudere mensen vergelijkt met een groep jonge volwassen, worden merendeels meer ontwaakreacties gevonden bij ouderen. Ook het aantal

veranderingen van slaapstadium lijkt meer te worden. Na gemiddeld ongeveer het zestigste levensjaar ondergaat het slaappatroon van ouderen structurele veranderingen.
Miles et al. (1980) hebben in een review van een groot aantal artikelen vele van deze veranderingen beschreven. Hoewel ook hier sprake is van grote individuele verschillen zijn de belangrijkste trends:

- een langere slaaplatentie;
- een kortere slaapduur;
- een groter aantal keren wakker;
- een vermeerdering van het aantal arousals zonder ontwaken;
- een vermindering van de hoeveelheid diepe slaap.

Griefahn (1989) beveelt voor ouderen een extra veiligheidsfactor aan van circa 5 (om precies te zijn 5,1) dB(A). Dit betekent dat de eerder genoemde grenzen van respectievelijk 40 en 35 dB(A) (piekniveau) voor ouderen verlaagd moeten worden tot respectievelijk 35 en 30 dB(A) als grenzen waaronder geen ontwaakreacties zullen voorkomen.

9.3 Zieken

Over de gevoeligheid van zieken in de slaap bestaan geen kwantitatieve onderzoeksgegevens. Wel is er in waaktoestand bij zieken een gemiddelde toename van de vegetatieve gevoeligheid gevonden van circa 11 dB(A) (Griefahn, 1982).
Daarom zou als uitgangspunt voor extra beschermende maatregelen in ziekenhuizen geluidwaarden genomen kunnen worden van respectievelijk 30 en 25 dB(A) in plaats van 40 en 35 dB(A) (Griefahn, 1989).
Overigens kwam uit belevingsonderzoek in ziekenhuizen (o.a. Van Dongen, 1981) naar voren dat patiënten in ziekenhuizen altijd meer last hebben van geluiden in het ziekenhuis zelf dan van geluiden die van buiten komen (interne transportsystemen, houten gezondheidsschoeisel e.d.). Daarom lijken ons dergelijke scherpe grenzen voor buitengeluid niet heel nuttig.

9.4 Conclusies

Omdat ouderen over het algemeen meer slaapproblemen kennen dan jongeren in de bloei van hun leven, zouden de eerder genoemde grenzen van respectievelijk 40 en 35 dB(A) (piekniveau)

verlaagd moeten worden tot respectievelijk 35 en 30 dB(A) als grenzen waaronder geen ontwaakreacties zullen voorkomen. Ook hier geldt dat deze waarden gezien moet worden als streefwaarden. In ziekenhuizen lijken ons extra maatregelen tegen buitengeluid overbodig.

10. EINDCONCLUSIE

10.1 Conclusies

Een 'geluidgebeurtenis' wordt, betrekking hebbend op de mens, gedefinieerd als elke geluidtrilling die in het menselijk organisme een (tijdelijke) fysiologische reactie teweeg brengt (hoofdstuk 3). De intensiteit van de geluidtrilling die hiervoor nodig is afhankelijk van de 'arousal' toestand van de waarnemer. Tijdens de slaap is de benodigde intensiteit hoger dan overdag. Hoewel binnen de slaap ook nog verschillen bestaan in de benodigde intensiteit, worden vanaf geluidniveaus van 40 dB(A) bij sommige mensen al ontwaakreacties gerapporteerd.

Wanneer het gaat om het (vrijwel) geheel achterwege blijven van ontwaakreacties kan dan ook gesteld worden dat maximale niveaus van individuele geluidgebeurtenissen niet boven de 40 dB(A) zouden mogen uitkomen (4.2).

Om ervoor te zorgen dat de geluidstimuli met een piekniveau beneden 40 dB(A) geen ontwaakreactie veroorzaken bij zeer gevoeligen als ze in de nabijheid optreden van een geluidstimulus met een hoger piekniveau, zullen ze beneden het niveau moeten blijven waarop veranderingen van het slaapstadium op kunnen treden. Dit niveau ligt 5 dB(A) lager dan het geluidniveau dat voor een ontwaakreactie nodig is, dat wil zeggen op 35 dB(A) (4.3).

Wanneer een heel scala aan mogelijke gezondheidseffecten kritisch wordt beschouwd, kan geconcludeerd worden dat, met geluidniveaus onder bovengenoemde drempels, de gezondheidsrisico's ten gevolge van nachtvluchten te verwaarlozen zijn en derhalve beneden een aanvaardbaar niveau blijven (4.4). Bij discussies over normstelling kunnen deze 'drempels' gebruikt worden als streefwaarden. In de ontwerp-aanwijzing ex artikel 24 LVW betreffende de uitbreiding van de Luchthaven Maastricht met een oost-westbaan, zijn zogenoemde Griefahn-contouren opgenomen. De Gw-curve geeft voor diverse combinaties van aantallen geluidgebeurtenissen en hun -niveaus de kans op 10% ontwaakreacties aan. Deze 10% komt steeds terug in de discussies over het stellen van grenswaarden voor nachtelijk vliegverkeer. Dit geldt eveneens voor de het piekniveau van 55 dB(A), hoewel deze waarde stamt uit een ouder rapport (De Jong et al, 1986) en niet aan Griefahn ontleend kan worden, omdat zij een curve en en niet slechts één niveau voorstaat. Op beide waarden wordt hier ingegaan.

Uit het voorliggende rapport (figuur 4) blijkt dat als men kijkt naar de kans op ontwaken van meer dan 10%, er geen studies worden gevonden met geluidniveaus van minder dan 50 dB(A) waarin een dergelijke ontwaakkans wordt gerapporteerd. Deze worden wel boven 50 dB(A) gevonden.

Gaat men dus uit van 10% als een absoluut maximaal aanvaardbaar percentage ontwaakreacties, dan zou men de grenswaarde bij 50 dB(A) (piekniveau in de slaapkamer) moeten leggen. Dit is wat stringenter dan volgens de 'methode Griefahn', die uitgaat van middeling van een aantal onderzoeken (waarvan sommige iets meer, andere iets minder ontwaakreacties vertonen). Eveneens uit dit rapport (figuur 5) blijkt dat het aantal ontwaakreacties onder invloed van geluid significant toeneemt boven 55 dB(A) (eveneens piekniveau in de slaapkamer). Tussen 50 en 55 dB(A) is er een tendens tot, maar nog geen significant verschil in, het aantal ontwaakreacties met en zonder geluid. Wanneer men voor de waarde van 55 dB(A) als grenswaarde opteert moet men rekening houden met tussen 10 en 15% ontwaakreacties. Dit klopt overigens redelijk met de Griefahn-curve, want die ligt bij meer dan ca. 6 geluidgebeurtenissen lager dan 55 dB(A).

Intermitterend geluid, waarvan in de nacht ook bij verkeerslawaai in de meeste gevallen sprake is doordat het verkeersaanbod veel geringer is dan overdag, heeft een sterker effect op de slaap dan continu geluid (5.2).

De continuïteit van de slaap is belangrijker voor het herstel van het menselijke organisme dan de totale slaaptijd of de hoeveelheid slaap, doorgebracht in de verschillende slaapstadia. Om zijn herstelfunctie goed te vervullen, moet de slaap gedurende perioden van minstens tien minuten ononderbroken zijn (5.3).

Met betrekking tot de vraag welke effecten meer dan 32 geluidgebeurtenissen hebben op de slaap in het algemeen en op ontwaakreacties in het bijzonder, is onvoldoende onderzoek gedaan om empirisch gestaafde uitspraken over te doen. De resultaten die er zijn, lijken erop te wijzen dat ontwaakreacties bij meer dan ca. 32 geluidgebeurtenissen geen goede maatstaf meer zijn voor slaapkwaliteit (5.4).

Daarnaast kan al redenerend de voorlopige conclusie worden getrokken dat meer dan 28 à 36 geluidgebeurtenissen per nacht alleen dan uit gezondheidsoogpunt volledig veilig zijn (aangezien er dan vrijwel geen enkele ontwaakreactie te verwachten is), als alle extra pieken onder 35 dB(A) blijven (8.4). De intervallen worden anders te kort voor een goed herstel van het organisme. 28 à 36 Geluidgebeurtenissen moeten, wanneer zij uitkomen boven 35 dB(A), derhalve worden beschouwd als grens voor het maximum toelaatbare risico.

De kans om te ontwaken is het kleinst in het begin van de nacht en wordt groter naarmate de nacht vordert. In een aantal studies wordt een lineair verband gevonden tussen de kans op ontwaken en de tijd van de nacht: een kleine kans op ontwaken in de eerste helft van de nacht en een grotere kans op ontwaken in de tweede helft. Maar ook wordt een curvilineair verband genoemd: de kleinste kans op ontwaken in het eerste, de grootste kans op ontwaken in het middelste en een iets kleinere kans in het laatste deel van de nacht. Blootstelling aan betekenisvol geluid zoals verkeers-

geluid in het begin van de nacht kan echter wel degelijk leiden tot verstoringen van de slaap. Zo is het mogelijk dat er in het gedeelte van de nacht waarin de blootstelling aan het geluid plaatsvindt, niet veel specifieke verstoringen van de slaap terug te vinden zijn, maar dat dit wel doorspeelt in verstoringen in de rest van de nacht. Belangrijk is in dit verband ook, dat de kans op ontwaken groter wordt als de geluidstimulus optreedt in de buurt van een vorig ontwaken of een lichaamsbeweging (6.3).

De met betrekking tot de luchtvaart gehanteerde nachtperiode (23-6 uur) sluit niet aan bij het gebruikelijke slaappatroon. Hierdoor zou het zelfs mogelijk kunnen zijn dat er schade aan de gezondheid (in ruime zin) optreedt, ook wanneer er in bovengenoemde periode helemaal niet gevlogen wordt. Er is immers (zonder nadere operationele maatregelen) zeer veel hinder te verwachten van vluchten in de late avond, maar vooral in de vroege morgen, wanneer de slaap minder diep is. Beleidsmatig is met name kennis over verschillen tussen werkdagen en dagen in het weekeinde van belang (6.2).

Uit het weinige, maar kwalitatief goede, onderzoek waarin is nagegaan of bevindingen met betrekking tot slaapverstoringen door nachtelijk, intermitterend, snelwegverkeer ook geldend zijn voor vliegverkeer, komen geen aspecten aan het licht die een dergelijke extrapolatie in de weg staan (7.2).

10.2 Betekenis voor de Griefahn-methodiek

De beleidsvraag, in het kader waarvan dit onderzoek is uitgevoerd, luidt: is het binnen de Griefahn-normstelling en binnen de voor de oostwestbaan vastgestelde Griefahnzone mogelijk per nacht meer dan 36 vliegbewegingen toe te laten? (1.4)

Deze vraagstelling was alleen te beantwoorden door een aantal punten in de beschouwing te betrekken die verwoord zijn in een tiental vragen. Deze uitwerking van de onderzoeksvraag vergde een analyse van de effecten van aantallen geluidgebeurtenissen en de niveaus daarvan op de absolute ontwaakdrempel. De conclusies uit deze analyse zijn in 10.1 gecomprimeerd weergegeven.

Thans worden de conclusies teruggekoppeld naar de Griefahn-methodiek. Deze methodiek geldt in elk geval tot 32 geluidgebeurtenissen met een piekniveau in de slaapkamer van circa 53 dB(A). De door Griefahn gebruikte gegevens gaan immers niet verder dan 32 geluidgebeurtenissen, zodat het onzeker is wat daarboven gebeurt.

Hoewel er geen empirisch onderzoek is dat op dit punt uitsluitsel geeft, kan men theoretisch benaderen dat de grens voor maximaal toelaatbaar (gezondheids)risico ligt bij 28 à 36 geluidgebeur-

tenissen met niveaus op de Griefahn-contour (53 dB(A)) per nacht. Extrapolatie van de Griefahn-curve naar grotere aantallen dan 36 geluidgebeurtenissen van deze niveaus is derhalve niet verantwoord.

De vraag is dan, of en zo ja onder welke condities er geluidgebeurtenissen door overvluchten met lagere piekniveaus kunnen worden toegestaan. Wanneer de piekniveaus in de slaapkamer onder 35 dB(A) blijven, kan een onbeperkt aantal extra vluchten toegestaan. Onder 35 dB(A) kan men niet spreken van een geluidgebeurtenis. Dit betekent dat in de directe omgeving van de oostwestbaan bij meer dan 36 vluchten het maximum van tien procent ontwaakreacties zal worden overschreden, omdat het aldaar onmogelijk zal zijn overvluchten te realiseren met een lager niveau dan 35 dB(A).

In dit kader moet nog worden opgemerkt dat volgens de in het MER voor de Luchthaven Maastricht gehanteerde berekeningsmethode voor Griefahn piekniveaus onder 53 dB(A) niet worden meegerekend bij het vaststellen van de geluidbelasting in 'Griefahn-eenheden'. Uit het bovenstaande moge duidelijk zijn dat het een misvatting is, te veronderstellen dat geluidgebeurtenissen onder 53 dB(A) geen rol zouden moeten spelen in de Griefahn-systematiek. Alle geluidgebeurtenissen boven 35 dB(A) kunnen in principe een rol spelen. Deze rol wordt groter naarmate het niveau stijgt.

Overigens zal het duidelijk zijn dat reeds bij geringere aantallen geluidgebeurtenissen dan 35, bij de niveaus op de Griefahn-curve, dus bij circa 53 dB(A), ergernis en stress bij de omwonenden zeker zal toenemen, hetgeen op de lange termijn een negatieve invloed kan hebben op de gezondheid. Dit werkt als volgt (zie hiervoor de Griefahn-Gw curve, in bijvoorbeeld De Jong (1989):

- bij één nachtelijke piek van 60,7 dB(A) treden circa 10 procent ontwaakreacties op. Dat wil in dit geval zeggen dat één op elke tien mensen wakker wordt. De hieraan gepaard gaande hinder is gering ('... ach, het is er maar één ...'). Zonder dat dit tot extra ontwaken of extra hinder zal leiden, kunnen hier nog 35 vluchten van 40 dB(A) (N.B. met gelijke intervallen van 10 minuten) en een onbeperkt aantal van 35 dB(A) of lager aan worden toegevoegd;
- bij zes nachtelijke pieken van 55 dB(A) treden eveneens circa 10 procent ontwaakreacties op. In totaal wordt minder dan tien procent van de mensen wakker, maar onder hen zijn er ook die tot zes keer toe wakker worden. De hinder wordt groter ('... daar heb je er alweer een ...'). Zonder dat dit tot extra ontwaken of extra hinder zal leiden, kunnen hier nog 30 vluchten van 40 dB(A) (N.B. met gelijke intervallen van 10 minuten) en een onbeperkt aantal van 35 dB(A) of lager aan worden toegevoegd;
- bij 36 nachtelijke pieken van 53 dB(A) treden nog steeds circa 10 procent ontwaakreacties op. Wellicht wordt slechts 5 of 6 procent van de mensen ooit wakker, maar onder hen zijn

er ook die 36 maal ontwaken. Bij hen is de hinder vrijwel onverdraaglijk ('... houdt die ellende dan nooit op? ...'). Er is slechts ruimte voor extra vluchten onder 35 dB(A).

Het is goed om zich van deze werking rekenschap te geven, omdat zich binnen dezelfde Griefahn-systematiek toch vele verschillende uitwerkingen kunnen voordoen, waarbij sommige tot veel meer protesten, acties e.d. aanleiding zullen geven dan andere. De werking is kwalitatief beschreven. Hoe de toename van de hinder kwantitatief samenhangt met toenemende aantallen ontwaakreacties in de range van 1 tot 36 is niet bekend. Hiervoor zou specifiek op deze vraag toegesneden onderzoek nodig zijn.

LITERATUUR

ABEY-WICKRAMA I, A'BROOK MF, GATTONI FEG, HERRIDGE CF. Mental hospital admissions and aircraft noise. Lancet 2;1969:1275-7.

ADVIESCOMMISSIE GELUIDHINDER DOOR VLIEGTUIGEN. Geluidhinder door vliegtuigen. Delft: 1967.

ALTENA K. Nachtelijk vliegtuiglawaai is een gevaar voor de volksgezondheid. Oldeholtpade: s.n. 1992.

ALTENA K, BIESIOT W, BREDERODE NE van, et al. Environmental noise and health, description of data, models and methods used and results of the epidemiological surveys. Leidschendam: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1988. (GA-DR-03-01).

ANDO Y, HATTORI H. Effects of intense noise during fetal life upon postnatal adaptability. J Acoust Soc Am 1970;47:1128-30.

ANDO Y, HATTORI H. Statistical studies on the effects of intense noise during human fetal life. J Sound Vibr 1973;27:101-10.

ANDO Y, HATTORI H. Effects of noise on human placental lactogen levels in maternal plasma. Br J Obstet Gynaecol 1977a;84:115-8.

ANDO Y, HATTORI H. Effects of noise on sleep and babies. J Acoust Soc Am 1977b;62:199-204.

ANDRUS WS, KERRIGAN ME, BIRD KT. Hearing in para-airport children. Aviat Space Environ Med 1975;46:740-2.

BABISCH W. Traffic noise as a risk factor for myocardial infarction. Berlijn: Workshop Noise and Disease, 1991.

BADER M. Residence under an airport landing pattern as a factor in teratism (letter). Arch Environ Health 1978;33:214.

BIRNIE SE, HALL FL, TAYLOR SM. Community Response to Noise from a General Aviation Airport. Noise Control Engineering 1980;15:(1):37-45.

BLINKOV SM, GLEZER LT. The human brain in figures and tables. New York: Plenum, 1968.

BONNET MH. Effects of sleep disruption on sleep, performance and mood. Sleep 1985;8:11-9.

BONNET MH. Auditory threshold during continuing sleep. Biol Psychol 22;1986:3-10.

BONNET MH, JOHNSON LC, WEBB WB. The reliability of arousal threshold during sleep. Psychophysiol 1978;15(5):412-6.

BONNET MH, MOORE SE. The threshold of sleep: perception of sleep as a function of time asleep and auditory threshold. Sleep 1982;5:267-76.

BRADLEY JS, JONAH BA. The effects of site selected variables on human responses to traffic noise, Part II: road type by socio-economic status by traffic noise level. J Sound Vibr
1979;67(3):395-407.

BRADLEY JS, JONAH BA. The effects of site selected variables on human responses to traffic noise, Part III: community size by socio-economic status by traffic noise level. J Sound Vibr 1979;67(3):409-23.

BRONZAFT A, McCARTHY D. The effects of elevated train noise on reading ability. Environ Behav 1975;7:517-27.

BURTON SA, HARSH JR, BADIA P. Cognitive activity in sleep and responsiveness to external stimuli. Sleep 1988;11:61-8.

CEDERLÖF R, JONSSON E, SÖRENSEN S. On the influence of attitudes to the source of annoyance reactions to noise: a field experiment. Nord Hyg Tidskr 1967;28(2):46-59.

COHEN S, EVANS GW, KRANTZ DS, STOKOLS D, KELLY S. Aircraft noise and children: longitudinal and cross-sectional evidence on adaptation to noise and the effectiveness of noise abatement. J Pers Soc Psychol 1981;40:331-45.

DIAMOND ID, WALKER JG, CRITCHLEY JB, RICHMOND GC. CEC joint study of community reponse to aircraft noise. Main report. Luxembourg: Commission of the European Countries, 1984.

DINISI J, MUZET A, WEBER LD. Cardiovascular responses to noise: effects of self-estimated sensitivity to noise. Sex, and the time of the day. J Sound Vibr 1987;114(2):271-9.

DOWNEY R, BONNET MH. Performance during frequent sleep disruption. Sleep 1987;10:354-63.

EBERHARDT J. The disturbance by road traffic noise of the sleep of prepubertal children as studied in the home. In: Eberhardt J. The influence on sleep of noise and vibrations caused by road traffic. Lund: Lund University, Institute of Environmental Health, 1987:131-51. dissertation.

EBERHARDT J. The influence on sleep of noise and vibrations caused by road traffic. Lund: Lund University, Institute of Environmental Health, 1987. dissertation.

EBERHARDT JL, STRÅLE LO, BERLIN MH. The influence of continuous and intermittent traffic noise on sleep. J Sound Vibr 1987;116:445-64.

EBERHARDT J, ÖHRSTRÖM E. When during the night is traffic noise most disturbing to sleep. In: Eberhardt J. The influence on sleep of noise and vibrations caused by road traffic. Lund: Lund University, Institute of Environmental Health, 1987:111-29. dissertation.

EDMONDS LD, LAYDE PM, ERICKSON JD. Airport noise and teratogenesis. Arch Environ Health 1979;34:243-74.

EHRENSTEIN W, SCHUSTER M, WEBER F. Verkehrslärm, Schlafverhalten und Biorhythmik. Zeitschr Arbeitswissenschaft 1977;31:176-81.

EHRENSTEIN W, MÜLLER-LIMMROTH W. Laboratory investigations into the effects of noise on human sleep. In: Congress on noise as a public health problem, Freiburg, report 10. Rockville Md: ASHA, 1980:433-41.

EIFF AW von, FRIEDRICH G, NEUS H. Traffic Noise, a factor in the pathogenesis of essential hypertension. Contr Nephrol 1982;30:82-6.

FIELDS JM. The effect of numbers of noise events on people's reactions to noise: an analysis of existing survey data. J Acoust Soc Am 1984;75:447-67.

FISCH L. Aircraft noise and hearing impairment in children. Br J Audiol 1985;15:231-40.

FRANÇOIS J. Répercussions du bruit de la circulation automobile sur la santé: evaluation et comparaison avec les bruits d'avions. In: Actes du 6e symposium Bruit et Vibrations, Avignon. Paris, Ministère de l'Environnement, 1986:22-7.

FRERICHS RR, BEEMAN BL, COULSON AH. Los Angeles airport noise and mortality: faulty analysis and public policy. Am J Public Health 1980;70:357-62.

GATTONI FEG, TARNOPOLSKY A. Aircraft noise and psychiatric morbidity. Psychol Med 1973;3:516-20.

GEZONDHEIDSRAAD: Commissie Slaapverstoring en Vliegtuiglawaai. Vliegtuiglawaai en slaap. Den Haag: Gezondheidsraad, 1991. Publikatie 1991/05.

GOODENOUGH D, LEWIS H, SHAPIRO A, JARET L, SLESER I. Dream reporting following abrupt and gradual awakenings from different types of sleep. J Personal Soc Psychol 1965;2:170-9.

GRANDJEAN, et al. Arbeitsgemeinschaft für sozio-psychologische Fluglärmuntersuchungen im Gebiet der drei Schweitzer Flughäfen Zürich, Genf, Basel. Bern: Eidgenössisches Luftamt, 1974.

GREEN KB, PASTERNACK BS, SHORE RE. Effects of aircraft noise on hearing ability of school-age children. Arch Environ Health 1982;37:284-9.

GRIEFAHN B. Grenzwerte vegetatiever Belastbarkeit. Zeitschr Lärmbekämpf 1982;29:131-6.

GRIEFAHN B. Gutachterliche Stellungnahme in Auftrag des Bayerischen Verwaltungsgerichtshofes zur Frage der Auswirkung von Fluglärm auf den Schlaf im Planfeststellungsverfahren für den Flughafen München II. Düsseldorf: 1989.

GRIEFAHN B. Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. Zeitschr Lärmbekämpf 1990;37:7-14.

GRIEFAHN B, JANSEN G, KLOSTERKÖTTER W. Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen : eine Auswertung von Schlaf-Literatur. Umweltbundesamt 1976;4:1-251.

HALL FL. Community response to noise: is all noise the same? J Acoust Soc Am 1984;76:1161-8.

HEMINGWAY JR, DICKINSON JP. Report on environmental noise in Ontario with reference to health related effects. Toronto: Toronto Ministry of the Environment, 1981.

HERRIDGE CF, CHIR B. Aircraft noise and mental hospital admission. Sound 1972;6:32-6.

HOFMAN WF, KUMAR A, DIEST R van. Noise and sleep in the home: effects on heart rate. In: Koella, W. Sleep 1980. 5th European Congress on Sleep Research, Amsterdam 1980, Basel: Karger, 1980:228-31.

HOFMAN WF. Vliegtuiglawaai, slaap en gezondheid. Achtergrondstudie in opdracht van de Gezondheidsraad. Den Haag: Gezondheidsraad, 1991. Rapport A91/1.

JANSEN G. Zur erheblichen Belästigung und Gefährdung durch Lärm. Z Lärmbekämpf 1986;33:2-7.

JENKINS L, TARNOPOLSKY A, HAND DJ. Psychiatric admissions and aircraft noise from London Airport: four-year, three-hospitals' study. Psychol Med 1981;11:765-82.

JONES FN, TAUSCHER J. Residence under an airport landing pattern as a factor in teratism. Arch Environ. Health 1978;33:10-2.

JONG RG de. Geluidhinder in Nederland: 10 jaar later. Leidschendam: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijk Ordening en Milieubeheer, 1989. GF-HR-51-01.

JONG RG de. Evaluatie wetenschappelijk onderzoek op het terrein van slaapverstoring als gevolg van luchtvaartlawaai. Leiden: NIPG-TNO, 1989. Publ.nr. 89.084.

JONG RG de. Extraaural health effects of aircraft noise. Workshop Noise and Disease, Berlijn 1991.

JONG RG de, KNOTTNERUS TR, ALTENA K. Nachtvluchten en hun invloed op slaap, gezondheid en gedrag. Leiden: NIPG-TNO, 1986.

KLEITMAN N. Sleep and wakefulness. Chicago: University of Chicago Press, 1963.

KNIPSCHILD P. Medische gevolgen van vliegtuiglawaai. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, 1976. Proefschrift.

KNIPSCHILD P, OUDSHOORN N. Medical effects of aircraft noise: drug survey. Int Arch Occup Environ Health 1977;40:197-200.

KNIPSCHILD P, MEIJER H, SALLÉ H. Aircraft noise and birth weight. Int Arch Occup Environ Health 1981;48:131-6.

KNULST WP. Een week tijd. Rijswijk: Sociaal en Cultureel Planbureau, 1977.

KNULST WP, SCHOONDERWOERD L. Waar blijft de tijd. Rijswijk: Sociaal en Cultureel Planbureau, 1983. Sociale en Culturele Studies nr. 4.

KUMAR A, TULEN JHM, HOFMAN WF, DIEST R van, JURRIENS AA. Does double glazing reduce traffic noise disturbance during sleep? In: Rossi G, ed. Noise as a Public Health Problem. Milano: Centro Ricerche e Studi Amplifon, 1983:939-50.

KUMAR A, TULEN JHM, HOFMAN WF. Event-related cardiac response to traffic noise stimuli during sleep in man. In: Orlebeke JF, Mulder G, Doornen LJP van. Psychophysiology of cardiovascular control, New York: Plenum, 1985:947-56.

LABIALE G. Laboratory study of the influence of noise levels and vehicle number on annoyance. J Sound Vibr 1983;90(3):361-71.

LAMBERT J, VALLET M, SIMONNET F. Patterns of behaviour in dwellings exposed to road traffic noise. J Sound Vibr 1984;92:159-72.

LANGDON J, BULLER B. Road traffic and disturbance to sleep. J Sound Vibr 1977;50:13-28.

LUKAS JS. Noise and sleep: a literature review and a proposed criterion for assessing effect. J Acoust Soc Am 1975;58:1232-42.

MASER A, SORENSEN P, KRYTER K. Effects of intrusive sound on classroom behavior: data from a successful lawsuit. San Francisco, paper presented at the Annual Meeting of the Western Psychological Association, 1978.

MCDONALD DG, SCHICHT WW, FRAZIER RE, SCHALLENBERG HD, EDWARDS DJ. Studies of information processing in sleep. Psychophysiol 1975;12:624-8.

MEECHAM WC, SHAW NA. Effects of jet noise on mortality rates. Br J Audiol 1979;13:77-80.

MEECHAM WC, SHAW NA. Jet plane noise effects on mortality rates. In: Proceedings Inter-noise 86, Cambridge, USA, 1986:1451-4.

MEECHAM WC, SMITH HG. Effects of jet aircraft noise on mental hospital admissions. Br J Audiol 1977;11:81-8.

MEIER HP, MÜLLER R. Tablettenkonsum als Reaktion auf Lärm. Soz Präventivmed 1975;20:57-63.

METZ B, MUZET A. Direct effects and interactions of increases in noise levels and ambient temperatures on sleep. In: Noise and sleep. Collection Recherche et l'Environnment, Vol. 3, Paris, La Documentation Française, 1977:81-160.

MIEDEMA HME. Response functions for environmental noise in residential areas. Leiden: NIPG-TNO, 1992. Publ.nr 92.021.

MILES LE, DEMENT WC. Sleep and aging. Sleep 1980;3:119-220.

MINISTERIE VAN VOLKSHUISVESTING, RUIMTELIJKE ORDENING EN MILIEUBEHEER. Omgaan met risico's. Bijlage bij Nationaal Milieubeleidsplan 1990-94. Tweede Kamer, vergaderjaar 1988-89, 21 137, nrs 1-2.

MOCH A. Le bruit à l'école primaire: son effet sur l'apprentissage de la lecture. Psychol Educ 1980;1:19-28.

MOCH A. Étude des effets du bruit à la suite d'une exposition prolongée sur certains aspects psychomoteurs, intellectuels et de personnalité des enfants: comparaison entre école insonorisée et non insonorisée. Trav Hum 1981;44:169-78.

MORAN SV, GUNN WJ, LOEB M. Annoyance by Aircraft Noise and Fear of Overflying Aircraft in Relation to Attitudes Toward the Environment and Community. J Auditory Res 1981;21:217-25.

MUZET A, EHRHART MJ. Modifications vegetatives entrainees par le bruit au cours du sommeil. Strasbourg, Lab. de Physiol. appliquee, Un. Louis Pasteur et C. d'etudes bioclimatiques du CNRS, 1980.

NEUSS H, RÜDDEL H, SCHULTE W. Traffic noise and hypertension: an epidemiological study on the role of subjective reactions. Int Arch Occup Environ Health 1983;51:223-9.

ÖHRSTRÖM E. Sleep disturbance, psycho-social and medical symptoms: a pilot survey among persons exposed to high levels of road traffic noise. J Sound Vibr 1989;133:117-28.

ÖHRSTRÖM E, BJÖRKMAN M. Sleep disturbance before and after traffic noise attenuation in an apartment building. J Acoust Soc Am 1983;73:173-91.

ÖHRSTRÖM E, RYLANDER R. Sleep disturbance by road traffic noise: a laboratory study on number of noise events. J Sound Vibr 1990;143:93-101.

OSADA Y, TSUNAHIMA S, YOSHIDA K, OGAWA S, OHUKUBO C. Effects of train and jet aircraft noise on sleep (JAP). Bull Inst Public Health 1972;2:133-8.

PACHECO Y, SERVILLAT M. Bruit et tentatives de suicide. In: Actes du 5e symposium Bruit et Vibrations, Aix-les-Bains. Paris: Ministère de l'Environnement, 1984:19-22.

RECHTSCHAFFEN A, KALES A, eds. Manual of standardized terminology techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Los Angeles: UCLA, Brain Information Service/ Brain Research Institute, 1968.

RELSTER E. Effects of traffic noise on psychical health. Copenhagen: National Danish Road Laboratory, 1981.

RICE CG. Investigation of the trade-off effects of aircraft noise and number. J Sound Vibr 1977;52:325-44.

RÖVEKAMP AJM. Invloed van lawaai op de bloedcirculatie en de ademhaling van de mens. Polytechnisch Tijdschrift/Geluid en trilling 1980;35(3):74-9.

RYLANDER R. Importance of the number of events and maximum noise level in evaluating annoyance. Soz-Praventivmed 1982;27:115-9.

RYLANDER R, BJORKMAN M, AHRILLIN U, SORENSEN S, BERGLUND K. Aircraft noise annoyance contours: importance of overflight frequency and noise level. J Sound Vibr 1980;69:583-95.

SALETU B, FREY R, GRÜBERGER G. Strassenlärm und Schlaf: Ganznachtsomnopolygraphisch, psychometrische und psychophysiologische Studien im Vergleich zu Normdaten. Wien Med Wochenschr 1989;139:257-63.

SCHELL LM, HODGES DC. Longitudinal study of growth status and airport noise exposure. Am J Phys Anthropol 1985;66:383-9.

SHAPIRO A, GOODENOUGH DR, GRYLER RB. Dream, recall as a function of method of awakening. Psychosom Med 1963;25:174-80.

SPRENG M. Risikofaktor Lärm: physiologische Aspekte. Therapiewoche 1984;34:3765-72.

SUMITSUJI N, NAN'NO H, KUWATA Y, OHTA Y. The effect of the noise due to the jet airplane to the human facial expression (EMG study), EEG change and their manual reponse. Electromyogr Clin Neurophysiol 1980;20:49-72.

TARNOPOLSKY A, WATKINS G, HAND DJ. Aircraft noise and mental health. I. Prevalence of individual symptoms. Psychol Med 1980;10:683-98.

TARNOPOLSKY A, CLARK C. Environmental noise and mental health. In: Freemen H, ed. Mental health and the environment. London: Churchill Livingstone, 1984:250-70.

TAYLOR SM, HALL F., BIRNIE SE. Effects of background levels on community response to aircraft noise. J Sound Vibr 1980;71:261-70.

TAYLOR SM, WILKINS PA. Health effects. In: Nelson PM, ed. Transportation noise reference book. London: Butterworths, 1987.

THIESSEN GJ. Disturbance of sleep by noise. J Acoust Soc Am 1978;64:216-22.

THIESSEN GJ, LAPOINTE AC. Effects of intermittent truck noise on percentage of deep sleep. J Acoust Soc Am 1978;64:1078-80.

THOMPSON SJ. Extraaural health effects of chronic noise exposure in humans. Workshop Noise and Disease, Berlijn 1991.

TULEN JHM, KUMAR A, JURRIËNS AA. Psychophysiological acoustics of indoor sound due to traffic noise during sleep. J Sound Vibr 1986;110:129-41.

VALLET M. Sleep disturbance. In: Nelson PM, ed. Transportation noise reference book. London: Butterworth, 1987.

VALLET M, FRANCOIS J. Evaluation physiologique et psychosociologique de l'effet du bruit d'avion sur le sommeil. Le Travail Humain 1982;45:155-68.

VALLET M, GAGNEUX JM, BLANCHET V, FAVRE B, LABIALE G. Long term sleep disturbance due to traffic noise. J Sound Vibr 1983;90:173-91.

VALLET M, GAGNEUX JM, SIMMONET F. Effects of aircraft noise on sleep: an in situ experience. In: Tobias JV, Jansen G, Ward WD, eds. Proc. 3rd Int. Congress on Noise as a Public Health Problem. Rockville MD: ASHA 10, 1980:391-6.

VALLET M, CHAMPELOVIER P, CHARLOT B. La consommation de somnifères et de médicaments destinés aux troubles cardiovasculaires, par les riverains de grandes routes et d'aéroports. Méd Hyg 1986;44 :3150-3.

VALLET M, LETISSERAND D, OLIVIER D, LAURENS JF, CLAIRET JF. Effects of road traffic noise on the rate of heart beat during sleep. In: Berglund B, Berglund U, Karlsson J, Lindvall T, eds. Proc. 5th Int. Congress on Noise as a Public Health Problem. Stockholm: Swedish Council for Building Research, 1990.

VERDUN DI CANTOGNO L, DALLERBA R, TEAGNO PS, COCOLA L. Urban Traffic Noise, Cardiocirculatory Activity and Coronary Risk Factors. Acta Otolaryng 1976;(suppl 339):S55-63.

VERNET M, SIMMONET F. Comparison of the impact of railway noise and road traffic noise on sleep. In: Rossi G. Noise as a public health problem. Proc. IVth Int. Congress, Milan: Ediz. techniche a cura del Centro Ricerche e Studi Amplifon, 1983:1023-6.

VISSER P, HOFMAN WF, eds. Slapen en dromen, theorie en klinische praktijk. Alphen aan de Rijn: Samson Stafleu, 1986.

WATKINS G, TARNOPOLSKY A, JENKINS LM. Aircraft Noise and Mental Health: II. Use of Medicines and Health Care Services. Psych Med 1981;11:155-68.

WATSON R, RECHTSCHAFFEN A. Auditory awakening thresholds and dream recall in NREM sleep. Perct Mot Skills 1969;29:635-44.

WEHRLI B, et al. Auswirkungen des Strassenverkehrslärm in der Nacht. Kampf dem Lärm 1978;25:138-49.

WILLS N, TRINDER J. Influence of response criterion on the awakening threshholds of sleep stages. Waking and Sleeping 1978;2:57-62.

WILKINSON RT, CAMPBELL KB. Effects of traffic noise on quality of sleep: assessment by EEG, subjective report, or performance the next day. J Acoust Soc Am 1984;75:468-75

ZEPELIN H, MCDONALD CS, ZAMMIT GK. Effect of age on auditory awakening thresholds. J Gerontology 1984;39:294-300.

ZIMMERMAN WB. Sleep mentation and auditory awakening threshold. Psychophysiol 1970;6:540-9.

Reprografie: NIPG-TNO
Projectnummer: 5225