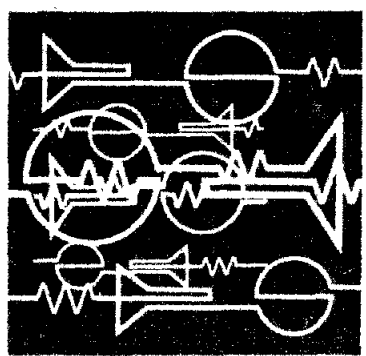


VL-DR-24-02

**Slaapverstoring door
lawaai**

onderzoekprogramma
interdepartementale
commissie
geluidhinder



**VERKEERS
LAWAAI**



614-741-24

614-741-08

614-741-03

VL-DR-24-02

- Slaapverstoring door lawaai.
- Schlafstörung durch lärm.
- Disturbance of sleep by noise.
- Perturbations du sommeil dues au bruit.

Ministerie VROM
 CS / Dienst Documentaire Informatie
 Bibliotheek VROM / INOV
 Postbus 20030
 Postbus 20030 BZ DEN HAAG
 Oorlogsruimsingel 90
 Dienst: *dam*
 Signatuur: *99B110-VL-DR*

24-02/09



**INTERDEPARTEMENTALE
COMMISSIE
GELUIDHINDER**

BIBLIOTHEEK
 Ministerie VROM
 Dokter van der Stamstr. 2
 2265 BC LEIDSCHENDAM
 SIGN. : 99L1-VL-DR-24-02
 Tijd.HB-SIGN.:
 Bestelnr. :
 Invoernr. :

~~BIBLIOTHEEK
 Ministerie van
 Volksgezondheid
 en Milieuhygiëne~~

519384

1 Rapport nr. VL-DR-24-02	7 Archief nr.	
2 Sub-titel Rapport Slaapverstoring door lawaai	8 Datum Publicatie maart 1981	
	9 Rapport nr. Instituut B 422	
3 Schrijver(s) ir. A. A. Jurriëns	10 Tijdschrift nr.	
4 Uitvoerend Instituut, Naam I Adres Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Delft	11 Opdracht nr. M-24	
	12 Rapporttype en periode Deelrapport 1978-1980*	
5 Opdrachtgever(s) Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne		
6 Titel Onderzoekproject Onderbouwing grenswaarden voor andere geluidsgevoelige bestemmingen dan woningen.		
13 Samenvatting <p>Dit rapport geeft, uit de beschikbare en in dit kader bruikbare literatuur, gegevens en conclusies uit fysiologisch, epidemiologisch en belevingsonderzoek naar de invloed van wegverkeers-, railverkeers-, vliegtuig- en industrielaawaai op de slaap.</p> <p>Met als criterium het doorgaans ontbreken van ernstige slaapstoring door lawaai wordt een etmaalwaarde van het equivalent geluidsniveau van 50 dB(A) gezien als het maximaal toe te laten geluidsniveau buiten. Dit betekent voor de nachtperiode een equivalent geluidsniveau buiten van ten hoogste 40 dB(A). Aangenomen dat in de onderbouwende onderzoeken de ramen op ventilatiestand hebben gestaan betekent dit minimaal 10 dB(A) gevelisolatie ofwel een maximaal toelaatbaar equivalent geluidsniveau binnen van 30 dB(A). Voor het piekniveau geldt, zo blijkt uit fysiologisch onderzoek, dat vanaf 60 dB(A) rekening moet worden gehouden met het optreden van ontwaakreacties.</p> <p>Wat slaapverstoring betreft is vooralsnog niet aangetoond dat een bepaalde lawaaibron verstorender is dan andere. Op grond van fysiologisch onderzoek lijken oudere mensen gevoeliger te zijn voor slaapverstoring. Uit op bejaarden gericht belevingsonderzoek, in het kader van dit project uitgevoerd, blijkt deze grotere geluidsgevoeligheid echter niet.</p> <p>Ook is vooralsnog niet aangetoond dat lichamelijk of psychisch minder gezonde mensen gevoeliger zijn voor slaapverstoring door lawaai.</p>		
14 Begeleidingscommissie ir. J. C. Heemrood Min. van V&M ir. W. Schoonderbeek Min. van V&M drs. R. A. Braakenburg van Backum Min. van V&W ing. G. D. Westendorp Rijkswaterstaat Lt. Kol. ir. M. H. Knoch Kon. Luchtmacht dhr. J. M. van den Honert Min. van O&W ing. W. van der Boor Min. van CRM	15 Bijbehorende Rapporten VL-HR-24-01 VL-DR-24-03 t/m 09	
	16 Aantal blz. 42	17 Prijs fl. 10,-

Voorwoord

Bij het formuleren van waarden voor de maximaal toelaatbare geluidsniveau's is inzicht noodzakelijk in de effecten die geluid kan hebben.

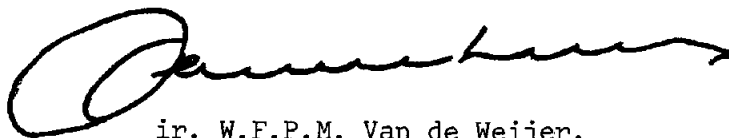
Een van deze effecten is de verstoring van het rusten en slapen. Het ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne heeft daarom het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek verzocht een rapport samen te stellen over de beschikbare gegevens over slaapverstoring door lawaai, en daarbij speciale aandacht te besteden aan de geluidsgevoelige groepen.

In het kader van dit project is ook onderzoek verricht met betrekking tot de onderwerpen:

spraakverstaanbaarheid, geluidhinder in ziekenhuizen, geluidhinder in scholen, geluidhinder bij bejaarden, activiteiten bij inrichtingen voor de intramurale gezondheidszorg en akoestische aspecten van geluidsgevoelige bestemmingen.

Een samenvatting van deze onderzoeken wordt gegeven in het hoofd-rapport dat zal verschijnen onder nummer VL-HR-24-01.

De voorzitter van de ICG-
subcommissie Verkeerslawaai,



ir. W.F.P.M. Van de Weijer.

Titel: "Schlafstörung durch Lärm"

Zusammenfassung

Dieser Bericht gibt, aus der zur Vergütung stehenden und in diesem Rahmen brauchbaren Literatur, Angaben und Schlussfolgerungen aus physiologischer, epidemiologischer und Erlebensuntersuchung über den Einfluss von Strassenverkehrs-, Schienenverkehrs-, Flugzeug- und Industrielärm auf den Schlaf.

Mit als Kriterium, dass von wirklicher Schlafstörung durch Lärm gewöhnlich nicht die Rede ist, wird ein Vierundzwanzigstudenwert des äquivalenten Geräuschpegels von 50 dB(A) als der höchstzulässige Geräuschpegel ausserhalb gesehen. Das bedeutet für die Nachtperiode einen äquivalenten Geräuschpegel ausserhalb von höchstens 40 dB(A).

Vorausgesetzt, dass in den unterbauenden Untersuchungen die Fenster auf die Ventilationsstand gestanden haben, bedeutet dies zumindest eine Fassadenisolation von 10 dB(A) oder einen höchstzulässigen äquivalenten Geräuschpegel innerhalb von 30 dB(A).

Für den Spitzenpegel gilt, wie aus physiologischer Untersuchung hervorgeht, dass von 60 dB(A) an mit dem Auftreten von Erwachensreaktionen gerechnet werden muss.

Was Schlafstörung betrifft, ist fürs erste noch nicht bewiesen worden, dass eine bestimmte Lärmquelle störender als andere ist.

Auf Grund physiologischer Untersuchung scheint es, dass ältere Menschen für Schlafstörung empfindlicher sind. Aus auf bejahrte Menschen gerichteter Erlebensuntersuchung, durchgeführt im Rahmen dieses Projektes, geht diese grössere Geräuschempfindlichkeit jedoch nicht hervor.

Auch ist fürs erste nicht bewiesen worden, dass körperlich oder physisch weniger gesunde Menschen für Schlafstörung durch Lärm empfindlicher sind.

Title: "Disturbance of sleep by noise"

Abstract

The report gives data and conclusions obtained from the published material that is available and appropriate to the issue on physiological and epidemiological research and personal observation regarding the effects that road traffic, railway, aircraft and industrial noise can have on sleep.

A 24-hour value of the equivalent noise level of 50 dB(A) is regarded as the maximum permissible external noise level if the fact that generally no disturbance of sleep occurs is taken as a criterion. This implies that at night the external equivalent noise level should not exceed 40 dB(A). Assuming that during supporting research the windows were left open for ventilation this implies wall insulation of at least 10 dB(A) or in other words a maximum permissible internal equivalent noise level of 30 dB(A). As regards peak levels, physiological research shows that subjects may wake at levels above 60 dB(A).

It has not yet been shown whether certain sources are worse than others in disturbing sleep. Physiological research shows that older people tend to be more susceptible to disturbances caused by noise than younger people. However, investigations with elderly people conducted as a part of this project did not show any heightened susceptibility. Nor has it been shown to date that people with physical or mental complaints or illnesses are more susceptible to loss of sleep caused by noise.

Titre: "Perturbations du sommeil dues au bruit"

Résumé

Le rapport fournit des données et des conclusions - extraites d'ouvrages disponibles et exploitables en la matière - concernant des études physiologiques et épidémiologiques et des observations personnelles sur les effets que le bruit de la circulation routière, ferroviaire et aérienne ainsi que le bruit d'origine industrielle peut avoir sur le sommeil.

Si l'on prend comme critère l'absence générale de perturbations graves du sommeil dues au bruit, une valeur de 50 dB(A), mesurée sur vingt-quatre heures, du niveau sonore équivalent est considérée comme le niveau sonore maximal admissible à l'extérieur. Cela implique, pour la période nocturne, un niveau sonore équivalent maximal de 40 dB(A) à l'extérieur. En admettant que lors des études sur le terrain, les fenêtres étaient ouvertes pour la ventilation, on peut en déduire que l'isolation de la façade est d'au moins 10 dB(A), soit un niveau sonore équivalent maximal admissible de 30 dB(A) à l'intérieur. Pour le niveau de pointe, des études physiologiques ont permis de constater que des réactions de réveil surviennent à partir de 60 dB(A).

Il n'a pas pu être démontré que telle source de bruit était plus perturbante que telle autre.

Des études physiologiques ont montré que les personnes âgées sont plus sensibles au bruit pendant leur sommeil. Cependant, une enquête menée parmi les personnes âgées, dans le cadre de cette étude, a démenti cette constatation. Il n'a pas non plus été démontré que les personnes ayant une santé physique ou mentale déficiente sont plus sensibles au bruit durant leur sommeil.

INTRODUKTIE

De Wet geluidhinder die op 1 februari 1980 in werking is getreden, stelt in het belang van de bescherming van de volksgezondheid regels om geluidhinder te voorkomen of te beperken.

De wet onderscheidt hierbij drie categorieën geluidbeperkende maatregelen, te weten:

- maatregelen bij de bron
- maatregelen in het gebied tussen de bron en de ontvanger
- afscherming van de ontvanger

De wetgever verstaat onder geluid: de met het menselijk oor waarneembare luchtrillingen. Onder geluidhinder verstaat de wet: gevaar, schade of hinder als gevolg van het geluid.

De wet wordt nader ingevuld door een aantal ministeriële beschikkingen en Algemene Maatregelen van Bestuur (A.M.v.B.), onder andere voor de maximaal toelaatbare geluidbelasting van andere geluidgevoelige bestemmingen dan woningen, zoals scholen, ziekenhuizen en bejaardenoorden.

Het onderbouwend onderzoek voor deze maatregelen wordt gecoördineerd door de Interdepartementale Commissie Geluidhinder (ICG). Deze heeft een groot aantal onderzoekprojecten geëntameerd, waarvan de technische inhoud besproken wordt in een begeleidings commissie. Het eigenlijke onderzoek wordt in de meeste gevallen door een onderzoekinstituut of door een adviesbureau uitgevoerd. Bij het hier te rapporteren onderzoek is, gezien de veelheid van onderwerpen, echter gekozen voor een werkgroep waarbinnen het onderzoek wordt verricht en die daarna rapporteert aan de begeleidings commissie.

De werkgroep is samengesteld uit medewerkers van:

Het ministerie van Volksgezondheid & Milieuhygiëne

- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| ir. J.C. Heemrood | - Voorzitter |
| Sector Geluid | |
| ir. W. Schoonderbeek | - Secretaris/projectcoördinator |
| Sector Geluid | |

Het Staatstoezicht op de Volksgezondheid

- | | |
|---|--|
| mevr. ir. V. van Nederveen | |
| Geneeskundige Hoofdinspectie van de Geestelijke Volksgezondheid | |
| dhr. F. Wafelbakker, arts | |
| Geneeskundige Hoofdinspectie van de Volksgezondheid | |
| dhr. K. Duiker | |
| Geneeskundige Inspectie Friesland | |

Het ministerie van Onderwijs & Wetenschappen

- | | |
|---|--|
| dhr. A. Hillen | |
| Bouwkundige Hoofdinspectie Lager en Kleuter Onderwijs | |
| Ing. J. van Zon | |
| Direktie Bouwzaken Onderwijs | |

Het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO

drs. J.E.F. van Dongen
Sectie Sociale Wetenschappen
ir. A.A. Jurriëns
Afdeling Geluid, Licht en Binnenklimaat

Het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

prof. dr. ir. R. Plomp
dr. ir. T. Houtgast

De Technische Fysische Dienst TNO - TH

ir. L.C.J. van Luxemburg

Het Nationaal Ziekenhuisinstituut

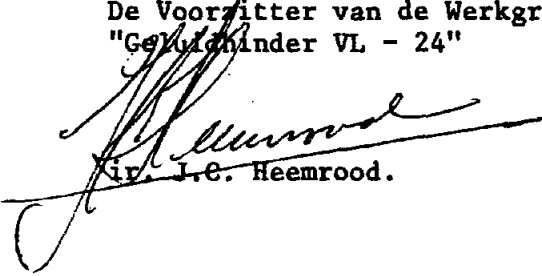
ir. W. van den Ban

De Schoolartsdienst Waterland

mevr. R.R.R. Huysman-Rubingh, jeugdarts

De Werkgroep werd belast met de taak gegevens te verzamelen ter onderbouwing van de Algemene Maatregel van Bestuur in het kader van de Wet geluidhinder ter zake van geluidhinder bij onderwijsinstellingen, inrichtingen voor de intramurale gezondheidszorg en de bejaardenhuisvesting. Vanwege het karakter van de Wet geluidhinder heeft de werkgroep zijn aandacht voornamelijk gericht op geluidhinder ten gevolge van externe geluidbronnen, dat wil zeggen ten gevolge van geluiden afkomstig van weg-, rail- en luchtvaartverkeer en van de industrie. Toch kunnen ook bronnen binnen de gebouwen van de genoemde bestemmingen aanleiding zijn tot geluidhinder. De geluidhinder van deze bronnen is echter slechts beperkt behandeld.

De Voorzitter van de Werkgroep
"Geluidhinder VL - 24"


ir. J.C. Heemrood.

SLAAPVERSTORING DOOR LAWAAI

Deelrapport ICG-project VL-24

Door : Ir. A.A. Jurriëns

Rapport B 422, september 1979.

Afdeling Geluid, Licht en Binnenklimaat

Projectnummer 2.1.09 (code: 020010257)

SAMENVATTING

Dit rapport geeft, uit beschikbare en in dit kader bruikbare literatuur, gegevens en conclusies uit fysiologisch, epidemiologisch en belevingsonderzoek naar de invloed van wegverkeers-, railverkeers-, vliegtuig- en industrielawaai op de slaap.

Op grond hiervan wordt getracht een uitspraak te doen ten aanzien van grenswaarden, die uit een oogpunt van slaapverstoring of, algemener gesteld, akoestische kwaliteit gekozen zouden moeten worden voor de toe te laten geluidbelasting 's nachts.

Voor het equivalent geluidniveau, L_{eq} , de in Nederland toegepaste beoordelingsmaatstaf voor de geluidbelasting, is een dergelijke kwantitatieve uitspraak vooralsnog alleen mogelijk op grond van resultaten uit belevingsonderzoek.

Met als criterium het doorgaans ontbreken van ernstige slaapverstoring door lawaai wordt een etmaalwaarde van het equivalent geluidniveau van 50 dB(A) gezien als het maximaal toe te laten geluidniveau buiten. Dit betekent voor de nachtperiode (23.00 - 07.00 uur) een equivalent geluidniveau buiten van ten hoogste 40 dB(A). Aangenomen dat in de onderbouwende onderzoeken de ramen in ventilatiestand hebben gestaan betekent dit minimaal 10 dB(A) geluidisolatie ofwel een maximaal toelaatbaar equivalent geluidniveau binnen van 30 dB(A). Bij slapen overdag kan van hetzelfde niveau worden uitgegaan, al verdient het realiseren van een nog lager niveau de voorkeur.

Voor L_{max} geldt, zo blijkt uit fysiologisch onderzoek, dat vanaf 60 dB(A) rekening moet worden gehouden met het optreden van ontwaakreacties. Mede in verband daarmee is nadere bestudering van de bruikbaarheid van het equivalent geluidniveau als beoordelingsmaatstaf voor de nachtelijke periode aan te bevelen.

Geconcludeerd wordt voorts dat, wat slaapverstoring betreft, vooralsnog niet is aangetoond dat een bepaalde lawaaibron verstorender is dan andere. Ook is vooralsnog niet aangetoond dat lichamelijk of psychisch minder gezonde mensen gevoeliger zijn voor slaapverstoring. Wel lijken, op grond van fysiologisch onderzoek, bejaarden gevoeliger voor slaapverstoring te zijn en lijkt het om deze reden aan te bevelen voor deze bevolkingsgroep 's nachts een lager geluidniveau toe te laten. Uit op bejaarden gericht belevingsonderzoek in het kader van dit project blijkt deze grotere gevoeligheid echter niet.

I N H O U D

	<u>Blz.:</u>
1. INLEIDING	1
2. FYSIOLOGISCHE EFFEKTEN	2
2.1 Fysiologie van de slaap	2
2.2 Het constateren van effecten	6
2.3 Gevonden effecten	12
2.4 Discussie en samenvattende conclusies	21
3. GEGEVENS UIT EPIDEMIOLOGISCH ONDERZOEK	24
4. GEGEVENS UIT BELEVINGSONDERZOEK	25
4.1 Bevindingen	25
4.2 Discussie en conclusie	31
5. EINDCONCLUSIES	33
 Literatuur	 34
 Bijlage	 37

B 422

IMG/TNO/afd. GLB

september 1979

Ju/adv

1. INLEIDING

Groei van bevolking en welvaart en daarmee samenhangende ontwikkelingen in ruimtelijke ordening hebben bij mensen een nog steeds toenemende behoefte, wens of noodzaak, om zich te verplaatsen doen ontstaan. Daardoor ondervinden steeds meer mensen hinder van het lawaai, dat door deze middelen van vervoer wordt voortgebracht. Belangrijke bronnen van lawaaihinder zijn wegverkeer en luchtverkeer. Ook toenemende industrialisatie heeft geleid tot bronnen van geluidhinder. Leidt die hinder tot klachten dan is hinder van lawaai tijdens de slaap een veel voorkomend en nadrukkelijk onderdeel van die klachten.

Hoewel de discussies over de betekenis van de slaap nog gaande zijn, wordt de slaap in het algemeen gezien als een herstelproces en voor de mens van wezenlijk belang om in zijn omgeving naar behoren te kunnen functioneren. In dat licht is een goede slaap of slaapkwaliteit een voorwaarde voor het handhaven van een goede gezondheid. Klachten over slaapverstoring door lawaai moeten dan ook als een bedreiging van de gezondheid worden gezien en derhalve zeer ernstig worden opgenomen. Onderzoek naar het verband tussen de mate van beïnvloeding en de geluidbelasting is dan ook gewenst en krijgt steeds meer aandacht.

Als eerste, meest voor de hand liggende mogelijkheid tot onderzoek kan de omvang van de subjektieve reacties, hier dus de hinder ten gevolge van lawaai tijdens de slaap, worden gepeild als functie van een maat voor de geluidbelasting. Naast deze wat men zou kunnen noemen "subjektieve" benadering door middel van enquêtes, waarbij slaapverstoring een vorm van specifieke hinder wordt genoemd, bestaat er behoefte aan onderzoek, waarbij andere uitingen worden gemeten, en wat een "objectieve" benadering zou kunnen heten. Hierbij wordt veel aandacht besteed aan de bestudering van fysiologische effecten en de mogelijke schadelijkheid daarvan voor het welbevinden. Een andere "objectieve" aanpak is bijvoorbeeld het bestuderen van het verband tussen geluidbelasting en het gebruik van slaapmiddelen met behulp van gegevens uit

epidemiologisch onderzoek.

In dit rapport worden die conclusies uit onderzoeken geïnventariseerd en geëvalueerd, die kunnen bijdragen aan de onderbouwing van die grenswaarden, die uit een oogpunt van akoestische kwaliteit gekozen zouden moeten worden voor de toe te laten geluidbelasting tijdens de slaap.

Omdat die onderzoeken veelal het slapen 's nachts betreffen, gelden uitspraken met name de nachtelijke slaap en de toe te laten geluidbelasting 's nachts. Voor zover mogelijk wordt het slapen overdag in de beschouwingen betrokken. Achtereenvolgens komen aan de orde : fysiologisch onderzoek, epidemiologisch onderzoek en belevingsonderzoek. Daarbij is in belangrijke mate uitgegaan van uitkomsten van reeds bestaande overzichten van onderzoeken, waar nuttig geacht aangevuld met andere bijdragen, met name uit Nederlands onderzoek.

Aan twee groepen mensen is, voor zover daartoe gegevens voorhanden waren, bijzondere aandacht geschonken, namelijk bejaarden en zieken.

Ook is nagegaan of voor de verschillende bronnen wellicht ook verschillende conclusies ten aanzien van grenswaarden mbeten worden getrokken. Om dit te kunnen doen moeten de maatstaven voor de beoordeling van de geluidbelasting van de meest voorkomende bronnen, te weten wegverkeer, vliegtuigen, treinen en industrie, te vergelijken zijn. De in Nederland toegepaste of toe te passen maatstaven voor de beoordeling van de geluidbelasting zijn het equivalent geluidniveau L_{eq} in dB(A) voor wegverkeerslawaai, railverkeerslawaai en industrielawaai en de Kosten-eenheid (KE) voor vliegtuiglawaai. Van belang is daarbij de periode, waarover de geluidbelasting wordt bepaald. Voor de eerste drie lawaaisoorten wordt de geluidbelasting over nachtperiodes afzonderlijk bepaald en in de bepaling van de zo geheten etmaalwaarde gewogen. Voor vliegtuiglawaai wordt de geluidbelasting bepaald per jaar of eventueel per etmaal, waarbij nachtvluchten extra meetellen. Een omrekening van de geluidbelasting in KE naar de etmaalwaarde van L_{eq} wordt gegeven.

2. FYSIOLOGISCHE EFFEKTEN

2.1 Fysiologie van de slaap

Om in zijn omgeving te kunnen functioneren en datgene te doen, dat noodzakelijk is voor zijn bestaan, beschikt het menselijk organisme over organen, die functies als spijsvertering, ademhaling, bloedsomloop en stofwisseling verzorgen. Dergelijke organen en functies heten vegetatief, dat wil zeggen eigen aan de noodzakelijke verrichtingen van het organisme,

en worden geregeld door het vegetatief zenuwstelsel. De slaap wordt nu veelal beschouwd als een reactie van het organisme op vermoeidheid van deze vegetatieve organen en wordt dan ook wel een vegetatieve gedrags-toestand genoemd [1]. Als bewijs dat de slaap voor een behoorlijk funk-tioneren een noodzakelijk herstelproces is, wordt aangevoerd dat, wan-neer een mens gedurende langere tijd volledig van slaap wordt beroofd, er toenemende lichamelijke en geestelijke ontreddeering optreedt.

Nu is slapen geen eenduidige gedragstoestand. De slaap wordt diep en minder diep, rustig of onrustig genoemd. Evenzo kent het tegenoverge-stelde begrip, waken, schakeringen van ontspannen tot opgewonden. Algemeen wordt als hypothese aanvaard, dat het gedrag van het orga-nisme ten opzichte van zijn omgeving wordt bepaald door de aktiviteit (het excitatieniveau) van de cellen van de hersenschors (cortex cere-bralis). In de cortex komt alle interne en externe informatie samen en vindt interpretatie en beslissing plaats. De verschillen in corticale aktiviteit, tot uiting komend in meetbare resulterende elektrische po-tentiaalverschillen tussen delen van de hersenschors, hebben te maken met het ritme van de veranderingen, er zijn snelle en langzame ver-schijnselen. Volgens genoemde hypothese staat verder het excitatieni-veau van de corticale cellen onder invloed van twee elkaar wederkerig remmende systemen, een slaapsysteem en een waaksysteem, beide gelegen in de hersenstam, respectievelijk voornamelijk in de tussenhersenen (diëncephalon) en in de formatio reticularis, een celstructuur door de gehele hersenstam. De gedragsnuance wordt bepaald door de mate van dominantie van een van beide systemen, wat geschiedt door het zenden van remmende impulsen naar het andere systeem.

Slaap- en waaksysteem zijn, behalve met elkaar, ook nauw verweven met de aktiviteiten van het autonoom of vegetatief zenuwstelsel; de slaap werd reeds gekarakteriseerd als een vegetatieve gedragstoestand. Ook de funktionele en anatomische opbouw lijkt sterk op die van het vege-tatief zenuwstelsel. Dit vegetatief zenuwstelsel bestaat uit twee ge-deeltes of werkingsgebieden door het gehele organisme, dat van de ner-vus sympathicus en dat van de nervus parasymphicus. Deze hebben in hoofdzaak een tegengestelde werking en remmen elkaar wederzijds, even-als slaap- en waaksysteem doen. De sympathische aktiviteit is gericht op een aanpassing aan verhoogde eisen door versnelde of optimale wer-

king, de parasymphathische op bescherming tegen overbelasting en op herstel. Dominantie van het parasymphathische gedeelte zal aktiverend werken op het slaapsysteem, terwijl dominantie van het symphathische gedeelte het waaksysteem zal stimuleren. De slaap kan dan ook nader gekarakteriseerd worden als een toestand van overheersende parasymphathische aktiviteit, met als kenmerken gesloten ogen, nauwe pupillen, ontspannen spieren, vertraagde polsslag en verlaagde stofwisseling. In deze termen is hevige opwinding een toestand van overheersende symphathische aktiviteit, met als kenmerken wijd open ogen, verwijde pupillen, gespannen spieren, versnelde polsslag en verhoogde stofwisseling.

Naast de eigen basisaktiviteiten van slaap-en waaksysteem, met een ingebouwde periodiciteit van ongeveer een etmaal (circadiane ritme), bestaat er een nauwe binding met het vegetatieve zenuwstelsel. Verder zijn er, weer met name in het diëncephalon, verbindingen met het centrale zenuwstelsel via uitlopers van sensorische (de zintuigen betreffende) of sensibele (het gevoel betreffende) zenuwen. Door het bestaan van terugkoppelingen tussen cortex en slaap-waaksysteem kan de cortex hierbij ingeschakeld zijn (alarmerend - niet alarmerend), terwijl ook bewuste controle kan plaatsvinden, zoals bijvoorbeeld de nadrukkelijke wens om te slapen of wakker te blijven.

Een belangrijke invloed, vooral op het waaksysteem, heeft voorts een stelsel van neuronennissen, die de cortex met delen van de hersenstam verbinden. Dit wordt het limbische systeem genoemd. Delen van dit systeem, in wisselwerking met mentale aktiviteit van de cortex, kunnen als het ware in resonantie komen en in deze toestand blijven, ook nadat de prikkel, die deze emotionele reaktie heeft veroorzaakt, niet meer bewust aanwezig is. Dergelijke emotionele resonantieverschijnselen veroorzaken door de continue stimulatie van het waaksysteem in belangrijke mate het verschijnsel slapeloosheid. Behalve beïnvloeding via zenuwen kan de stimulatie van slaap- en waaksysteem ook geschieden via de bloedsomloop door circulatie van chemisch werkzame stoffen, zoals hormonen, afkomstig van organen met inwendige afscheiding (endocriene organen). Zo speelt bij stimulatie van het waaksysteem de circulatie van adrenaline en noradreneline een rol, in welke mate is nog onvoldoende bekend.

Het voorafgaande samenvattend kan worden gesteld, dat het mechanisme, dat slapen en waken en gedragstoestanden in het algemeen bepaalt, kan wor-

den opgevat als een geïntegreerd regelsysteem, waarin vele organen en functionele structuren van het gehele organisme nauw verweven zijn [1] [2]. Figuur 1 geeft een schematische voorstelling van deze opvatting. Receptoren zijn hierin alle organen, die uitwendige of inwendige invloeden kunnen doorgeven via sensorische of sensibele zenuwen of via de bloedsomloop (neuraal of humoraal). Voorbeelden van stimulerende invloeden op het waakstelsel zijn: ongewone, alarmerende of intense auditieve, visuele of olfactorische (de reuk betreffende) prikkels, pijn, koude, emoties, honger, dorst en sexuele lust. Voorbeelden van het slaapsysteem stimulerende invloeden zijn: stilte en duisternis, bepaalde monotone herhaalde auditieve of visuele prikkels, warmte, gemoedsrust, volle maag en bevredigde sexuele verlangens.

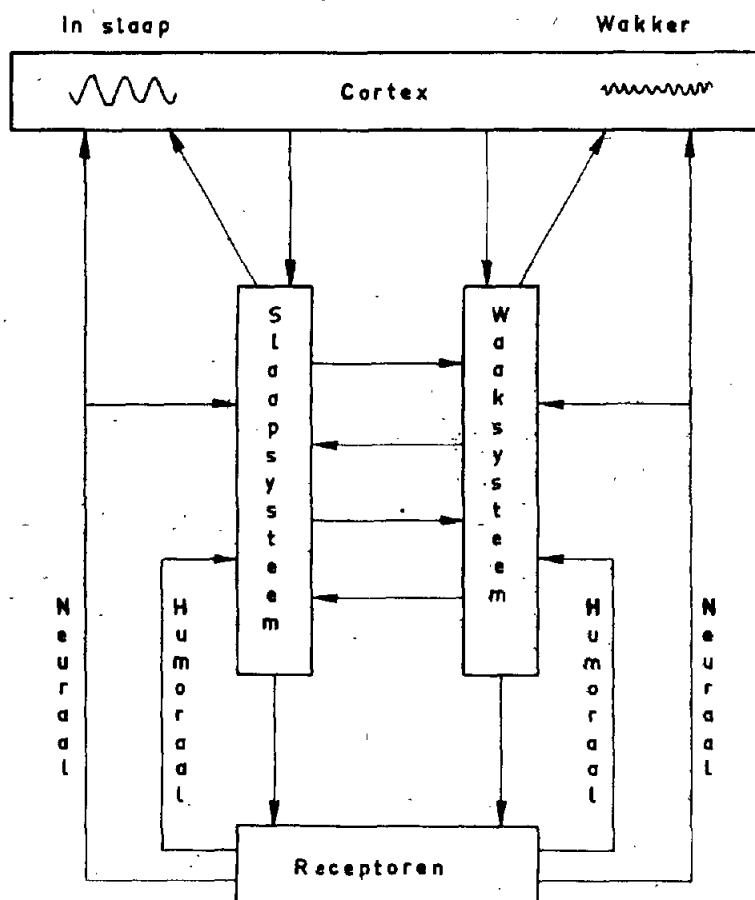


Fig. 1. Slapen en waken als uitkomsten van een geïntegreerd regelsysteem

Algemere literatuur over slaap: [3] [4].

2.2 Het constateren van effecten

Om mogelijke fysiologische effecten ten gevolge van lawaai tijdens de slaap aan te kunnen tonen moeten meetbare uitingen worden gevonden, die met het complexeslaapmechanisme samenhangen. Ook moet worden vastgesteld wat het normale, voor de gedragstoestand slaap karakteristieke verloop is van deze uitingen (grootheden, variabelen).

Zo worden ook tijdens de slaap meetbare aspecten van vegetatieve functies bestudeerd, zoals temperatuur, hartslagfrequentie, ademhalingsritme en bloeddorstroming. Ook vindt neuro-endocrien onderzoek plaats, waarbij de afscheiding van bepaalde hormonen wordt nagegaan. Maar als informatie gevend medium wordt vooral aandacht geschonken aan het electroëncefalogram of EEG.

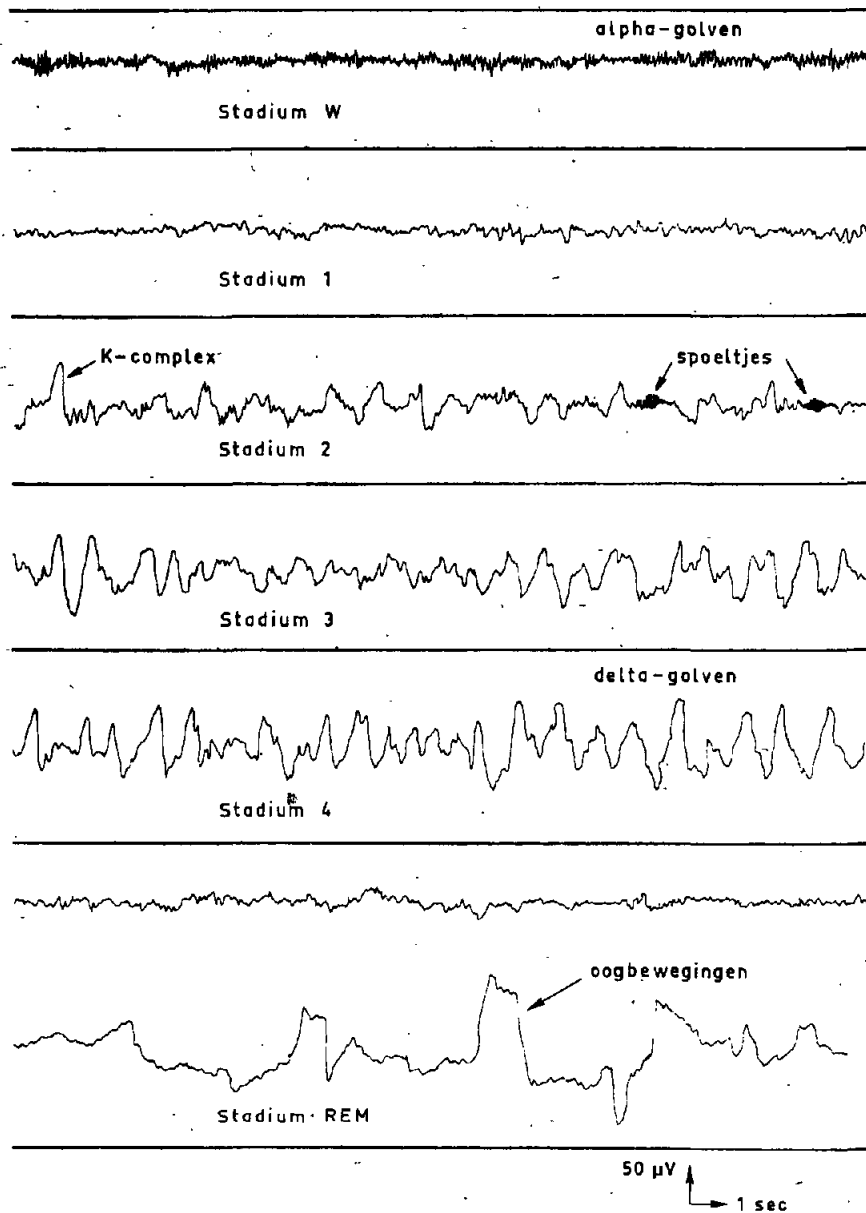
Een EEG is een registratie van resulterende elektrische potentiaalverschillen tussen bepaalde gedeeltes van de hersenschors. Die potentiaalverschillen en de mate van veranderingen daarin worden bepaald door de activiteit of het excitatieniveau van de cellen van de hersenschors. Een slaap-EEG is een continue registratie van het EEG tijdens de slaap.

In dat slaap-EEG zijn bepaalde karakteristieke golfpatronen te vinden, zoals:

- α -ritme, golven met een frequentie van 9 - 12 Hz
- δ -ritme, golven met een relatief grote amplitude en een frequentie van 1 - 2 Hz
- spoeltjes, dat zijn golfreintjes met een frequentie van 14-16 Hz en een spoelvormige omhullende
- en K-complexen, een soort uitslingerverschijnselen.

Naast de potentiaalverschillen van de hersenschors worden ten behoeve van een slaap-EEG ook de oogbewegingen (electroöculogram of EOG) en veelal ook de spiertonus (electromogram of EMG) geregistreerd. Op grond van het al of niet aanwezig zijn van genoemde karakteristieke golfpatronen en oogbewegingen wordt, met behulp van daartoe opgestelde scoringsregels, in het slaap-EEG een aantal slaapstadia onderscheiden, namelijk W (waking of wakker), 1, 2, 3, 4 en REM. Dit laatste, REM, betekent Rapid Eye Movements. Het is een slaapstadium dat, wat hersenactiviteit betreft, sterk op stadium 1 lijkt, maar dat zich daarvan onderscheidt door het daarnaast optreden van snelle oogbewegingen, die ook alleen in dit slaapstadium optreden. Ook in andere opzichten verschilt stadium REM duidelijk

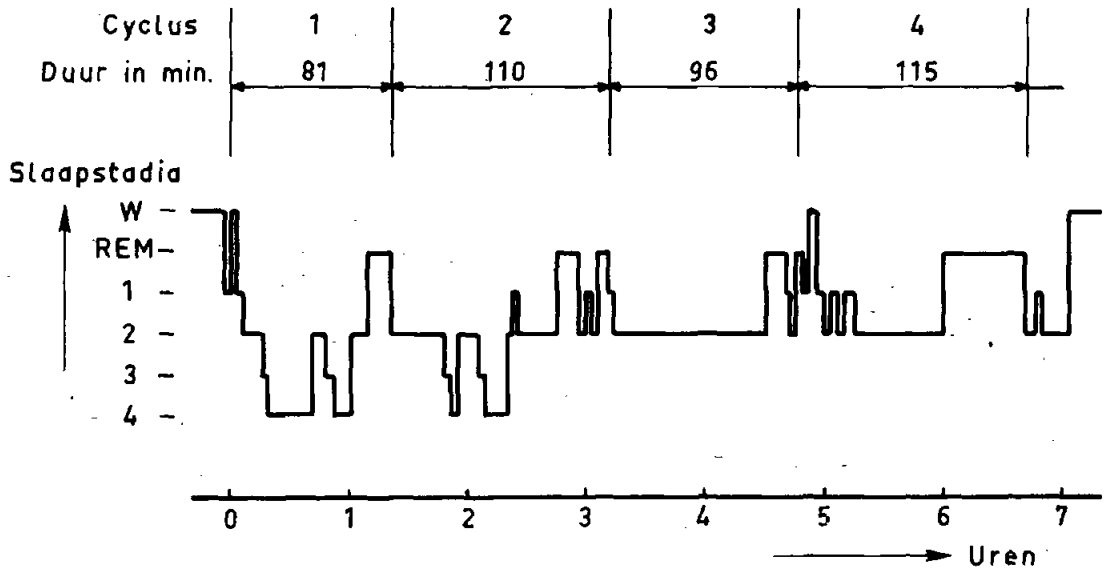
van stadium 1 en de andere slaapstadia vanwege specifieke veranderingen, zoals een sterk verlaagde spiertonus en het optreden van dromen, met name de irrationele en fantastische dromen. Figuur 2 geeft een indruk van de verschillende slaapstadia.



Figuur 2. Slaapstadia

Na het inslapen, dat wil zeggen na de stadia W en 1, treden de overige stadia in min of meer regelmatige cyclische afwisseling op, met dien verstande, dat de stadia 3 en 4 in de tweede helft van de nacht meestal niet meer worden bereikt. De grafische voorstelling van dit cyclische verloop wordt slaappatroon genoemd. Figuur 3 geeft een beeld van een dergelijk slaappatroon. Meer bijzonderheden over slaap-EEG en slaappa-

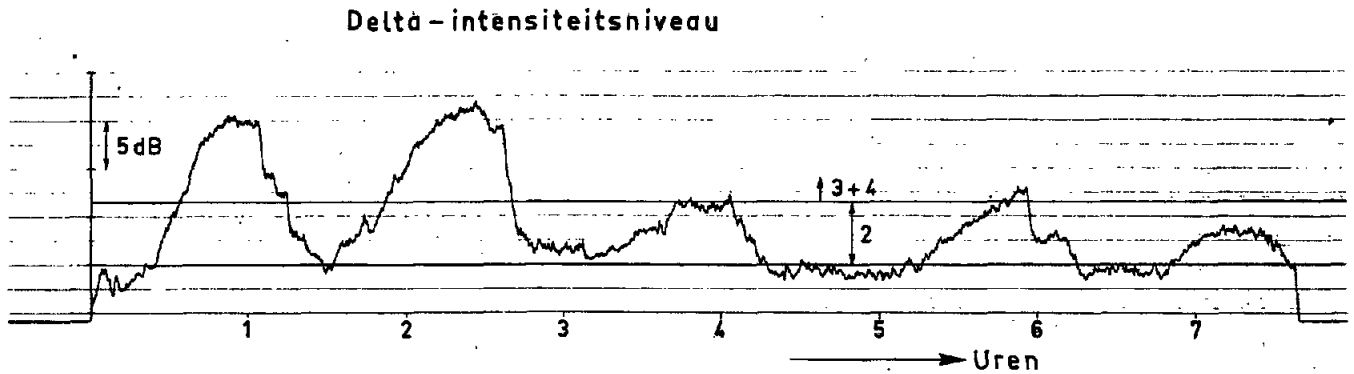
troon zijn onder andere te vinden in [5] en [6].



Figuur 3. Slaappatroon

Het slaappatroon wordt veel gebruikt als een middel om de slaap gedurende een hele nacht integraal te beschrijven. Veel gebruikte grootheden, op het slaappatroon gebaseerd, zijn de absolute en relatieve tijden, die in de verschillende slaapstadia worden doorgebracht. Een andere integrale benadering is een analyse van de delta-activiteit in het slaap-EEG. Delta-golven treden op in de stadia 3 en 4 (zie fig. 2), die wat wakbaarheid betreft als diepe slaap worden gekenmerkt. Delta-activiteit heeft dus te maken met de intensiteit van het slaapproces en de mate, waarin delta-activiteit optreedt, zou verband kunnen houden met de kwaliteit van de slaap als herstelproces. De gebruikte basisvariabele is het delta-intensiteitsniveau, uitgedrukt in dB. Uit dit gedurende de nacht ook weer cyclisch variërende signaal zijn variabelen voor een gehele nacht te berekenen, zoals het mediane, het gemiddelde en het equivalente delta-intensiteitsniveau. Dit laatste is dat denkbeeldige niveau dat, wanneer constant aanwezig, evenveel "delta-energie" vertegenwoordigt als het in werkelijkheid variërende niveau en lijkt als variabele het meest belovend [7].

Figuur 4 geeft een voorbeeld van het verloop van het delta-intensiteitsniveau gedurende een gehele nacht.



Figuur 4. Variatie in delta-intensiteitsniveau gedurende een gehele nacht

Door het vaststellen van drempelniveaus is verband te leggen met slaapstadiumscoring.

Gegeven nu het slaap-EEG met de daarin aanwezige verschijnselen en afgeleiden daarvan, zoals het slaappatroon en het verloop van het delta-intensiteitsniveau's en uitgaande van de hypothese, dat de slaap een herstelproces is en de intensiteit van dat proces (de slaapkwaliteit) bepalend is voor het functioneren overdag, kan de vraag worden gesteld welke variabelen daarin die slaapkwaliteit bepalen. Onderzoek naar de invloed van lawaai op de slaap wordt dan teruggebracht tot het nagaan of lawaai die essentiële variabelen in ongunstige zin beïnvloedt.

Vanuit die gedachte en gericht op het slaappatroon zijn aanvankelijk veel experimenten opgezet. Als middel tot het beantwoorden van bovengenoemde vraag werd deprivatie gebruikt, het geheel of gedeeltelijk beroven van slaap. In nachten volgend op die deprivatie werd dan gekeken in hoeverre deze herstelovernachten afweken van tevoren opgenomen normale of standaardovernachten. Berooft men proefpersonen bijvoorbeeld totaal van slaap, dan wordt in herstelovernachten meer tijd in de stadia 4 en REM doorgebracht. Dit inhaleert kan als het bestaan van een fysiologische behoefte worden uitgelegd, waarmee de duur van stadium 4 en stadium REM bepalend lijkt voor een goede nachtrust. Ook kan uitsluitend het optreden van bepaalde slaapstadia, met name de stadia 4 en REM, worden verhinderd (selectieve deprivatie).

Ook dan treden in herstelovernachten inhaaleffecten op [8]. Wanneer deze fy-

siologische behoefte, dit tekort aan genoemde slaapstadia, zich ook zou manifesteren in het welbevinden of de prestatie overdag, zou uiteraard de slaapkwaliteit bepalende rol van de stadia 4 en REM nog sterker komen te staan. Het bleek en blijkt echter moeilijk om overtuigend aan te tonen, dat welbevinden en prestatie overdag door een tekort aan specifiek deze slaapstadia worden beïnvloed.

Daarmee werd de slaapkwaliteit bepalende rol van bepaalde slaapstadia en vervolgens ook de indeling in deze slaapstadia ter discussie gesteld. Het zoeken naar andere beschrijvende grootheden, zoals het delta-intensiteitsniveau staat daarmee in verband.

Bij veel later onderzoek is dan ook uitgegaan van de vraag, of fysiologische effecten, welke dan ook, ten gevolge van lawaai tijdens de slaap geconstateerd kunnen worden. Een tweede vraag, die bij een gevonden effect vervolgens beantwoord moet worden is dan: welke betekenis het effect heeft voor de slaapkwaliteit en het welbevinden overdag, dus of dit effect mogelijk als schadelijk moet worden aangemerkt.

De betekenis van een gevonden effect kan worden afgeleid door verband te leggen met veranderingen in subjectieve beleving van slaapkwaliteit en uitkomsten van psychologische en psychomotorische tests. Deze veranderingen kunnen op zichzelf mogelijk eerder en eenvoudiger als schadelijk voor het welbevinden worden aangemerkt. Met het kennen van de betekenis zouden bijvoorbeeld fysiologische effecten in het EEG kunnen dienen als diagnose voor potentieel schadelijke situaties. Overigens kunnen genoemde veranderingen in beleving, stemming en prestatie natuurlijk ook op zichzelf worden beschouwd als indirecte of secundaire effecten, dus zonder tegelijkertijd te kijken naar in dat geval direkt of primair te noemen fysiologische effecten in het EEG.

Wat laatstgenoemde effecten betreft wordt wel onderscheid gemaakt tussen onmiddellijke effecten (transient responses) van afzonderlijke lawaai stimuli en effecten op het totale slaapverloop. Onder onmiddellijke effecten worden alle reacties in het EEG verstaan, die binnen 3 minuten na een stimulus plaatsvinden en gezien moeten worden als een toename van corticale activiteit (arousal). Deze reacties kunnen variëren van bijvoorbeeld één enkel K-complex, volgend op de stimulus, tot het optreden van een waak-EEG, al of niet in combinatie met gedragsmatige tekenen van ontwaken zoals het indrukken van een knop of verbale melding. Zij worden naar hevigheid ingedeeld in klassen en de menigvuldigheid, waar-

mee de uitersten van deze klassen vóórkomen, ofwel het aantal malen dat zo geheten nulreacties en ontwaakreacties optreden, blijkt het best bruikbaar als variabele ter vergelijking van onderzoeken [9]. Onder nulreacties worden korte reacties in het slaap-EEG verstaan, zoals K-complexen, kortduurende alpha-aktiviteit, spoeltjes en oogbewegingen, zonder dat daardoor een verandering van slaapstadium optreedt. Bij ontwaakreacties ontstaat een typisch waak-EEG met veel alpha-aktiviteit en vaak grotere (niet-lokale) lichaamsbewegingen. In sommige onderzoeken wordt bovendien het kenbaar maken van ontwaken gevraagd, wat, wanneer dat gebeurt, als een nog intensere reactie op de stimulus moet worden beschouwd dan alleen het optreden van een waak-EEG.

Ter onderscheiding van de onmiddellijke effecten worden onder effecten op het totale slaapverloop verstaan alle veranderingen in integrale maatstaven, zoals bijvoorbeeld slaapstadiumtijd, gemiddelde cyclusduur of equivalent delta-intensiteitsniveau. Bij deze laatste effecten zal dus meestal het slaappatroon als uitgangspunt dienen, bij onmiddellijke effecten steeds het lopende slaap-EEG.

Zoals in 2.1 al aangegeven (zie bijvoorbeeld figuur 1), is de grootte van de effecten afhankelijk van tal van exogene (van buiten het organisme komende) en endogene (van binnenuit komende) factoren of invloeden. Als praktisch belangrijke exogene factoren zijn te noemen: karakteristieken van de stimulus zelf, zoals intensiteit, bandbreedte, stimulusduur, aantal stimuli per tijdseenheid, duur van de proefserie (of situatie) en informatie-inhoud, en andere factoren zoals licht en temperatuur. Endogene factoren van praktisch belang zijn leeftijd, geslacht, vermoeidheid, gezondheidstoestand en persoonlijkheidsstructuur.

In de volgende paragraaf worden, in relatie met die exogene en endogene factoren, waarvan de invloed na te gaan is of verondersteld wordt, samenvattende conclusies ten aanzien van gevonden effecten gegeven. Daarbij is uitgegaan van de systematiek en de conclusies van een uitgebreide en grondige evaluatie van binnen die systematiek bruikbare literatuur [10]. De resultaten hiervan zijn in beknoptere vorm ook elders te vinden [11] [12].

Achtereenvolgens komen aan de orde: onmiddellijke effecten (ontwaak- en nulreacties), effecten op het totale slaapverloop, andere fysiologische effecten (niet-EEG) en indirecte of secundaire effecten (niet-fysiologisch) ter interpretatie van eerstgenoemde.

2.3 Gevonden effecten

2.3.1. Onmiddellijke effecten (ontwaak- en nulreacties)

Zoals reeds in 2.2 is gesteld, zijn het aantal ontwaakreacties en het aantal nulreacties het best te gebruiken om gemeenschappelijke conclusies ten aanzien van verschillende onderzoeken te trekken.

Uitgedrukt als percentage van het aantal optredende stimuli zijn wat genoemde reacties betreft de volgende conclusies te trekken ten aanzien van karakteristieken van de stimulus zelf.

a) intensiteit

Met toenemende intensiteit neemt het percentage ontwaakreacties toe en het percentage nulreacties af. In figuur 5 zijn deze verbanden weergegeven. Het aangegeven geluidniveau is het maximale geluidniveau op het moment van optreden van de stimulus. De percentages zijn gecorrigeerd voor gewenning, die ongeveer 6 nachten zou duren (zie e)). De verbanden zijn afgeleid uit 10 onderzoeken en betreffen in totaal 94 proefpersonen, 742 nachten en 8302 stimuli. De stimuli zijn zeer verschillend en wel rose ruis, vliegtuiglawaai, supersonische knallen, vrachtwagenlawaai, impulsgeluid en industriëlawaai.

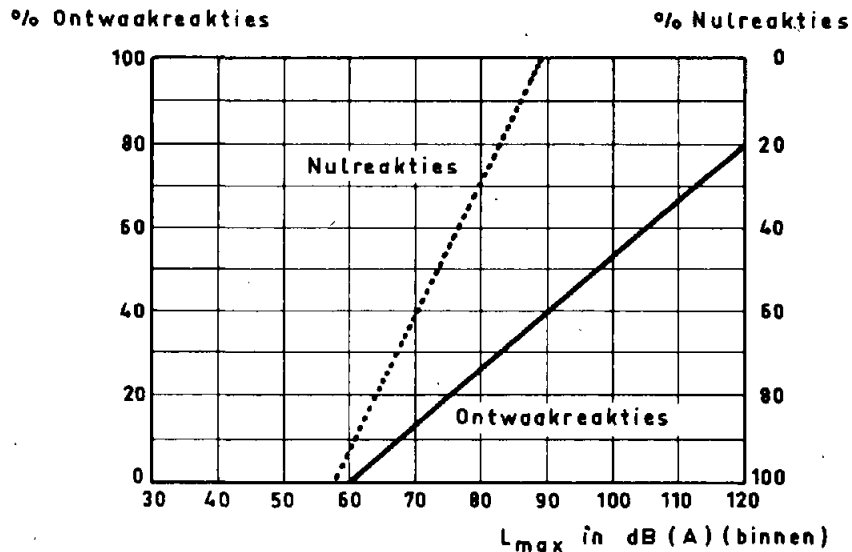


Fig. 5. Ontwaak- en nulreacties als functie van het maximale geluidniveau. Uit [10]

Ontwaakreacties beginnen (gemiddeld) op te treden vanaf een L_{\max} van ongeveer 60 dB(A), terwijl boven een L_{\max} van ongeveer 85 dB(A) geen nulreacties meer te verwachten zijn.

b) soort lawaai, bandbreedte

In [10] wordt uit het vergeleken materiaal geconstateerd, dat bij ongeveer eenzelfde (maximale) geluidniveau meer ontwaakreacties en minder nulreacties optreden bij bijvoorbeeld vrachtwagenlawaai dan bij vliegtuiglawaai en supersonische knallen, terwijl de verstoring door laagfrequent impulsachtig lawaai (150 Hz, 500 ms) nog minder is. Er wordt geconcludeerd dat dit in essentie samenhangt met de bandbreedte van de stimulus, hoewel de verschillen niet alleen daardoor kunnen worden verklaard. Grotere bandbreedte zou dus meer ontwaakreacties en minder nulreacties veroorzaken.

Opgemerkt zij hierbij, dat deze constatering en conclusie in [10] gebaseerd zijn op laboratorium-experimenten met een betrekkelijk gering en verschillend aantal stimuli per nacht van verschillende duur. Zo deze conclusie al geldt voor afzonderlijke stimuli, waarvan alleen de bandbreedte verschilt, in meer op de praktijk lijkende situaties, waar vele stimulus-karakteristieken een rol spelen, blijken verschillende lawaaisoorten vergelijkbare reacties te veroorzaken. Zie in dit verband 2.4

c) duur van een stimulus

Zolang een stimulus niet langer dan 40 seconden duurt lijkt de duur van een stimulus geen invloed te hebben op het aantal ontwaak- en nulreacties bij een bepaalde intensiteit. Langere stimuli lijken meer verstoring teweeg te brengen, maar het is de vraag of dat vanwege de langere duur is, omdat in de betreffende experimenten ook andere factoren anders waren.

d) aantal stimuli per tijdseenheid

Met toenemend aantal stimuli per tijdseenheid neemt het percentage nulreacties, dat daarvan het gevolg is, eveneens toe.

Tot ongeveer 35 stimuli per nacht neemt met afnemende helling tevens het percentage ontwaakreacties toe. Bij meer stimuli per nacht lijkt het percentage ontwaakreacties weer af te nemen, maar dit is nog on-

voldoende te staven. Toename van nulreacties en stabilisering en mogelijke afname van ontwaakreacties bij toenemend aantal stimuli per nacht worden verklaard als een fysiologische aanpassing (adaptatie), doordat met korter wordende tussentijd tussen twee stimuli geen volledige terugkeer naar de toestand vóór de stimulus meer plaatsvindt. In figuur 6 wordt, althans tot 35 stimuli per nacht, dit gedrag getoond (10 onderzoeken, 421 proefpersonen, 1025 nachten en 9096 stimuli; supersonische knallen, rose ruis en vliegtuiglawaai, 58 - 87 dB(A)).

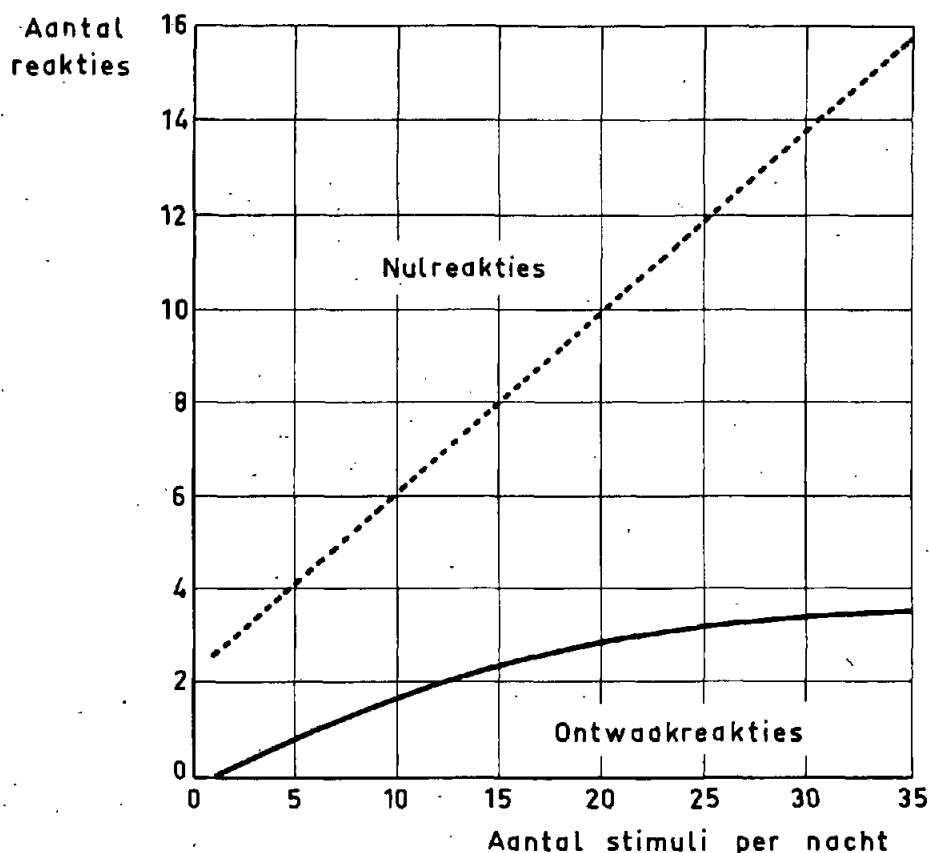


Fig. 6. Ontwaak- en nulreacties als functie van het aantal stimuli per nacht. Uit [12], [16]

e) duur van de proefserie (situatie)

Hoe langer de proefserie (lawaaisituatie) duurt hoe minder ontwaakreacties en hoe meer nulreacties optreden. Dit als gewenning te beschouwen proces zou omstreeks de 6e nacht uitgewerkt zijn, althans wanneer het zelf signaleren van ontwaken als maatstaf wordt gebruikt. Wanneer ontwaken alleen op grond van het EEG wordt beoordeeld, is dit gewenningsverschijnsel veel moeilijker aan te tonen en in ieder

geval veel langduriger [13].

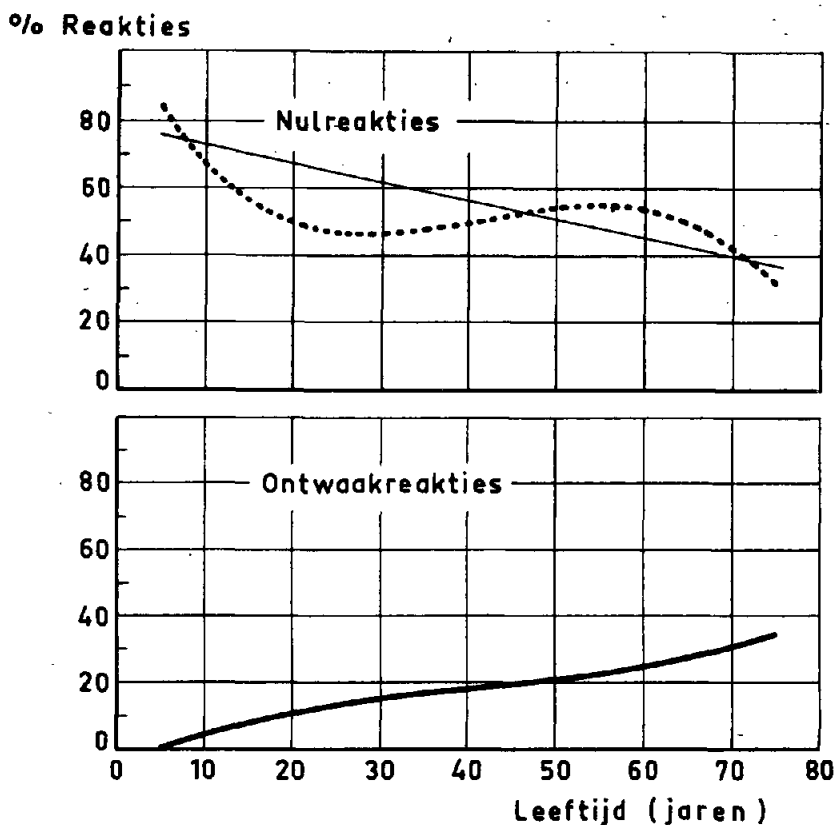
f) informatie-inhoud

De informatie-inhoud van de stimulus speelt een belangrijke rol bij de mate, waarin reacties optreden, maar is (nog) niet te kwantificeren. Bovendien kan de informatie-inhoud verhoogd of verlaagd worden door kennis of instelling vooraf, zoals de wetenschap dat bij ontwaaken een knop ingedrukt moet worden of de instructie zich vooral niets aan te trekken van ongewone geluiden, wat ook de onderlinge vergelijkbaarheid van experimenten bemoeilijkt.

De mate, waarin ontwaak- en nulreacties ten gevolge van lawaai optreden wordt, behalve door eigenschappen van het lawaai zelf, ook bepaald door andere exogene factoren. Zo leiden licht en een relatief hoge omgevings-temperatuur (26 i.p.v. 18°C) tot langduriger of frekwentere verstoringen door lawaai. Naast bovengenoemde conclusies ten aanzien van de invloed van exogene factoren op onmiddellijke effecten, zijn de volgende conclusies ten aanzien van de invloed van endogene factoren te noemen.

g) leeftijd

Er is een tamelijk duidelijk verband tussen reactiepercentages en leeftijd. Met toenemende leeftijd stijgt het percentage ontwaakreacties en daalt het percentage nulreacties, bij vergelijkbare stimulusintensiteit. Daar komt nog bij, dat de onderzochte oudere proefpersonen normale ouderdoms gehoorverliezen en soms nog grotere verliezen vertoonden. Dit betekent een nog grotere gevoeligheid, als gecorrigeerd zou kunnen worden voor "ervaren" geluidniveau. In figuur 7 wordt deze conclusie ten aanzien van de invloed van de leeftijd weergegeven in een grafiek. De relaties zijn afgeleid uit 3 onderzoeken met in totaal 26 proefpersonen, in leeftijd variërend van 5 tot 75 jaar, 368 nachten en 4428 stimuli (supersonische knallen en vliegtuiglawaai), 68 - 86 dB(A).



Figuur 7. Ontwaak- en nulreacties in afhankelijkheid van de leeftijd.

Uit [10]

Bejaarden (65+) hebben, vergeleken met een leeftijdscategorie rond 40, ongeveer 13 % meer ontwaakreacties en, vergeleken met een leeftijdscategorie rond 20, ongeveer 20 % meer ontwaakreacties. Uit figuur 5 is af te leiden dat dit ten opzichte van deze leeftijdscategorieën een gelijk percentage reacties betekent bij een 10 respectievelijk 15 dB(A) lager geluidniveau. Evenzo betekent dit wat de nulreacties betreft (regressielijn) een gelijk percentage reacties bij een ongeveer 5 respectievelijk 10 dB(A) lager geluidniveau.

h) geslacht

Hoewel vrouwen iets gevoeliger lijken dan mannen vertoont de in de literatuur gevonden afhankelijkheid van de reacties van het geslacht te veel tegenstrijdigheden om ten aanzien hiervan een algemene conclusie te trekken.

i) slaapstadium en tijd van de nacht

Het percentage ontwaakreacties in de "diepere" slaapstadia 3 en 4 is duidelijk kleiner dan in de stadia 2 en REM. Het percentage nul-

reakties is in de stadia 3 en 4 groter dan in stadium 2. Stadium REM vertoont de grootste variatie in reakties, zowel de meeste ontwaakreakties als de meeste nulreakties kunnen in vergelijking met gelijke periodes in andere stadia worden gevonden. In de wetenschap dat in de tweede helft van de slaap bijna voornamelijk de stadia 2 en REM optreden, kan worden geconcludeerd dat de reaktiegevoeligheid in de tweede helft van de nacht het grootst is. Opgemerkt zij hierbij dat verdere kwantitatieve onderbouwing van deze conclusie interessant wordt wanneer de geluidbelasting niet integraal over een gehele nacht maar gedifferentieërd over periodes wordt beschouwd en gebruikt.

j. vermoeidheid

Uit enkele onderzoeken valt af te leiden dat vermoeide mensen moeilijker te wekken zijn, wat in het dagelijkse leven ook als zodanig wordt ervaren.

k. gezondheidstoestand

Algemeen wordt aangenomen dat een slechtere gezondheidstoestand de slaap nadelig beïnvloedt. Bij psychische klachten bijvoorbeeld worden slaapstorings vaak als criterium voor de diagnose gebruikt. Te veronderstellen dat lawaai deze verminderde slaapkwaliteit nog meer of eerder aantast dan bij gezonde mensen het geval is, ligt voor de hand. Gerichte onderzoeken naar fysiologische effecten bij zieke mensen ontbreken echter tot nu toe [14], wel is er althans één belevingsonderzoek bekend (zie 4.2).

1) persoonlijheidsstructuur

Er zijn aanwijzingen gevonden dat bij mensen met neurotische neigingen met een grotere kans op ontwaken rekening gehouden moet worden.

2.3.2 Effekten op het totale slaapverloop

Te concluderen valt dat het totale slaapverloop, zoals dat bijvoorbeeld door het slaappatroon (fig. 3) wordt beschreven, slechts in geringe mate door lawaai stimuli wordt beïnvloed. Zo lijkt met lawaai de totale slaapduur iets korter te worden, terwijl wat meer waakperiodes optreden, vaak

na een lawaaistimulus. Ook lijkt het aandeel van de stadia 3 en 4 (absoluut en procentueel) af te nemen ten gunste van de tijd, in de stadia W, 1 en 2 doorgebracht.

Wat de invloed van bepaalde exogene en endogene factoren betreft zijn de volgende conclusies te noemen.

a) intensiteit

De invloed van de intensiteit op het totale slaapverloop is slechts zeer gering.

b) aantal stimuli per tijdseenheid

Bij toename van het aantal stimuli per tijdseenheid wordt de verstoring kleiner (adaptatie, zie deze paragraaf onder 2.3.1.d)).

c) duur van de proefserie (situatie)

Hoe langer de serie nachten onder lawaaiomstandigheden duurt hoe meer het organisme in staat blijkt slaapverstoringen te "compenseren" door vaker en sneller de diepe slaapstadia 3 en 4 te bereiken (gewenning). Een getal van 10 nachten wordt genoemd, waarin dit compensatiemechanisme zich volledig ontwikkeld zou hebben.

d) overige exogene factoren

Relatief hoge temperatuur naast lawaai leidt tot langere inslaaptijd en tot het vaker optreden van waakperiodes.

e) leeftijd

Omdat bij oudere mensen het totale slaapverloop reeds zonder lawaai al veel verbrokkelder is, valt de invloed van lawaai hierop moeilijk vast te stellen.

f) slapen overdag

De slaap van mensen, die overdag moeten slapen, is onder gelijke omstandigheden zonder lawaai al kwantitatief en (subjektief) kwalitatief minder dan 's nachts. Een gelijke mate van lawaai veroorzaakt tijdens slaap overdag meer als ongunstig aan te merken veranderingen

in het slaappatroon dan 's nachts. Bovendien is de lawaai-belasting overdag groter, wat de invloed op het totale slaapverloop overdag nog groter doet zijn.

2.3.3 Andere fysiologische effecten (niet-EEG)

a) motorische reacties

Bij lawaai tijdens de slaap treden vaker lichaamsbewegingen op, zowel lokaal als van het gehele lichaam. Deze lichaamsbewegingen, als uiting van verhoogde corticale activiteit, zijn wellicht een gevoeliger indicator voor slaapverstoringen dan ontwaakreacties en worden dan ook bij experimenten vaak geregistreerd met middelen als rekstrookjes, trillingsopnemers en radar. Mensen, die zich onder normale omstandigheden al meer dan gemiddeld bewegen tijdens hun slaap, vertonen bij lawaai ook relatief meer reacties. Mede door de verschillende registratietechnieken is er (nog) geen maatstaf voorhanden om meer algemeen geldende kwantitatieve uitspraken te doen.

b) vegetatieve reacties

Tijdens de slaap treden soortgelijke vegetatieve reacties op als in de waaktoestand, maar reeds bij kleinere intensiteiten. Er vindt in de loop van opeenvolgende nachten geen gewenning plaats, wel kan in de loop van een nacht de mate, waarin reacties optreden, verminderen, wat weer als een fysiologische adaptatie kan worden beschouwd. De volgende reacties zijn vermeldenswaard.

- In de regel zijn na lawaai-stimuli reacties in het electromyogram (EMG) te vinden, vooral bij oudere mensen uitgesproken.
- Bij stimuli vanaf 55 dB(A) treden samentrekkingen van de bloedvaten (vasoconstricties) op; tot 80 dB(A) zou geen afhankelijkheid van de intensiteit aan te tonen zijn.
- De polsslag kan tijdelijk sneller worden, bij kortdurende stimuli gevolgd door een terugkeer naar de rusttoestand via een eerst langzamer worden (uitslingerverschijnsel).
- Ook de ademhaling zou wellicht een gevoeliger indicator voor slaap-

verstoringen kunnen zijn dan ontwaakreacties.

Voor alle genoemde vegetatieve reacties geldt, dat een kwantificering, die in verband kan worden gebracht met negatieve invloed op de gezondheid, moeilijk is.

2.3.4 Indirekte (niet-fysiologische) effecten

Ter interpretatie van fysiologische effecten of op zichzelf beschouwd, zijn de volgende indirecte of secundaire effecten vaak bestudeerd.

a) subjectieve beoordeling van de slaap

In het algemeen wordt na nachten met lawaai de slaapkwaliteit als minder beoordeeld (minder diep, te kort, moeilijk inslapen, vaker wakker, minder uitgerust): In de loop van een proefserie wordt echter het oordeel doorgaans gunstiger. De slaapverstoring wordt groter gevonden bij toenemende intensiteit en informatie-inhoud. Ook lijkt de subjectieve beoordeling relatief ongunstiger bij oudere proefpersonen, bij vrouwen, bij mensen met een slechte gezondheidstoestand en bij "introverte, angstige en afhankelijke" mensen [10].

Door uit een aantal onderzoeken een gemeenschappelijke maatstaf voor de subjectieve slaapkwaliteit af te leiden [15], werd geconcludeerd dat de vermindering van subjectieve slaapkwaliteit met toenemende intensiteit begint bij ongeveer 30 dB(A) (L_{eq} over de nachtperiode, binnen).

b) psychologische tests

Vragenlijsten, ontworpen om bijvoorbeeld welbevinden en stemming in te schalen, gaven, althans in de geëvalueerde onderzoeken, geen verschillen te zien tussen lawaaisituaties en rustige situaties.

c) psychomotorische tests

De resultaten van bijvoorbeeld reaktietijdtests, vigilantietests en rekentests zijn lang niet altijd eensluidend. Kleine prestatieverminderingen worden met name 's morgens nu en dan wel gevonden, maar lijken elders door grotere concentratie of motivatie gemakkelijk gecompenseerd te kunnen worden.

2.4 Discussie en samenvattende conclusies

In de literatuurstudie [10], die hier als uitgangspunt heeft gediend, is gebruikelijk wegverkeerslawaai als stimulus bij de onderzoeken nog sterk ondervertegenwoordigd. Met name de conclusies wat de onmiddellijke effecten betreft (ontwaak- en nulreacties) missen deze meest voorkomende lawaaibron in de onderbouwing en steunen vooral op onderzoeken met vliegtuiglawaai. Vaak wordt verondersteld, dat vliegtuiglawaai meer hinder en grotere (fysiologische) reacties veroorzaakt dan ander omgevingslawaai. In een latere evaluatie [16] van dezelfde auteur, waarbij meer onderzoeken met gebruikelijk wegverkeerslawaai zijn betrokken, wordt echter gesteld dat vliegtuiglawaai, vergeleken met ander lawaai, geen significant verschillende reacties geeft, uiteraard bij vergelijkbare geluidbelasting. Of op zijn beurt wegverkeerslawaai wellicht significant verontrustender reacties veroorzaakt dan ander lawaai is volgens [16] uit het beschikbare materiaal nog in onvoldoende mate na te gaan.

Vooralsnog zijn er echter geen aanwijzingen dat dit het geval is. Zo wordt bijvoorbeeld berekend dat wegverkeerslawaai, als effect op het totale slaapverloop, minder toename in stadium W (wakker) maar meer afname in diepe slaap (stadia 3 en 4) zou veroorzaken dan ander lawaai, wat echter nog niet als meer of minder slecht geïnterpreteerd kan worden. Eveneens vooralsnog kan derhalve worden aangenomen, dat de conclusies uit [10] ook voor gebruikelijk wegverkeerslawaai geldig zijn.

Een ander punt voor discussie is, dat een aantal factoren, die op de mate van verstoring van invloed zijn, niet of moeilijk te kwantificeren zijn, waardoor de invloed van de factoren afzonderlijk met onvoldoende zekerheid te scheiden is van andere invloeden. Zo lijkt de conclusie ten aanzien van de invloed van de bandbreedte op ontwaak- en nulreacties vanwege bijvoorbeeld verschillen in gebruikte stimulusduur en informatie-inhoud, maar overigens ook door het ontbreken van gebruikelijk wegverkeerslawaai, erg wankel.

Voor alle conclusies ten aanzien van effecten en de invloed van factoren daarop zijn bovendien de volgende overwegingen van groot belang. In de eerste plaats hebben bijna alle onderzoeken in het laboratorium plaatsgevonden, waarbij voor de proefpersonen ongewone omstandigheden

effekten ten gevolge van lawaai kunnen versluieren of juist versterken. Er zijn inmiddels aanwijzingen gevonden dat bij onderzoek bij mensen thuis van veel minder duidelijke effecten sprake is.

Een tweede belangrijke overweging, die met de vorige samenhangt, betreft de invloed van de gewenning. Het is de vraag, of gewenningsprocessen inderdaad na 2 nachten (zoals vaak gesteld wordt ten aanzien van slapen met electrodes in een laboratorium), na ongeveer 6 nachten (gedragmatig ontwaken) of 10 nachten (compensatie van diepe slaap) gestabiliseerd zijn. In een laboratoriumonderzoek [7] bleek, dat een bepaalde fysiologische variabele gedurende 20 nachten met lawaai geleidelijk en gemiddeld bleef afnemen, in het midden latend of dit toegeschreven moet worden aan gewenning aan lawaai of aan gewenning aan veranderde slaapomstandigheden in het algemeen. Als gewenning langer duurt kan dat betekenen dat gevonden effecten nog kleiner blijken te zijn.

Alle conclusies ten aanzien van de invloed van de verschillende exogene en endogene factoren op onmiddellijke effecten overziend, geven, onder het nodige reeds gemaakte voorbehoud, alleen die ten aanzien van intensiteit en leeftijd kwantitatief redelijk houvast. De overige moeten als tendens of aanwijzing worden beschouwd.

De gevonden effecten op het totale slaapverloop en de invloed daarop van exogene en endogene factoren, voor zover al meer of minder eensluidend in verschillende onderzoeken, zijn zodanig klein, dat hieruit geen kwantitatieve gevolgtrekkingen zijn af te leiden, die enigszins algemeen kunnen gelden. Ook de conclusies ten aanzien van deze effecten moeten dus als tendenzen en aanwijzingen worden beschouwd. De gevonden andere fysiologische effecten (niet-EEG) geven evenmin kwantitatief bruikbare conclusies, al treedt hierbij geen of nauwelijks gewenning op.

Althans gedurende het tijdsbestek van de beschouwde proeven, variërend van enkele nachten tot enige weken, blijken geen consistente veranderingen in psychische gesteldheid of prestatie te zijn gevonden. Wel treden ten gevolge van lawaai veranderingen in subjectief ervaren slaapkwaliteit op, maar deze worden door gewenning minder ongunstig. Het bleek in ieder geval niet mogelijk om indirecte of secundaire effecten, indien gevonden, te correleren met gevonden fysiologische effecten. Daardoor konden die gevonden fysiologische effecten niet op enigerlei wijze geïnterpreteerd worden als leidend tot verminderd welbevinden. Het blijft dan ook vooralsnog onduidelijk welke van de

min of meer voorspelbaar optredende effecten (variabelen) ter beschrijving van slaapverstoring door lawaai relevant zijn.

Het is mogelijk dat op langere duur slaapverstoringen door lawaai zich wel gaan manifesteren in prestatie of gezondheid in het algemeen.

Een hypothese is, dat zeer kleine tekorten aan bijvoorbeeld diepe slaapstadia ondanks compensatiemechanismes op den duur sommeren en pas veel later boven een drempel komen, waarboven funktionele of zelfs organische afwijkingen merkbaar worden. Het zal duidelijk zijn dat dergelijke mogelijke gevolgen slechts met epidemiologische onderzoeken te vinden zijn.

De in Nederland toe te passen beoordelingsmaatstaven voor de geluidbelasting gebruikend moet samenvattend worden geconcludeerd dat op grond van gevonden fysiologische effecten nog geen gevolgtrekkingen zijn te baseren ten aanzien van grenswaarden, die uit een oogpunt van akoestische kwaliteit voor het toe te laten geluidniveau tijdens de nachtelijke slaap gekozen zouden moeten worden. Deze uitspraak is gegrond op de vaak kwantitatief wankelende onderbouwing van de voorspelbaarheid en het consistent zijn van die effecten, op de moeilijkheid de beschikbare akoestische gegevens te vertalen in termen van geluidbelasting, maar vooral op de constatering dat gevonden effecten geen invloeden op het welbevinden met zich mee lijken te brengen.

Wel kan worden gesteld dat vanaf een L_{\max} van ongeveer 60 dB(A) rekening moet worden gehouden met het optreden van ontwaakreacties. Gezien onder meer deze conclusie en de aanwijzing, dat een groter aantal stimuli per tijdseenheid wellicht tot minder slaapverstoring aanleiding geeft, zou de bruikbaarheid van het equivalent geluidniveau als beoordelingsmaatstaf voor de nachtelijke periode nader bekeken moeten worden.

Er lijkt rekening gehouden te moeten worden met een grotere slaapverstoring van bejaarden, vergeleken met jongere mensen. Op grond van fysiologisch onderzoek zou voor deze bevolkingsgroep 's nachts een maximaal geluidniveau toegelaten moeten worden, dat bijvoorbeeld minstens 5 dB(A) lager is dan voor de rest van de bevolking.

De algemene veronderstelling dat mensen, waarvan de gezondheid in lichamelijke of psychische zin gestoord is, gevoeliger zouden zijn voor slaapverstoring door lawaai, wordt nog niet door gericht onderzoek gestaafd, al zijn er wel aanwijzingen in die richting gevonden.

Op grond van de gevonden fysiologische effecten kan niet worden geconcludeerd dat een bepaalde lawaaibron bij vergelijkbare geluidbelasting verstorender zou zijn dan andere.

3. GEGEVENS UIT EPIDEMIOLOGISCH ONDERZOEK

In 2.4 is al aangestipt dat mogelijk fysiologische effecten als schadelijk voor de gezondheid moeten worden aangemerkt, omdat pas na lange tijd invloed op het optimaal functioneren merkbaar wordt. Het vaststellen van de schadelijkheid van effecten op langere termijn valt buiten de mogelijkheden van experimenteel onderzoek en kan alleen met epidemiologische methodes worden aangepakt.

Het is ook mogelijk dat geen fysiologische effecten aantoonbaar zijn, maar dat het bewust of onbewust meer moeite hebben om in slaap te vallen of de slaap te handhaven geïnterpreteerd moet worden als een verhoogde psychische belasting. Een dergelijke verhoogde belasting zou op den duur tot een overbelasting kunnen worden, zich dan manifesterend in gezondheidsstoornissen (in meest algemene zin). Meer moeite hebben om in slaap te vallen en, meer algemeen, subjektief slechter slapen kan ook optreden door een verhoogde psychische belasting vanwege lawaai overdag. Er zijn aanwijzingen gevonden dat veel lawaai overdag tot ook fysiologisch aantoonbare effecten 's nachts kan leiden.

Mogelijkheden van epidemiologisch onderzoek zijn het verzamelen van gegevens van aan lawaai blootgestelde bevolkingsgroepen via huisartsen of door gericht bevolkingsonderzoek, en deze gegevens te vergelijken met die van op de faktor lawaai na vergelijkbare groepen.

Ook kunnen bepaalde gezondheidsaspecten met tussenpozen bij dezelfde groep mensen worden nagegaan, waarbij het verloop wordt getoetst aan bekend normaal verloop.

Wanneer het belast worden door omgevingslawaai het gehele etmaal plaatsvindt, wat veelal het geval is, wordt het moeilijk om signalen van een verslechterende gezondheidstoestand toe te schrijven aan lawaai gedurende de nacht (slaapverstoring) of aan lawaai overdag. Als hierboven al aangeduid kan lawaai overdag, op zich wellicht al een kritische verhoging van de totale psychische belasting, ook tot een verslechtering van de slaap leiden, evenals uiteraard lawaai 's nachts. Evenzo leidt een slechtere slaap tot een grotere gevoeligheid voor belastingen (ook lawaai) overdag, wat gevolgen versterkt. Oorzaak en gevolg zijn moeilijk te ontwarren en de indirekt of secundair te noemen gevolgen, voortkomend uit epidemiologisch onderzoek, zullen aan de totale geluidbelasting per etmaal moeten worden geweten.

Als voorbeeld: verhoogd gebruik van slaapmiddelen behoeft dus niet uitsluitend aan het vóórkomen van lawaai 's nachts te worden toegeschreven en is vergelijkbaar met gebruik van kalmerende middelen overdag. Naast geneesmiddelengebruik zijn belangrijke indicatoren: contactfrequentie van de huisarts en het vóórkomen van met name hart-vaatziekte en psychische stoornissen of daarvan af te leiden somatische klachten.

In [17] wordt voor een aantal van deze indicatoren, waaronder slaapmiddelengebruik en verhoogde bloeddruk, een duidelijk verband aangetoond met de toename in geluidbelasting.

Overigens zijn de beschikbare gegevens nog spaarzaam en kunnen zij vooralsnog slechts als (belangrijke) indicaties worden gezien, die nog niet bruikbaar zijn als een kwantitatieve onderbouwing van op grond van slaapverstoring te kiezen grenswaarden.

Het valt te verwachten dat in de naaste toekomst de aandacht voor epidemiologisch onderzoek aanmerkelijk zal toenemen.

4. GEGEVENS UIT BELEVINGSONDERZOEK

4.1 Bevindingen

Belevingsonderzoeken, bedoeld om de ernst en de omvang van geluidhinder te peilen, omvatten doorgaans vragen naar de ondervonden hinder of hinderlijkheid van een lawaaisituatie in algemene zin (niet-specifieke hinder). Daarnaast omvatten zij ook doorgaans vragen naar de mate van verstoring van bepaalde activiteiten, zoals een gesprek voeren, naar de televisie kijken, lezen en slapen of rusten (specifieke hinder). Scores op deze laatste aspecten worden ook wel gecombineerd tot een totale of integrale hinderscore of hinder-index (zie bijvoorbeeld [19]).

Voor het hier te geven overzicht van bevindingen is uitgegaan van een samenvoeging van resultaten uit 11 belevingsonderzoeken, vliegtuiglawaai, wegverkeerslawaai en railverkeerslawaai betreffend [18].

Als gemeenschappelijke maatstaf is hierbij, wat de beleving betreft, het percentage mensen gebruikt, dat zegt in ernstige mate door lawaai gehinderd of verstoord te worden. Wat de geluidbelasting betreft, is het dag-nacht geluidniveau L_{dn} in dB(A) gebruikt.

Deze maatstaf is gedefiniëerd als:

$$L_{dn} = 10 \log \frac{1}{24} (15 \times 10^{L_d/10} + 9 \times 10^{(L_n + 10)/10})$$

waarin L_d en L_n respectievelijk de equivalente geluidniveaus gedurende de dagperiode (07.00 - 22.00 uur) en de nachtperiode (22.00 - 07.00 uur) voorstellen. Deze maatstaf komt ongeveer overeen met de in Nederland te gebruiken etmaalwaarde van het equivalent geluidniveau.

Voor genoemde 11 onderzoeken bleek het redelijk mogelijk de resultaten in deze gemeenschappelijke maatstaven te vertalen.

De 11 verbanden tussen geluidbelasting en percentage ernstig gehinderden (niet-specifiek) liggen opmerkelijk dicht bij elkaar. In 7 van deze onderzoeken wordt slaapverstoring als vorm van specifieke hinder afzonderlijk behandeld en ook deze deelresultaten zijn samengevoegd tot één gemiddeld verband tussen het percentage ernstig verstoorden en de geluidbelasting L_{dn} .

Deze 7 onderzoeken zijn te verdelen in 4 onderzoeken met vliegtuiglawaai en 3 met wegverkeerslawaai, te weten, wat betreft vliegtuiglawaai:

Engeland (Heathrow 1), 1961

Frankrijk 1966

Bondsrepubliek Duitsland (München) 1969 en

Zwitserland, 1973

en wat wegverkeerslawaai betreft:

Frankrijk (snelwegverkeer), 1967

Zwitserland (stadsverkeer), 1972 en

U.S.A. (stadsverkeer), 1974.

In figuur 8 worden de afzonderlijke relaties uit de 7 onderzoeken en het gemiddeld verband weergegeven.

1 = Engeland (ontwaken)

2 = Engeland (niet in slaap kunnen vallen)

3 = Frankrijk (ontwaken)

4 = Frankrijk (niet in slaap kunnen vallen)

5 = Bondsrepubliek Duitsland

6 = Zwitserland

- 7 = Frankrijk (snelweg)
- 8 = Zwitserland (stad)
- 9 = U.S.A. (stad)

% Ernstig
verstoorden

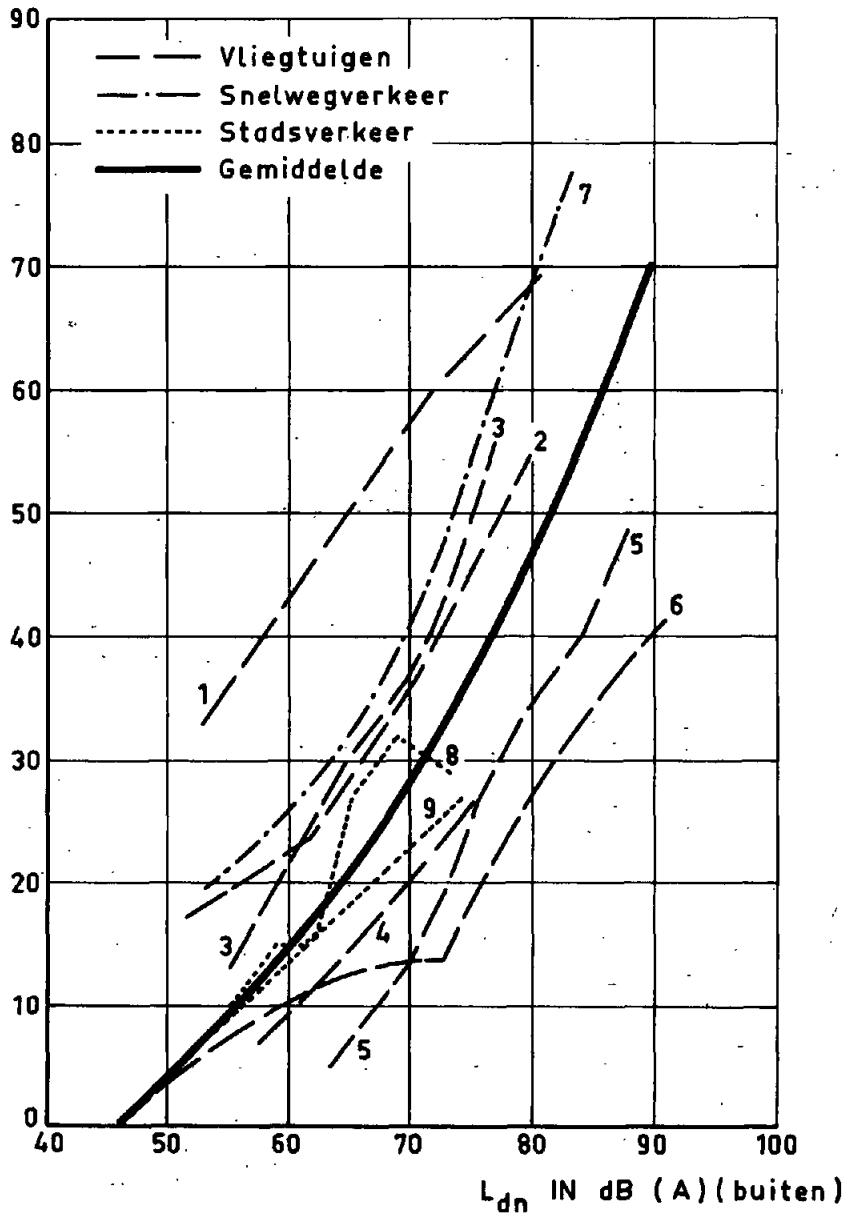


Fig. 8. Slaapverstoring door lawaai, resultaten uit belevingsonderzoeken.
Uit [18].

De afzonderlijke relaties in figuur 8 liggen lang niet zo dicht bij elkaar als bij de niet-specifieke hinder het geval is, maar het bepalen van één gemiddelde was toch zinvol [18]. De spreiding in de relaties wordt vooral veroorzaakt door verschillen in wat uit de beschikbare gegevens tot de categorie ernstig verstoord moest worden gerekend. Dit is met name zo in de onderzoeken met vliegtuiglawaai. In het Engelse onderzoek wordt bijvoorbeeld alleen het percentage gegeven, dat wel eens tijdens de slaap wordt gestoord. Daarentegen wordt in het Zwitserse en Duitse onderzoek een percentage vermeld voor tamelijk vaak (sterk) en zeer vaak (sterk) gestoord.

Relaties uit het Engelse onderzoek (1 en 2 in figuur 8) liggen, in overeenstemming hiermee, boven het gemiddelde verband, terwijl de Zwitserse en Duitse (6 en 5 in figuur 8) er duidelijk onder liggen. Er valt ook niet op te maken dat vliegtuiglawaai verstorender zou zijn dan wegverkeerslawaai of omgekeerd.

Wel blijkt gewekt te worden (door vliegtuiglawaai) als verstorender te worden ervaren dan verhinderd te worden in slaap te vallen.

Te vermelden is nog, tot slot, dat in een Frans onderzoek, railverkeerslawaai betreffend, een verband wordt gegeven tussen lawaai-belasting en rusten overdag. Dit verband, formeel een andere activiteit betreffend, komt ongeveer overeen met kromme 5 in figuur 8.

Boven beschreven overzicht van bevindingen is aangevuld met gegevens ten aanzien van slaapverstoring uit Nederlandse onderzoeken te weten:

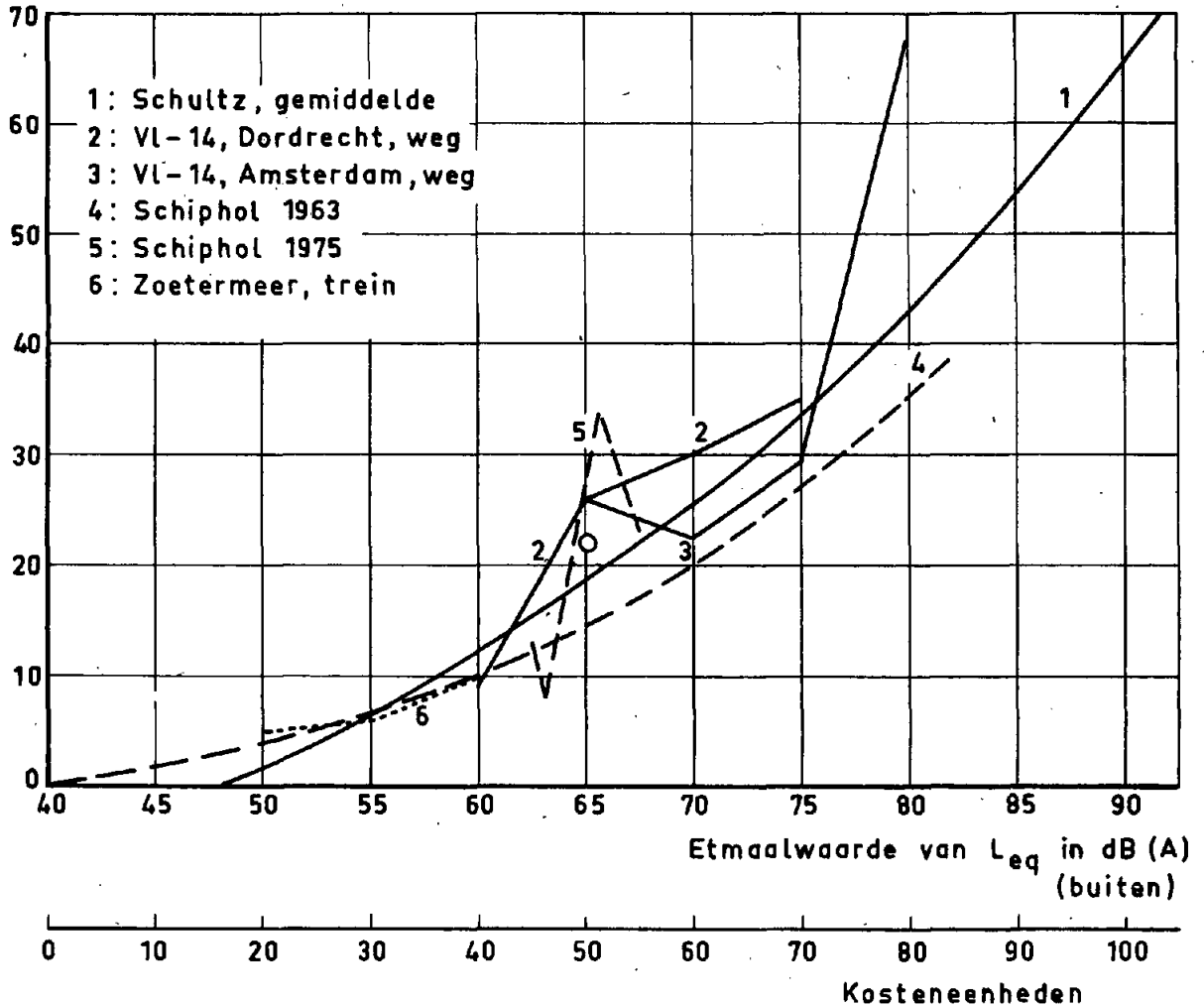
- onderzoeken, de hinder van vliegtuiglawaai betreffend, rond Schiphol in 1963 [19] en in 1975 [20] .
- onderzoeken, de hinder van wegverkeerslawaai betreffend, in Dordrecht van 1975-1977 [21] en in Amsterdam van 1976-1978 [22].
- een onderzoek naar de hinder van railverkeerslawaai in Zoetermeer in 1977-1978 [23] .

In figuur 9 zijn deze gegevens weergegeven in de vorm van het percentage mensen, dat vaak bij slapen wordt gestoord als functie van de geluidbelasting.

Ook is het gemiddeld verband getekend tussen ernstige slaapverstoring en geluidbelasting uit figuur 8.

% Vaak of ernstig
verstoorden

Slaapverstoring door lawaai



Figuur 9. Percentage vaak of ernstig verstoorden als functie van de geluidbelasting

Als maatstaf voor de geluidbelasting is hier de etmaalwaarde van het equivalent geluidniveau gebruikt, gedefiniëerd als de hoogste van de volgende drie waarden:

- de waarde van het equivalente geluidniveau over de periode 07.00 - 19.00 uur (dag)
- de met 5 dB(A) verhoogde waarde van het equivalente geluidniveau over de periode 19.00 - 23.00 uur (avond)
- de met 10 dB(A) verhoogde waarde van het equivalente geluidniveau over de periode 23.00 - 07.00 uur (nacht).

Bij wegverkeerslawaai wordt de avondperiode buiten beschouwing gelaten. Behalve dat een dergelijke middelende maatstaf het lawaai als reeks van afzonderlijke stimuli slechts ten dele en bij benadering beschrijft, ligt bij het weergeven van het verband tussen slaapverstoring en geluidbelasting ook het gebruik van het equivalente geluidniveau over de nachtperiode, in plaats van de etmaalwaarde, meer voor de hand.

Echter uit de akoestische gegevens in [18] is het actuele niveau's nachts niet meer te achterhalen en ook is in de onderzoeken met vliegtuiglawaai [19] [20] de geluidbelasting in Kosteneenheden gedefinieerd per jaar en hoogstenseventueel per etmaal. Omrekeningen zijn derhalve alleen over een etmaal bekeken passend en om niet ten onrechte te suggereren dat actuele niveaus zijn weergegeven is dan ook deze etmaalwaarde aangegeven. Het equivalente geluidniveau over de nachtperiode is hieruit af te leiden door 10 dB(A) van de etmaalwaarde af te trekken en moet worden gezien als het maximaal optredende actuele niveau.

De etmaalwaarde L_e van het equivalente geluidniveau is, afhankelijk van het verschil tussen de equivalente geluidniveaus gedurende dag- en nachtperiode, wat hoger dan het in [18] gebruikte dag- nacht geluidniveau L_{dn} in dezelfde situatie. Uit praktisch voorkomende situaties zijn verschillen te berekenen van 0 tot 3 dB(A) met een meest aannemelijke waarde van 2 dB(A). Voor de omrekening is dus hier gebruikt:

$$L_e = L_{dn} + 2 \quad (\text{dB(A)})$$

Voor de omrekening van de geluidbelasting B in Kosteneenheden (KE) naar de etmaalwaarde van L_{eq} is de volgende betrekking gebruikt:

$$L_e = \frac{1}{2} B + 40 \quad (\text{dB(A)})$$

Deze betrekking is het resultaat van een benadering met bepaalde aannames en is speciaal ten behoeve van de onderlinge vergelijking van de belevingsonderzoeken in dit rapport afgeleid. Voor algemener gebruik is nadere theoretische en praktische toetsing nodig. Er zijn gegevens gebruikt, die Schiphol betreffen, waarvoor overigens de geluidbelastingsmaatstaf Kosteneenheid ook is ontwikkeld. De betrekking geldt derhalve alleen voor een druk vliegveld als Schiphol. De afleiding wordt gegeven in een bijlage.

4.2 Discussie en conclusie

De resultaten ten aanzien van de subjektieve beleving van slaapverstoring, als weergegeven in figuur 9, komen voort uit vele onderzoeken en hebben betrekking op zeer verschillende lawaaisoorten : wegverkeerslawaai, railverkeerslawaai, vliegtuiglawaai en industriellawaai. Aangenomen kan worden dat de resultaten de slaapverstoring 's nachts weergeven. De resultaten van de Nederlandse onderzoeken wijken niet opvallend af van het gemiddelde verband uit [18]. Opgemerkt kan nog worden, dat de uitschietende respons bij 80 dB(A) in het onderzoek te Amsterdam (kromme 3) te maken heeft met reeds aanwezig actief verzet van bewoners tegen de lawaaisituatie. Een klasse-indeling naar geluidbelasting bij het onderzoek rond Schiphol in 1975 van 45 - 50 - 55 KE in plaats van 45 - (45-50) - (50-55) KE geeft door het groter aantal respondenten in de middelste klasse een waarschijnlijker verloop, als aangegeven door het cirkeltje naast kromme 5 bij 65 dB(A). Overigens lijkt het percentage mensen, dat ervaart vaak slaapverstoring te ondervinden, in 12 jaar toegenomen te zijn.

De resultaten, als weergegeven in figuur 9, zijn zodanig consistent dat hieruit een conclusie kan worden getrokken ten aanzien van een op grond van slaapverstoring te kiezen grenswaarde voor het toe te laten geluidniveau, 's nachts of per etmaal in wederzijdse afhankelijkheid. Vanaf een etmaalwaarde van het equivalente geluidniveau van ongeveer 50 dB(A) kunnen mensen vaak of in ernstige mate in hun slaap worden gestoord. Voor een redelijke akoestische kwaliteit zal de kans op ernstige verstoring zeer gering moeten zijn. Bij een etmaalwaarde van 50 dB(A) is dit het geval. Bij deze grenswaarde mag worden verwacht dat doorgaans de gewenste nulrespons wordt benaderd, met een onzekerheidsmarge van 5%. Dat wil zeggen, dat in het ongunstigste geval ten hoogste 5% van de betrokken populatie vaak of ernstig in de slaap gestoord kan blijken te worden. Een etmaalwaarde van L_{eq} van 50 dB(A) betekent voor de nachtperiode een equivalent geluidniveau van ten hoogste 40 dB(A). Aannemend dat in de betreffende belevingsonderzoeken de ramen in ventilatiestand hebben gestaan en derhalve de geluidisolatie van de gevel niet meer dan 10 dB(A) heeft bedragen, betekent dit een maximaal toe te laten equivalent geluidniveau binnen van 30 dB(A). Uit een overzicht van aanbevelingen in een rapport van de United States Environmental Protection Agency [24] valt, ter vergelijking, af te leiden dat ten hoogste 35 dB(A) binnen gewenst is en lagere niveaus de voorkeur verdienen. Overigens wil een zeer geringe kans op ernstige verstoring niet zeggen dat niet een groter percentage mensen dan wel soms in hun slaap wordt gestoord.

Zoals ook in 2.4 op grond van fysiologische effecten is geconcludeerd, geldt ook hier dat het equivalente geluidniveau voor de nachtelijke periode mogelijk een redelijke eerste benadering voor de karakterisering van de geluidbelasting kan zijn. Maar met name voor slaapverstoring zijn de afzonderlijke stimuli zeer bepalend, die door middelende maatstaven onvoldoende worden beschreven.

Een tweede conclusie, die kan worden getrokken, is dat ook op grond van belevingsonderzoeken niet kan worden gesteld, dat een bepaalde, betrekkelijk veel voorkomende lawaaibron meer slaapverstoring veroorzaakt dan een andere.

Er zijn geen belevingsonderzoeken gevonden, die specifiek gericht zijn op bejaarde mensen. In een onderzoek in Zwitserland [25] zijn geen systematische verschillen in storingsgevoeligheid tussen verschillende leeftijdsgroepen te vinden. Uit het op bejaarden gerichte belevingsonderzoek in het kader van dit project valt inmiddels af te leiden dat bejaarden zeker niet gevoeliger voor slaapverstoring lijken te zijn. De conclusie uit fysiologisch onderzoek, dat bejaarden gevoeliger voor slaapverstoring lijken te zijn dan jongere mensen, valt vooralsnog dus op grond van belevingsonderzoek niet te onderschrijven.

Ook belevingsonderzoeken, gericht op mensen, waarvan de gezondheidstoestand in meest algemene zin in negatieve zin afwijkt, zijn blijkbaar nog niet talrijk. Gevonden is een onderzoek in Zwitserland naar de invloed van wegverkeerslawaaai op ziekenhuispatiënten [26]. Volgens dit onderzoek wordt, onafhankelijk van de lawaaibelasting, 5 tot 6% van de patiënten vaak in de slaap of bij het inslapen gestoord. Ook zouden ziekenhuispatiënten, ook voor slaapverstoring, minder gevoelig zijn dan gezonde mensen in hun normale woonomgeving. De conclusie luidt dat ten aanzien van ziekenhuizen geen lagere grenswaarde dan ten aanzien van woningen nodig zou zijn. Gezien in dit onderzoek niet beschouwde factoren als bijvoorbeeld het lawaainiveau, dat intern wordt veroorzaakt en lawaai van buiten kan maskeren (hoewel het evenmin gewenst is als lawaai van buiten!), en de gangbare praktijk wat slaapmiddelen gebruik betreft, moet deze conclusie als voorbarig worden bestempeld. Ook wat mensen met een slechtere gezondheidstoestand betreft moet hier dan ook worden geconcludeerd, dat een veronderstelde grotere gevoeligheid voor slaapverstoring vooralsnog niet uit belevingsonderzoek valt af te leiden.

5. EINDCONCLUSIES

De in Nederland toe te passen beoordelingsmaatstaven voor de geluidbelasting gebruikend zijn op grond van fysiologische effecten vooralsnog geen gevolgtrekkingen te baseren ten aanzien van grenswaarden, die uit een oogpunt van akoestische kwaliteit voor de toe te laten geluidbelasting tijdens de nachtelijke slaap gekozen zouden moeten worden. Ook nog te spaarzame gegevens uit epidemiologisch onderzoek zijn niet bruikbaar ter kwantitatieve onderbouwing van dergelijke grenswaarden. Op grond van talrijke belevingsonderzoeken kan wel een conclusie worden getrokken ten aanzien van een vanwege slaapverstoring te kiezen grenswaarde. Met als criterium het doorgaans ontbreken van ernstige slaapverstoring door lawaai wordt een etmaalwaarde van het equivalent geluidniveau van 50 dB(A) gezien als het maximaal toe te laten geluidniveau buiten voor een redelijke tot goede akoestische kwaliteit. Hierbij geldt een onzekerheidsmarge van 5%, zodat in sommige situaties tot 5% van de betrokken populatie bij dat niveau ernstige slaapverstoring zal kunnen ondervinden.

Een etmaalwaarde van het equivalent geluidniveau van 50 dB(A) betekent voor de nachtperiode (23.00 - 07.00 uur) een equivalent geluidniveau buiten van ten hoogste 40 dB(A). Aannemend dat in genoemde belevingsonderzoeken de ramen in ventilatiestand hebben gestaan, betekent dit een maximaal toe te laten equivalent geluidniveau binnen van 30 dB(A). Bij slapen overdag kan ook van deze niveaus worden uitgegaan, al verdient het aanbeveling door passende maatregelen, zoals het scheppen van een zo geheten stille ruimte, een nog lager geluidniveau te realiseren.

Op grond van fysiologisch onderzoek valt wel te concluderen dat vanaf een L_{max} van 60 dB(A) rekening moet worden gehouden met het optreden van ontwaakreacties. Mede in verband daarmee is nadere bestudering van de bruikbaarheid van het equivalent geluidniveau als beoordelingsmaatstaf voor de nachtelijke periode in relatie tot slaapverstoring aan te bevelen.

Noch op grond van fysiologisch onderzoek noch op grond van belevingsonderzoek kan worden geconcludeerd dat een bepaalde veel voorkomende lawaaibron bij gelijke geluidbelasting verstorender zou zijn dan andere.

Op grond van een aantal fysiologische onderzoeken lijken bejaarden gevoeliger voor slaapverstoring te zijn dan jongere mensen en lijkt het aan te bevelen voor deze bevolkingsgroep 's nachts een lager geluidniveau toe te laten. In een op bejaarden gericht belevingsonderzoek in het kader van dit project wordt deze grotere gevoeligheid echter niet gevonden.

De algemene veronderstelling dat mensen, waarvan de gezondheid in lichamelijke of psychische zin gestoord is, gevoeliger zouden zijn voor slaapverstoring door lawaai, wordt vooralsnog niet door gericht fysiologisch of belevingsonderzoek gestaafd.

LITERATUUR

- [1] Hess, W.R., Sleep as a phenomenon of the integral organism, in: Progress in Brain Research, Vol. 18, Sleep Mechanisms, Elsevier, Amsterdam, 1965, pp. 3 - 8.
- [2] Akert, K., The anatomical substrate of sleep, in: Progress in Brain Research, Vol. 18, Sleep Mechanisms, Elsevier, Amsterdam, 1965, pp. 9 - 19.
- [3] Hartman, E.L., The functions of sleep, Yale University Press, New Haven and London, 1973.
Ook uitgegeven door Het Spectrum, Utrecht/Antwerpen, als Aulaboek 567: De functies van het slapen, 1976.
- [4] Dement, W.C., Slapen en dromen, Lemniscaat, Rotterdam, 1976.
- [5] Dement, W.C. and Kleitman, N., Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility and dreaming, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol. 9, 1957, pp. 673 - 690.
- [6] Rechtschaffen, A. and Kales, A., editors, A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects, Publication no. 204, National Institute of Public Health, U.S. Department of Health, Education and Welfare, 1968.
- [7] Jurriëns, A.A., Sleeping twenty nights with traffic noise - results of laboratory experiments, Proceedings of the Third International Congress on Noise as a Public Health Problem, Freiburg BRD, September 1978 (in press).
- [8] Jurriëns, A.A., Invloed van geluid op het slaap-EEG, II: Deprivatie stadium 4, Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Rapport B 289 , juni 1972.
- [9] Lukas, J.S., Noise and sleep: A literature review and a proposed criterion for assessing effect, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 58, No. 6, December 1975, pp. 1232-1242

- [10] Griefahn, B., Jansen, G. und Klosterkötter, W., Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen - eine Auswertung von Schlaf - Literatur, Berichte 4/76, Umweltbundesamt, Berlin, Februar 1976.
- [11] Griefahn, B., Die Wirkung von Schallreizen auf den schlafenden Menschen, Kampf dem Lärm, 23. Jahrgang, Heft 5, Oktober 1976, S. 115-119.
- [12] Griefahn, B. and Muzet, A., Noise-induced sleep disturbances and their effects on health, Journal of Sound and Vibration, Vol. 59 (1), 1978, pp. 99-106.
- [13] Thiessen, G.J., Disturbance of sleep by noise, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 64(1), July 1978, pp. 216-222.
- [14] de Camp, U., Schlafbeeinflussung durch Geräusche: eine Literaturübersicht, Applied Acoustics, Vol. 10, 1977, pp. 263-289.
- [15] Lukas, J.S., Measures of noise level: their relative accuracy in predicting objective and subjective responses to noise during sleep, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460, Report EPA-600/1-77-010, February 1977.
- [16] Griefahn, B., Research on noise-disturbed sleep since 1973, Proceedings on the Third International Congress on Noise as a Public Health Problem, Freiburg BRD, September 1978 (in press).
- [17] Knipschild, P.G., Medische gevolgen van vliegtuiglawaai, Proefschrift Universiteit van Amsterdam, 1976.
- [18] Schultz, T.J., Synthesis of social surveys on noise annoyance, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 64(2), August 1978, pp. 377-405.
- [19] Bitter, C., Geluidhinder door vliegtuigen, in: Menswetenschappen vandaag, Boom, Meppel.
- [20] Bitter, C., Beleving van geluidwerende voorzieningen (tegen

- vliegtuiglawaai) in de woonsituatie, concept-rapport ten behoeve van ICG-projekt OLL-14, Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, oktober 1978.
- [21] Bitter, C., Kaper, J.P. en Pinkse, W.A.H., Beleving geluidwerende voorzieningen in de woonsituatie langs Rijksweg 16 in Dordrecht, ICG-rapport VL-DR-14-01, Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, augustus 1978.
- [22] Bitter, C. e.a., Beleving geluidwerende voorzieningen in de woonsituatie langs Rijksweg 10 (Einsteinweg) in Amsterdam, rapport ten behoeve van ICG-projekt OVL-14 (in voorbereiding), Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, 1979.
- [23] van Dongen, J.E.F., Onderzoek naar de beleving van het geluid van de nieuwe spoorlijn Zoetermeer, tussentijds verslag ten behoeve van ICG-projekt ORL-03.2, Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, maart 1979.
- [24] Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Noise Abatement and Control, doc. 550/.9-74-004, March 1974.
- [25] Wehrli, B., Nemecek, J., Turrian, V., Hofmann, R. und Wanner, H.U., Auswirkungen des Strassenverkehrslärm in der Nacht, Kampf dem Lärm, 25 (1978), S. 138-149.
- [26] Bakke, P., Grandjean, E. und Lauber, A., Der Verkehrslärm und seine Störwirkungen auf Spitalpatienten, Kampf dem Lärm, 25 (1978), S. 35-39.
- [27] Verhave, W., Lawaabelastingscontouren rond luchthavens, Technische Hogeschool Delft, Afdeling Civiele Techniek, Verslag deelstudie Vakgroep Bouwfysica, Delft, februari 1978.

BIJLAGE

Wanneer een overvliegend vliegtuig wordt beschouwd als een puntbron, welke per seconde een geluidenergie E_v uitstraalt, dan is door integratie de totaal ontvangen energie in een punt op de grond E_g eenvoudig (theoretisch) te berekenen. Deze is:

$$(1) \quad E_g = \frac{E_v}{4Hv}$$

waarin H de kortste afstand tot het vliegtuig vanuit het beschouwde punt voorstelt en v de snelheid van het vliegtuig is.

Hierbij zijn, naast de puntbron, de nodige vooronderstellingen gemaakt, namelijk:

- een horizontale vlucht
- E_v en v constant
- geen bodemdemping, luchtabsorptie en andere meteorologische invloeden.

Deze theoretische energiebijdrage is als volgt te schrijven:

$$(2) \quad E_g = \frac{E_v}{4\pi H^2} \cdot \frac{\pi H}{v} = I_{\max} \cdot \tau$$

waarin I_{\max} de maximale geluidintensiteit en τ de effectieve overvliegtijd voorstelt. Deze laatste wordt dus gedefiniëerd als de tijd, waarmee de maximale intensiteit in een punt op grond vermenigvuldigd moet worden om de totale energiebijdrage van een overvliegend vliegtuig te verkrijgen.

Het equivalente geluidniveau gedurende een periode T, welke lang is ten opzichte van de overvliegtijd, bedraagt dan:

$$(3) \quad L_T = 10 \log \frac{\tau}{T} \cdot 10^{L_{\max}/10}$$

waarin L_{\max} het bij I_{\max} behorende maximale geluidniveau is.

Deze betrekking is nog te schrijven als:

$$(4) \quad L_T = L_{\max} + 10 \log \tau - 10 \log T$$

Uit (2) is te zien dat, in deze vereenvoudigde benadering, I_{\max} en daarmee L_{\max} en τ afhangen van de minimale overvlieghoogte H . I_{\max} neemt af met het kwadraat van H en τ neemt recht evenredig toe met H . Voor de termen L_{\max} en $10 \log \tau$ in L_T betekent dit, bij verdubbeling van H , een afname respectievelijk toename van 6 dB(A) respectievelijk 3 dB(A).

In de praktijk blijkt, bijvoorbeeld door luchtabsorptie en bodemdemping, L_{\max} veel meer af te nemen bij verdubbeling van de vlieghoogte H , tot 10 dB(A) toe [27], terwijl $10 \log \tau$ door met toenemende hoogte iets toenemende vliegsnelheid v juist wat minder dan 3 dB(A) toeneemt. Een op praktijkberekeningen als in [27] gebaseerde schatting van de werkelijke verhouding tussen afname en toename bedraagt 3 : 1, waarbij de fout in de totaaluitkomst niet groter dan 1 dB(A) zal zijn. Betrekking (4) is dan te schrijven als

$$(5) L_T = \frac{2}{3} L_{\max} + C - 10 \log T$$

Uit (4) en (5) volgt dan:

$$(6) C = \frac{1}{3} L_{\max} + 10 \log \tau$$

Het huidige vliegtuigbestand, dat een luchthaven als Schiphol aandoet, zal een energetisch gemiddeld piekniveau $\overline{L_{\max}}$ van 90 dB(A) produceren op een uit die middeling volgende hoogte van ongeveer 100 m. Bij een gemiddeld optredende vliegsnelheid van 80 m/s is uit (2) af te leiden dat τ dan ongeveer 4 s zal bedragen. Daarmee wordt $C = 36$, en:

$$(7) L_T = \frac{2}{3} L_{\max} + 36 - 10 \log T = 10 \log \frac{3980 \cdot 10^{\frac{2}{30} L_{\max}}}{T}$$

Het is duidelijk dat betrekking (7) afhankelijk is van de gemiddelde geluidproduktie. Deze moet echter al verdubbelen of gehalveerd worden om 1 dB(A) verandering in C en daarmee betrekking (7) te veroorzaken.

Het equivalent geluidniveau L_T ten gevolge van N_T vliegtuigen wordt dan:

$$(8) L_T = 10 \log \frac{\sum_{N_T} 3980 \cdot 10^{\frac{2}{30} L_{\max}}}{T}$$

$$= 10 \log \sum_{N_T} 10^{\frac{2}{30} L_{\max}} + 36 - 10 \log T$$

Met $\overline{L_{\max}}$, het energetisch gemiddelde piekniveau van de N_T vliegtuigen, wordt dit:

$$(9) \cdot L_T = 10 \log N_T + 10 \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 36 - 10 \log T$$
$$= \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_T + 36 - 10 \log T$$

De etmaalwaarde van het equivalent geluidniveau met betrekking tot vliegverkeer wordt, overeenkomstig definities ten aanzien van railverkeerslawaai en industrielawaai, hier gedefiniëerd als de hoogste van de volgende drie waarden:

- a) de waarde van het equivalente geluidniveau over de periode 07.00 - 19.00 uur (dag).
- b) de met 5 dB(A) verhoogde waarde van het equivalente geluidniveau over de periode 19.00 - 23.00 uur (avond)
- c) de met 10 dB(A) verhoogde waarde van het equivalente geluidniveau over de periode 23.00 - 07.00 uur (nacht).

Zijn N_d , N_a en N_n de werkelijke aantallen vliegbewegingen (zonder nachtstraf) gedurende respectievelijk dag-, avond- en nachtperiode, dan zijn de equivalente geluidniveaus L_d , L_a en L_n over die periodes met behulp van (9) als volgt te schrijven.

$$(10) \cdot L_d = \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_d + 36 - 10 \log 12.3600$$
$$= \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_d - 10,4$$
$$L_a = \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_a - 5,6$$
$$L_n = \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_n - 8,6$$

Volgens gegevens van het bureau geluidszaken van de Rijksluchtvaartdienst valt, wat Schiphol betreft, van het totaal aantal werkelijke vliegbewegingen per etmaal ongeveer 80 % in de hierboven aangegeven dagperiode, ongeveer 15% in de avondperiode en 5% in de nachtperiode.

Met $N_e = N_d + N_a + N_n$

is dus

$$N_d = 0,80 N_e$$

$$N_a = 0,15 N_e \text{ en}$$

$$N_n = 0,05 N_e$$

en zijn de equivalente geluidniveaus over dag-, avond- en nachtperiode als volgt te schrijven:

$$(11) L_d = \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_e - 11,3$$

$$L_a = \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_e - 13,8$$

$$L_n = \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_e - 21,6$$

Verhoging van L_a met 5 dB(A) en van L_n met 10 dB(A) leert, dat de avondperiode bepalend is voor de etmaalwaarde van het equivalent geluidniveau, althans in deze benadering.

De etmaalwaarde L_e wordt dan:

$$(12) L_e = \frac{2}{3} \overline{L_{\max}} + 10 \log N_e - 9$$

De formule voor de geluidbelasting in KE luidt:

$$B = \frac{20}{15} \overline{L_{\max}} + 20 \log N - 157$$

waarin $\overline{L_{\max}}$ weer het energetisch gemiddelde piekniveau van de overvliegende vliegtuigen en N het aantal vliegbewegingen per jaar voorstelt, inclusief nachtstraf.

Een berekening per etmaal wordt soms ook wel gebruikt en is hier het meest passend. Dit veronderstelt een gelijkmatige verdeling van vliegbewegingen over het jaar.

Deling van N door 365 geeft:

$$(13) B = \frac{20}{15} \overline{L_{\max}} + 20 \log N_{24} - 106$$

waarin N_{24} het aantal vliegbewegingen per etmaal voorstelt, inclusief nachtstraf.

N_{24} komt voort uit een gedifferentieerde weging (nachtstraffactor)

van de werkelijke aantallen vliegbewegingen gedurende verschillende periodes van het etmaal. Uitgaande van een gelijkmatige verdeling van het aantal vliegbewegingen over dag-, avond- en nachtperiode, kunnen voor deze periodes gemiddelde nachtstraffactoren worden berekend, te weten respectievelijk 1,33 voor de dag-, 5,25 voor de avond- en 9,75 voor de nachtperiode. Dus:

$$(14) N_{24} = 1,33 N_d + 5,25 N_a + 9,75 N_n$$

met de procentuele verdeling 80 - 15 - 5, als hiervoor, wordt dit:

$$(15) N_{24} = (1,33 \times 0,8 + 5,25 \times 0,15 + 9,75 \times 0,05) N_e \\ = 2,34 N_e$$

Dit ingevuld in (13) geeft:

$$(16) B = \frac{20}{15} \overline{L}_{\max} + 20 \log N_e - 98 \text{ of:}$$

$$(17) \overline{L}_{\max} = \frac{3}{4} B - 15 \log N_e + 74$$

Betrekking (17) ingevuld in (12) geeft:

$$(18) \boxed{L_e = \frac{1}{2} B + 40}$$

Het is ook mogelijk de avondperiode niet afzonderlijk te beschouwen, zoals ook ten aanzien van wegverkeerslawaai gebeurt. L_d en $L_n + 10$ zijn dan ongeveer even groot en de omrekening zou worden:

$$L_e = \frac{1}{2} B + 38$$

Het feit, dat juist in de avond de nachtstraffactor van uur tot uur hoger is gesteld lijkt echter het belang van een afzonderlijke beschouwing van deze periode te onderstrepen. Een gemiddelde nachtstraffactor van 5,25 betekent bijvoorbeeld, indien doorgevoerd in de berekening van het equivalent geluidniveau over deze periode, een weging (verhoging) met ruim 7 dB(A) (wegverkeerslawaai : 5 dB(A)), terwijl de faktor 9,75 voor de nachtperiode (ook) 10 dB(A) verhoging zou betekenen.

Vanwege de schattingen bij de omrekeningen en de aannames bij de verdeling van de vliegbewegingen over het etmaal moet in (18) met een onzekerheid van 2 dB(A) rekening worden gehouden en geldt (18) in principe alleen voor Schiphol. In dit verband zij opgemerkt dat de berekening van de geluidbelasting in Kosteneenheden is gebaseerd op een onderzoek naar de geluidhinder rond Schiphol in 1963 en is ontwikkeld ter optimale correlatie met de hinderscores in dat onderzoek. Gebruikt als pure fysische maatstaf voor andere vliegvelden kan het verband met de ondervonden hinder anders uitvallen en zou een andere maatstaf (L_e ?) beter kunnen correleren. Wanneer voor verschillende vliegvelden verschillende omrekeningen van KE naar L_e nodig blijken, zou het interessant zijn na te gaan of de dosis-respons krommen met L_e als maatstaf wellicht beter overeenstemmen dan met KE als maatstaf. Tot slot zij geconstateerd dat betrekking (18), het resultaat van de hier gebruikte benadering, sterk lijkt op het resultaat van een soortgelijke poging in [27]. Het verschil is een verschuiving van ongeveer 4 dB(A), afgaande op figuur 9 ten voordele van de hier gevolgde benadering. Voor algemener gebruik van betrekking (18) dan in het kader van dit rapport is nadere theoretische en praktische toetsing nodig.

t.b.v. documentatie-systemen

1. VL-DR-24-02
2. Slaapverstoring door lawaai
3. Ir. A. A. Jurriëns
4. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Delft
5. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne
6. Onderbouwing grenswaarden voor andere geluidsgevoelige bestemmingen dan woningen
8. maart 1981
16. 42 blz.

t.b.v. documentatie-systemen

1. VL-DR-24-02
2. Slaapverstoring door lawaai
3. Ir. A. A. Jurriëns
4. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Delft
5. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne
6. Onderbouwing grenswaarden voor andere geluidsgevoelige bestemmingen dan woningen
8. maart 1981
16. 42 blz.

t.b.v. documentatie-systemen

1. VL-DR-24-02
2. Slaapverstoring door lawaai
3. Ir. A. A. Jurriëns
4. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Delft
5. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne
6. Onderbouwing grenswaarden voor andere geluidsgevoelige bestemmingen dan woningen
8. maart 1981
16. 42 blz.

t.b.v. documentatie-systemen

1. VL-DR-24-02
2. Slaapverstoring door lawaai
3. Ir. A. A. Jurriëns
4. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Delft
5. Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne
6. Onderbouwing grenswaarden voor andere geluidsgevoelige bestemmingen dan woningen
8. maart 1981
16. 42 blz.

13 Dit rapport geeft, uit de beschikbare en in dit kader bruikbare literatuur, gegevens en conclusies uit fysiologisch, epidemiologisch en belevingsonderzoek naar de invloed van wegverkeers-, railverkeers-, vliegtuig- en industrielawaai op de slaap. Met als criterium het doorgaans ontbreken van ernstige slaapstoring door lawaai wordt een etmaalwaarde van het equivalent geluidsniveau van 50 dB(A) gezien als het maximaal toe te laten geluidsniveau buiten. Dit betekent voor de nachtperiode een equivalent geluidsniveau buiten van ten hoogste 40 dB(A). Aangenomen dat in de onderbouwende onderzoeken de ramen op ventilatiestand hebben gestaan betekent dit minimaal 10 dB(A) gevelisolatie ofwel een maximaal toelaatbaar equivalent geluidsniveau binnen van 30 dB(A). Voor het piekniveau geldt, zo blijkt uit fysiologisch onderzoek, dat vanaf 60 dB(A) rekening moet worden gehouden met het optreden van ontwaakreacties.

Wat slaapverstoring betreft is vooralsnog niet aangetoond dat een bepaalde lawaai-bron verstorender is dan andere.

Op grond van fysiologisch onderzoek lijken oudere mensen gevoeliger te zijn voor slaapverstoring. Uit op bejaarden gericht belevingsonderzoek, in het kader van dit project uitgevoerd, blijkt deze grotere geluidsgevoeligheid echter niet.

Ook is vooralsnog niet aangetoond dat lichamelijk of psychisch minder gezonde mensen gevoeliger zijn voor slaapverstoring door lawaai.

13 Dit rapport geeft, uit de beschikbare en in dit kader bruikbare literatuur, gegevens en conclusies uit fysiologisch, epidemiologisch en belevingsonderzoek naar de invloed van wegverkeers-, railverkeers-, vliegtuig- en industrielawaai op de slaap.

Met als criterium het doorgaans ontbreken van ernstige slaapstoring door lawaai wordt een etmaalwaarde van het equivalent geluidsniveau van 50 dB(A) gezien als het maximaal toe te laten geluidsniveau buiten. Dit betekent voor de nachtperiode een equivalent geluidsniveau buiten van ten hoogste 40 dB(A). Aangenomen dat in de onderbouwende onderzoeken de ramen op ventilatiestand hebben gestaan betekent dit minimaal 10 dB(A) gevelisolatie ofwel een maximaal toelaatbaar equivalent geluidsniveau binnen van 30 dB(A). Voor het piekniveau geldt, zo blijkt uit fysiologisch onderzoek, dat vanaf 60 dB(A) rekening moet worden gehouden met het optreden van ontwaakreacties.

Wat slaapverstoring betreft is vooralsnog niet aangetoond dat een bepaalde lawaai-bron verstorender is dan andere.

Op grond van fysiologisch onderzoek lijken oudere mensen gevoeliger te zijn voor slaapverstoring. Uit op bejaarden gericht belevingsonderzoek, in het kader van dit project uitgevoerd, blijkt deze grotere geluidsgevoeligheid echter niet.

Ook is vooralsnog niet aangetoond dat lichamelijk of psychisch minder gezonde mensen gevoeliger zijn voor slaapverstoring door lawaai.

13 Dit rapport geeft, uit de beschikbare en in dit kader bruikbare literatuur, gegevens en conclusies uit fysiologisch, epidemiologisch en belevingsonderzoek naar de invloed van wegverkeers-, railverkeers-, vliegtuig- en industrielawaai op de slaap.

Met als criterium het doorgaans ontbreken van ernstige slaapstoring door lawaai wordt een etmaalwaarde van het equivalent geluidsniveau van 50 dB(A) gezien als het maximaal toe te laten geluidsniveau buiten. Dit betekent voor de nachtperiode een equivalent geluidsniveau buiten van ten hoogste 40 dB(A). Aangenomen dat in de onderbouwende onderzoeken de ramen op ventilatiestand hebben gestaan betekent dit minimaal 10 dB(A) gevelisolatie ofwel een maximaal toelaatbaar equivalent geluidsniveau binnen van 30 dB(A). Voor het piekniveau geldt, zo blijkt uit fysiologisch onderzoek, dat vanaf 60 dB(A) rekening moet worden gehouden met het optreden van ontwaakreacties.

Wat slaapverstoring betreft is vooralsnog niet aangetoond dat een bepaalde lawaai-bron verstorender is dan andere.

Op grond van fysiologisch onderzoek lijken oudere mensen gevoeliger te zijn voor slaapverstoring. Uit op bejaarden gericht belevingsonderzoek, in het kader van dit project uitgevoerd, blijkt deze grotere geluidsgevoeligheid echter niet.

Ook is vooralsnog niet aangetoond dat lichamelijk of psychisch minder gezonde mensen gevoeliger zijn voor slaapverstoring door lawaai.

13 Dit rapport geeft, uit de beschikbare en in dit kader bruikbare literatuur, gegevens en conclusies uit fysiologisch, epidemiologisch en belevingsonderzoek naar de invloed van wegverkeers-, railverkeers-, vliegtuig- en industrielawaai op de slaap.

Met als criterium het doorgaans ontbreken van ernstige slaapstoring door lawaai wordt een etmaalwaarde van het equivalent geluidsniveau van 50 dB(A) gezien als het maximaal toe te laten geluidsniveau buiten. Dit betekent voor de nachtperiode een equivalent geluidsniveau buiten van ten hoogste 40 dB(A). Aangenomen dat in de onderbouwende onderzoeken de ramen op ventilatiestand hebben gestaan betekent dit minimaal 10 dB(A) gevelisolatie ofwel een maximaal toelaatbaar equivalent geluidsniveau binnen van 30 dB(A). Voor het piekniveau geldt, zo blijkt uit fysiologisch onderzoek, dat vanaf 60 dB(A) rekening moet worden gehouden met het optreden van ontwaakreacties.

Wat slaapverstoring betreft is vooralsnog niet aangetoond dat een bepaalde lawaai-bron verstorender is dan andere.

Op grond van fysiologisch onderzoek lijken oudere mensen gevoeliger te zijn voor slaapverstoring. Uit op bejaarden gericht belevingsonderzoek, in het kader van dit project uitgevoerd, blijkt deze grotere geluidsgevoeligheid echter niet.

Ook is vooralsnog niet aangetoond dat lichamelijk of psychisch minder gezonde mensen gevoeliger zijn voor slaapverstoring door lawaai.