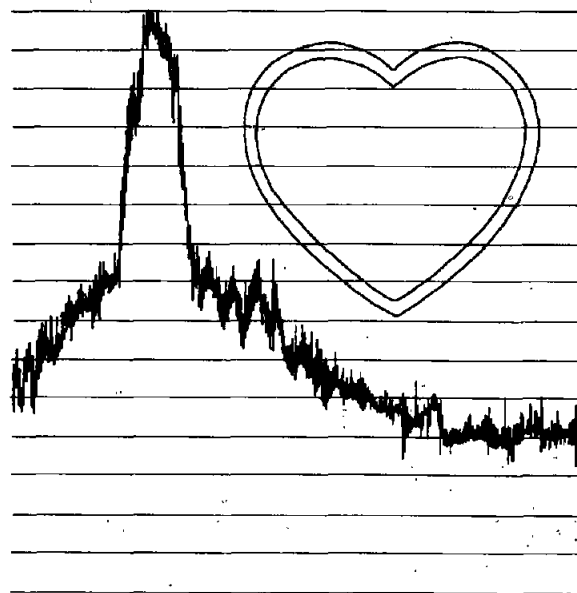


GA-HR-01-02

Directoraat-Generaal
voor de Milieuhygiëne

De gevolgen van
lawaai veroorzaakt
door nachtvluchten,
op slaap, gezond-
heid en gedrag



Onderzoekprogramma
geluidhinder

Invloed van geluid op de gezondheid



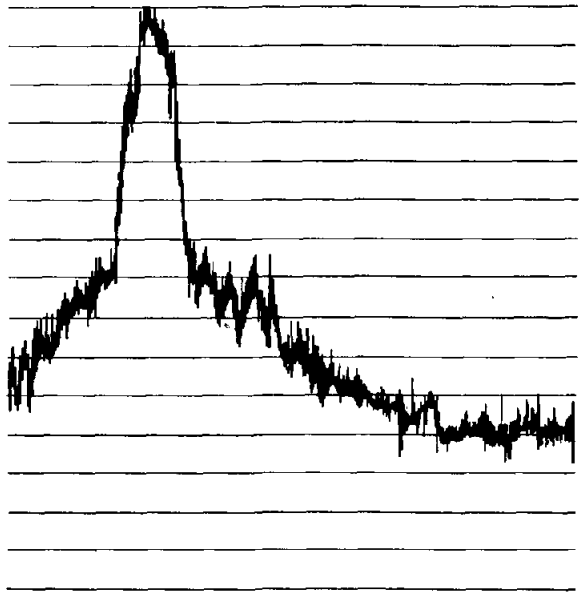
Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

HR-01-02/002

GA-HR-01-02

- De gevolgen van lawaai veroorzaakt door nachtvluchten, op slaap, gezondheid en gedrag

- The effects of environmental noise caused by night-time aircraft operations, on sleep, health and human behaviour



Ministerie VROM
CS / Dienst Documentaire Informatie
Bibliotheek VROM/NROV
interne postcode 722
Postbus 20501, 2500 FZ DEN HAAG
Granjebuitensingel 90
Dienst: D917
Signatuur: *BB110-GA-HR*

01-02/002

BIBLIOTHEEK
Ministerie VROM
Dokter van der Stamstr. 2
2265 BC LEIDSCHENDAM
SIGN. : *gghl GA-HR.01.02 rx2*
Tijd. HB-SIGN : *gghl*
Bestelnr. :
Invoernr. : *MSUKO 87180050*



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer



Onderzoekprogramma
geluidhinder

Documentbeschrijving

1 Rapport nr. GA-HR-01-02	6 ISBN nummer 90 346 1024 1		
2 Titel rapport De gevolgen van lawaai veroorzaakt door nachtvluchten, op slaap, gezondheid en gedrag	7 Distributienummer 61078/12-86 8 Datum publicatie december 1986		
3 Schrijver(s)/redacteur(s) drs. R.G. de Jong, T.R. Knottnerus en dr. K. Altena	9 Rapport type en periode Hoofdrapport 1986		
4 Uitvoerend instituut - Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO, Wassenaarseweg 56, Leiden (tel. 071-178888) - Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde, Rijksuniversiteit Groningen, Pleiadenlaan 12-14, Groningen (tel. 050-634607)	10 Titel onderzoekproject Literatuurstudie slaapverstoring		
5 Opdrachtgever(s) Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne, Directie Geluid, van het Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer / Rijksluchtvaartdienst van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat			
11 Samenvatting <p>In opdracht van het DGMH en de RLD hebben het NIPG-TNO en de IVEM van de R.U. Groningen een literatuurstudie uitgevoerd ten behoeve van de besluitvorming over het nachtvluchten-regime op vliegveld Zuid-Limburg in het kader van een gerechtelijke uitspraak daaromtrent. Kort geformuleerd was het doel van het onderzoek informatie te verzamelen met betrekking tot (a) de relatie tussen door geluid aangetaste slaapkwaliteit en gezondheid in algemene zin; (b) de relatie tussen het uitvoeren van nachtvluchten en slaapkwaliteit; (c) de mogelijkheid om tegen aantasting van slaapkwaliteit door vliegtuiglawaai bescherming te bieden door geluidisolatie van de woning.</p> <p>De invloed van geluid op slaap is bestudeerd aan de hand van de volgende aspecten: fysiologische reacties (bijvoorbeeld cardio-vasculaire veranderingen, EEG, e.d.), ontwaakreacties en na-effecten. Sommige fysiologische reacties adapteren aan geluid, andere doen dat niet. Irreversibele fysiologische effecten ten gevolge van geluid zijn niet uitgesloten, evenmin <i>directe</i> gezondheidseffecten. Beneden $L_{A_{eq}}$ (in huis) van 30 à 35 dB(A) en $L_{A_{max}}$ van 40 à 45 dB(A) zijn geen reacties geconstateerd. Ontwaakreacties beginnen op te treden bij $L_{A_{eq}}$ (in huis) van 35 à 40 dB(A) en $L_{A_{max}}$ van 55 dB(A), bij minder dan ca. 20 overvluchten per nacht. Bij een hoger aantal overvluchten daalt deze drempel; bij 30 of meer overvluchten per nacht lijkt een correctie van 5 dB(A) gerechtvaardigd. Mensen die reeds jaren in een lawaaiige omgeving wonen, vertonen meer ontwaakreacties dan mensen die in een rustige omgeving wonen. Volledige gewenning aan nachtelijk vliegtuiglawaai treedt dus niet op. Ontwaakreacties bepalen in hoge mate de ervaren slaapkwaliteit. Hierdoor kan geluid, als omgevingsstressor, <i>indirect</i> de gezondheid nadelig beïnvloeden.</p> <p>Verstoring van de slaap heeft na-effecten op het functioneren van de mens. Prestaties in diverse psychologische tests kunnen verslechteren, het humeur wordt slechter, het gebruik van geneesmiddelen neemt toe.</p> <p>Met betrekking tot slaapverstoring door geluid zijn er enkele speciale risicogroepen te onderscheiden binnen de grote risicogroep van mensen die matig tot slecht slapen. Deze risicogroep maakt circa 20 tot 30 procent van de Nederlandse bevolking uit.</p> <p>Door het isoleren van woningen kan bescherming worden geboden tegen aantasting van de slaapkwaliteit door geluid, mits rekening kan worden gehouden met ventilatiegewoonten. Zo kan een te hoge temperatuur in de slaapkamer, ten gevolge van onvoldoende ventilatie, de slaapkwaliteit aantasten.</p>			
12 Begeleidingscommissie ir. M. van den Berg VROM/DGMH/G ir. F.W.J. van Deventer VROM/DGMH/G ing. P. Scheeper V & W-RLD	13 Bijbehorende rapporten 		
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="970 1944 1224 2027"> 14 Aantal blz. 50 </td> <td data-bbox="1228 1944 1416 2027"> 15 Prijs f 10,- * </td> </tr> </table>	14 Aantal blz. 50	15 Prijs f 10,- *
14 Aantal blz. 50	15 Prijs f 10,- *		
Rapporten uit de reeksen van het Onderzoekprogramma Geluidhinder zijn verkrijgbaar door vooruitbetaling op postgirorekening 751, t.n.v. het D.O.P. (Distributiecentrum voor Overheidspublicaties), postbus 20014, 2500 EA 's-Gravenhage, onder vermelding van het ISBN nummer en het gewenste aantal exemplaren.			

* prijswijziging voorbehouden

The effects of environmental noise caused by night-time aircraft operations, on sleep, health and human behaviour.

SUMMARY

Under the authority of the Directorate-General for Environmental Protection and the Department of Transport, NIPG/TNO and IVEM of Groningen State University conducted a study of current literature on the effects of noise caused by night-time aircraft operations, on sleep, health and human behaviour.

This research was performed after a ruling by the Court of Law in The Hague, following legal action against an alleviation of night-time flying restrictions at the Airport of South-Limburg near Maastricht. The research object was collecting scientific data concerning:

- the relationship between sleep disturbance by noise and its effects on health in a general sense;
- the relationship between night-time aircraft operations and sleep disturbance; in particular the effects of the noise-level, the number of aircraft passes and long-term (several years) exposure to night-time aircraft noise. In this context, reversible and possible irreversible effects were considered;
- the effect of noise insulation on the afore mentioned aspects, taking into account possible derived health-problems caused by insulation as such.

In this study the following effects were considered: various physiological reactions (such as cardio-vascular changes and EEG); awakening by noise and so-called after-effects.

It was found that some physiological reactions adapt to noise while others do not. Irreversible physiological effects are not to be excluded after exposure to night-time aircraft noise during several years, neither are direct effects on health. No physiological effects have been demonstrated at indoor A-weighted equivalent noise levels (LA_{eq} , based on the 23-07 hour time-period) below 30-35 dB(A) and indoor peak-noise levels (LA_{max}) below 40-45 dB(A). Awakening starts to occur at indoor values for LA_{eq} of 35-40 dB(A) and indoor values for LA_{max} of 55 dB(A), provided the number of aircraft passes does not exceed 20 per night. At higher numbers of aircraft passes, lower indoor noise levels cause awakening; at 30 or more passes per night, the noise levels mentioned above must be reduced by about 5 dB(A) to avoid awakening. People who have been living in a noisy environment for some years, are more sensitive to awakening by noise than those living in a quiet environment. From this it is concluded that people do not fully habituate to noise. Moreover, the subjective judgement of the "quality of sleep" is largely determined by the number of awakenings. Hence, noise, as an environmental stressor, may have an indirect effect on health.

Sleep disturbance by noise also causes so called after-effects, such as reduced performance in various psychological tests, frayed tempers and an increased use of medicine.

Within the general risk-group of people who sleep (rather) poorly - about 20-30 % of the Dutch population - certain categories, such as the elderly, are especially at risk.

Reducing the indoor noise level by insulating homes (or bedrooms), may offer protection against sleep disturbance. However, care must be taken to provide adequate ventilation in insulated rooms. Otherwise, such insulation may reduce the "quality of sleep" in another way, for instance by increasing bedroom temperatures.

VOORWOORD

Naar de invloed van lawaai op slaap is veel onderzoek gedaan. In 1981 verscheen de literatuurstudie "slaapverstoring door lawaai" in de ICG reeks (VL-DR-24-02) die de tot 1979 bekende kennis over de invloed van lawaai op de slaap samenvatte. Sindsdien is er door diverse instituten uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar diverse effecten van lawaai zowel fysiologisch (EEG, hartfrequentie) als psychologisch (humeur, prestatie, slaapkwaliteit).

Het voornemen om dit recent uitgevoerde onderzoek in zijn onderlinge samenhang nauwkeurig te bezien, ontstond in de loop van het onderzoek naar de gezondheidseffecten van lawaai dat door de Universiteit van Groningen in opdracht van het Ministerie wordt uitgevoerd.

De verwickelingen rond de uitbreiding van het aantal nachtvluchten op vliegveld Beek (Zuid-Limburg) hebben er toe geleid dat aan dit voornemen versneld uitvoering is gegeven.

De conclusies van deze studie verschillen niet bijzonder met die van de genoemde ICG rapportage, voor wat betreft de effecten. Wel konden nu de geluidsbelasting en de effecten, die bij blootstelling daaraan gaan optreden nauwkeuriger worden vastgesteld.

Door geluid aangetaste slaapkwaliteit heeft nadelige gevolgen voor gezondheid en welbevinden. Nachtvluchten betekenen risicofactoren voor de volksgezondheid. Het rapport geeft aan langs welke wegen deze factoren de gezondheid kunnen beïnvloeden.

De Directeur Geluid,



Mr. J. Tesink

INHOUD

	blz.
SAMENVATTING	I
1. INLEIDING	1
1.1 Aanleiding tot het onderzoek	1
1.2 Doel en verantwoording van het onderzoek	1
1.3 Opzet en uitwerking van het onderzoek	2
2. ASPECTEN VAN SLAAPSTORING DOOR LAWAAI	6
2.1 Inleiding	6
2.2 Kenmerken van de slaap	8
2.3 Functies van de slaap	11
3. METHODEN VAN SLAAPONDERZOEK	13
4. FYSISCHE ASPECTEN VAN LAWAAI; DE LIMBURGSE SITUATIE	16
4.1 Beknopte beschrijving van de geluidssituatie rond vliegveld Zuid-Limburg	16
4.2 Bruikbare fysische maten	18
5. EFFECTEN VAN LAWAAI OP SLAAP EN GEZONDHEID	19
5.1 Inleiding	19
5.2 Fysiologische effecten	19
5.3 Ontwaakreacties	21
5.4 Na-effecten	25
6. ISOLATIE EN WOONGEDRAG	30
7. DISCUSSIE	34
LITERATUUR	41
BIJLAGEN	47

SAMENVATTING

In opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne, hebben het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg-TNO en de Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde van de Rijksuniversiteit Groningen een literatuurstudie uitgevoerd ten behoeve van de besluitvorming over de toelaatbaarheid van nachtvluchten op vliegveld Zuid-Limburg.

Het doel van het onderzoek was wetenschappelijke informatie te verzamelen met betrekking tot:

1. de relatie tussen door geluid aangetaste slaapkwaliteit en gezondheid in meer algemene zin;
2. de relatie tussen het uitvoeren van nachtvluchten en slaapkwaliteit met bijzondere aandacht voor de optredende geluidniveau's, aantal vluchten per nacht en expositieduur. In verband met dit laatste is het van belang na te gaan of er onderscheid kan worden gemaakt tussen reversibele en irreversibele effecten;
3. de mate waarin tegen een mogelijke aantasting van slaapkwaliteit door vliegtuiglawaai gedurende de nacht, bescherming kan worden geboden door geluidisolatie van de woning zonder dat dit mogelijke afgeleide gezondheidsproblemen oproept.

Ad. 1 en 2.

De invloed van geluid op de slaap kan bestudeerd worden aan de hand van diverse fysiologische reacties, ontwaakreacties en na-effecten.

Fysiologische reacties. Sommige fysiologische reacties adapteren aan geluid, andere doen dat niet. Met name de tijd die men besteedt aan diepe slaap (essentieel voor herstel en groei van het organisme) en het cardiovasculaire systeem worden nadelig beïnvloed zolang de expositie aan geluid duurt.

Recente bevindingen in de neurofysiologie maken aannemelijk dat dit een directe invloed heeft op de gezondheid. Over de ernst van deze invloed is nog niets bekend.

Niet uitgesloten is dat slaapverstoring gedurende een langere periode (ca. 5 à 6 jaren) niet omkeerbare gevolgen kan hebben, ook wanneer de bron van de verstoring daarna wordt weggenomen. Enkele fysiologische reacties keren althans niet terug tot het niveau van vóór deze verstoring.

Op basis van de verrichte onderzoeken kan wat betreft vliegtuiglawaai gesteld worden dat beneden een equivalent geluidniveau in huis van 30 tot 35 dB(A) en piekniveaus van 40-45 dB(A) geen verstoringen geregistreerd zijn.

Ontwaakreacties. Naarmate men langer aan een zeker geluid geëxposeerd is, gewent men daaraan in de zin dat er minder ontwaakreacties optreden. Volledige gewenning treedt echter niet op: mensen die reeds jaren in een lawaaige omgeving wonen vertonen meer ontwaakreacties dan mensen die in een rustige omgeving wonen. Ontwaakreacties en bijna-ontwaakreacties zijn in hoge mate bepalend voor de ervaren slaapkwaliteit. Een omgevingsstressor als geluid kan door beïnvloeding van de slaapkwaliteit een nadelige indirecte invloed op de gezondheid hebben.

Bij vliegtuiglawaai beginnen ontwaakreacties op te treden bij een equivalent geluidniveau in de slaapkamer van 35 tot 40 dB(A) en piekniveaus van 55 dB(A), bij minder dan ca. 20 overvluchten.

Er zijn aanwijzingen dat het aantal vluchten een afzonderlijk (dus los van equivalente geluidniveau) effect heeft op ontwaakreacties, in die zin dat bij een aantal vliegtuigpassages van ca. 30 en hoger de bovengenoemde geluidniveau's met ca. 5 dB(A) moeten worden verlaagd om dezelfde percentages ontwaakreacties te vinden.

Na-effecten. Verstoring van de slaap door geluid heeft effecten op het functioneren van de mens. Prestaties op diverse psychologische tests kunnen verslechteren, het humeur wordt slechter, het gebruik

van geneesmiddelen neemt toe. Een kwantificering van de samenhang tussen geluidniveaus en deze na-effecten kan niet gegeven worden. De in het voorafgaande genoemde binnenniveaus kunnen globaal vertaald worden naar buitenniveaus door ze met 15 dB(A) te verhogen. Bij deze globale benadering moet bedacht worden dat de spreiding zeer groot is (tussen 5 en 25 dB(A)) en dat er is uitgegaan van het meest voorkomende ventilatiegedrag.

Met betrekking tot slaapverstoring door geluid zijn er enkele speciale risicogroepen te onderscheiden (ouderen, mensen met psychische of lichamelijke problemen) binnen de grote risicogroep van mensen die matig tot slecht slapen. Deze risicogroep maakt 20 tot 30 procent van de Nederlandse bevolking uit.

Ad. 3.

Door middel van het aanbrengen van isolatie aan de woningen kan bescherming worden geboden tegen aantasting van de slaapkwaliteit door geluid. Deze bescherming kan volledig of gedeeltelijk zijn, afhankelijk van de binnenniveaus waarop men zich richt (zie het voorafgaande). Bij het bepalen aan de aard en de zwaarte van de isolatie is het raadzaam rekening te houden met vigerende ventilatiegewoonten, opdat deze isolatie geen afgeleide problemen oproept voor de gezondheid.

In het rapport zijn de resultaten van de studie in verband gebracht met de actuele situatie rond vliegveld Zuid-Limburg. Deze situatie bevat risicofactoren voor de volksgezondheid. Het rapport geeft inzicht in aard en werkzaamheid van deze risicofactoren.

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding tot het onderzoek

Op 27 maart 1986 werd door het Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde (IVEM) van de Rijksuniversiteit Groningen en aan het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg-TNO (NIPG) te Leiden de opdracht gegeven tot het uitvoeren van een literatuuronderzoek naar de relatie tussen nachtvluchten, slaapkwaliteit en gezondheid (zie bijlage 1). Deze onderzoeksopdracht vloeide voort uit de uitspraak van het Gerechtshof in 's Gravenhage, in de zaak van de Vereniging Geen Uitbreiding Vliegveld Beek tegen de Staat der Nederlanden. De betreffende vordering van de Vereniging werd in dier voege toegewezen, dat de Staat werd bevolen er voor zorg te dragen dat het aantal nachtvluchten op de Luchthaven Zuid-Limburg tot het niveau van vóór de Nachtvluchten-beschikking wordt beperkt, totdat een deugdelijk onderzoek heeft uitgewezen dat, eventueel na het treffen van isolatiemaatregelen, een groter aantal nachtvluchten uit een oogpunt van de volksgezondheid in redelijkheid kan worden aanvaard.

Met 'de Nachtvluchtenbeschikking' wordt hier bedoeld de beschikking d.d. 30 april 1985, LV/L 22185.

1.2 Doel en verantwoording van het onderzoek

De formulering van de opdracht luidt: het met de meeste spoed een literatuuronderzoek uit te voeren naar:

- De relatie tussen door geluid aangetaste slaapkwaliteit en gezondheid in meer algemene zin.

- De relatie tussen het uitvoeren van nachtvluchten en slaapkwaliteit met bijzondere aandacht voor de optredende geluidsniveaus, aantal vluchten per nacht en expositieduur. In verband met dit laatste is het van belang na te gaan of er onderscheid kan worden gemaakt tussen reversibele en irreversibele effecten.
- De mate waarin tegen een mogelijke aantasting van slaapkwaliteit door vliegtuiglawaai gedurende de nacht, bescherming kan worden geboden door geluidisolatie van de woning zonder dat dit mogelijke afgeleide gezondheidsproblemen oproept.

Het onderzoek diende te worden afgerond met een schriftelijke rapportage voor 25 april. Op 17 april vond een eerste - deels mondelinge - rapportage plaats.

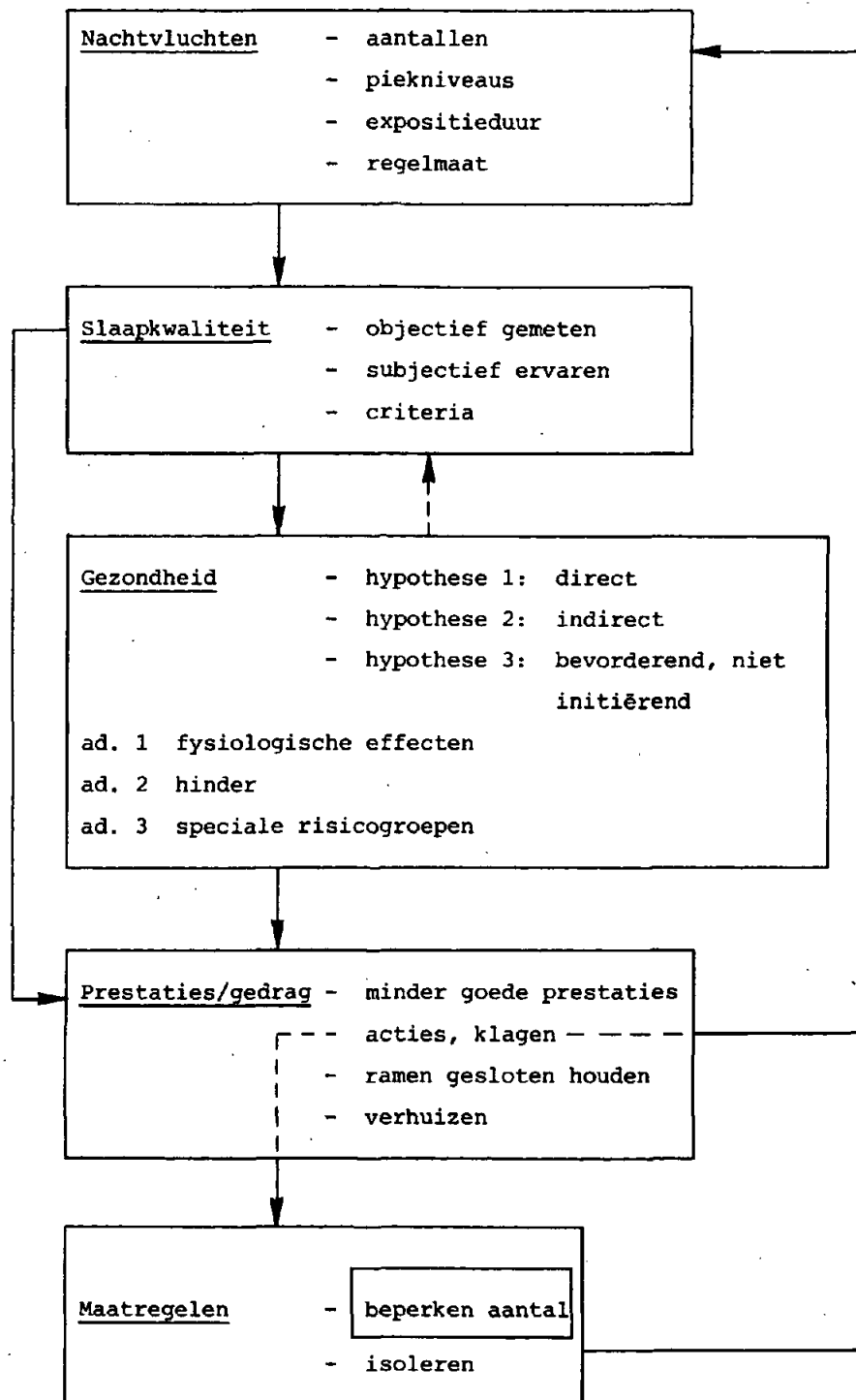
De rapportage van het onderzoek en de daaraan verbonden conclusies zijn tot stand gekomen onder gezamenlijke verantwoordelijkheid van de IVEM en het NIPG.

Het literatuuronderzoek is niet beperkt tot de algemeen toegankelijke databestanden (zie bijlage 2). Ook een aantal deskundigen uit binnen- en buitenland (zie bijlage 3) is gevraagd hun 'expert opinion' te geven en inzicht te verstrekken in eventueel door hen uitgevoerd of aan hen bekend, maar (nog) niet gepubliceerd onderzoek.

1.3 Opzet en uitwerking van het onderzoek

Bij de verzameling van relevante gegevens heeft een relatieschema (schema 1) als ordenend beginsel gefungeerd. Centraal in dit schema staat het begrip 'gezondheid'. In dit onderzoek wordt uitgegaan van de definitie van gezondheid zoals die is opgesteld door de World Health Organization, n.l.: "een toestand van volkomen, fysiek, psychisch en sociaal welbevinden, en niet enkel de afwezigheid van ziekte of gebrek".

Schema 1. De relatie tussen de diverse aspecten die bij dit onderzoek van belang zijn.



Er worden over het algemeen drie hypothesen over het verband tussen lawaai en gezondheid aangenomen.

De eerste veronderstelt een directe oorzakelijke relatie tussen blootstaan aan lawaai en slechte gezondheid. In dit geval staat een aantoonbaar biologisch proces de bewering dat lawaai de oorzaak is van nadelige gevolgen voor de gezondheid. Dit is het geval bij gehoorschade.

De tweede hypothese veronderstelt een indirect effect van lawaai op gezondheid door middel van een intermediaïrend proces. De meest algemene betiteling hiervoor is de 'stress hypothese'. Deze hypothese is gecompliceerder als basis voor het aantonen van oorzakelijkheden. Het begrip 'hinder' past in deze benadering.

De derde hypothese is dat geluid een nadelig effect heeft op mensen met bepaalde gezondheidsproblemen, zowel op het geestelijke als op het lichamelijke vlak (vb. neurosen, hoge bloeddruk). De rol van geluid zou hierbij niet veroorzakend, maar bevorderend zijn.

Er is weinig onderzoek dat min of meer rechtstreeks de samenhang tussen nachtvluchten en andere in het relatieschema genoemde aspecten als onderwerp heeft. Niettemin kan de literatuur informatie verschaffen op grond waarvan redelijke inschattingen gemaakt kunnen worden én op grond waarvan de consistentie van deze inschattingen beoordeeld kan worden. Met name de meer specifieke aspecten van nachtvluchten te weten: het aantal, het geluidniveau, de expositieduur en de distributie van het aantal nachtvluchten over een gegeven periode, bieden daar aanknopingspunten voor. Voor de andere in het relatieschema genoemde aspecten en hun samenhangen is een redelijke hoeveelheid wetenschappelijke informatie aanwezig op grond waarvan een oordeel gevormd kan worden over de relatie tussen slaapkwaliteit, gezondheid, prestaties/gedrag en de invloed van geluidisolatie.

Er is vooral uitgegaan van effecten van vliegtuiglawaai op de slaap. Waar echter onderzoek naar de effecten van geluid van andere transportmiddelen zich richt op relevante factoren als piekniveaus, en aantallen passages is ook hiervan gebruik gemaakt.

2. ASPECTEN VAN SLAAPSTORING DOOR LAWAAI

2.1 Inleiding

De laatste jaren zijn er verscheidene overzichtsartikelen en onderzoek met betrekking tot slaapstoring door lawaai verschenen (ASHA, 1980; Rossi, 1983). Slechts een zeer gering aantal van deze studies had het aangeven van grenzen van toelaatbaarheid van nachtelijk geluid in woongebieden tot doel. De noodzaak om zulke grenzen vast te stellen is er echter wel en vloeit voort uit de behoefte om slaapstoring door lawaai tot een minimum te beperken aangezien een gestoorde slaap door velen wordt beschouwd als schadelijk voor de gezondheid in algemene zin.

De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO, 1980) beveelt een equivalent geluidniveau van 35 dB(A) aan om de herstelfunctie van de slaap te beschermen.

De Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OECD, 1978) noemt als waarden die door sommige lidstaten wordt aanbevolen een L_{Aeq} van 35 dB(A) voor de tijd waarin de meeste mensen naar bed gaan, 45 voor lichte slaap (stadia 1 en 2, zie 2.2) en 50 voor diepe slaap (stadia 3 en 4), waarboven de kans op slaapstoring wezenlijk is.

In een recent document (OECD, 1985) vat de Environment Committee van de OECD de recente onderzoekbevindingen als volgt samen:

"At the more operational level, all experimental data from research work concerning disruption of the sleeping pattern show that for well-being at night-time, the sound level should be of the order of 30 to 35 dB(A) L_{eq} inside the bedroom. This means that for most people, safeguarding sleep requires a level of external noise not exceeding 45-50 dB(A) L_{eq} at night when windows are open or 50-55 when windows are closed. A number of researches

have shown the high correlation between sleep disturbance and peak noise levels. Peak noise levels under 40 dB(A) do not cause any change in light sleep nor awakening. On the contrary, above 45 dB(A) significant changes occur in sleep structure; awakenings and annoyance take place. Therefore it would be desirable to limit, as far as possible, the number of peak noise levels exceeding 45 dB(A)."

In een rapport van de Commissie voor de Europese Gemeenschappen (CEC, 1975) wordt gesteld dat het hoogste niveau waarbij slaap niet wordt gestoord ligt tussen 30 en 35 dB(A), waarbij de piekniveaus niet boven 45 dB(A) mogen komen. Het gaat hierbij in alle gevallen om niveaus in de slaapkamer.

De buitenniveaus die hiermee samenhangen liggen 5 tot 25 dB(A) hoger, afhankelijk van de constructie van het huis en het open of gesloten zijn van ramen. Een redelijke benadering voor open ramen (dat wil zeggen een ventilatieraampje of -schuif open) lijkt 10 tot 15 dB, voor gesloten ramen 20 to 25 dB, bij goed gebouwde woningen waaraan geen bijzondere geluidwerende voorzieningen zijn aangebracht. Uitgaand van het gegeven dat een meerderheid van de Nederlandse bevolking graag met open ramen slaapt (Van Dongen, 1986) lijkt een richtniveau voor ongestoorde slaap in de aanwezigheid van lawaai over de periode van 22.00 - 07.00 uur een L_{Aeq} van 45-50 dB(A) te zijn, met piekniveaus die 55-60 dB(A) niet te boven gaan (buitenwaarden).

In hoeverre verstoringen toelaatbaar worden geacht is een kwestie van politieke afweging, waarbij ook andere aspecten dan de milieuhygiëne en volksgezondheid een rol spelen. In dit rapport worden feiten gepresenteerd, die duidelijk maken wat de te verwachten gevolgen zijn in een aantal mogelijke situaties, opdat het aspect van de milieuhygiëne en de volksgezondheid zo zuiver mogelijk kan worden meegewogen bij het nemen van beleidsbeslissingen.

2.2 Kenmerken van de slaap

"Slaap is een gedragsvorm die beschreven kan worden als een cyclisch verlopende, dagelijks terugkerende periode (circadiaan) van ogenschijnlijk inactief zijn en niet reageren op uitwendige prikkels" (Visser, 1981).

Er is een aantal duidelijke veranderingen bij een organisme dat gaat slapen. Er treedt een ontspanning op van spieren die het lichaam ondersteunen en er wordt een bepaalde karakteristieke - meestal liggende - houding aangenomen.

Veranderingen in de autonome activatie zijn de volgende: er vindt een vermindering van de hartslagfrequentie plaats en de bloeddruk wordt lager, ± 20 mm Hg; de ademhaling wordt langzamer en de diepte groter: het meest kenmerkende is de grote regelmatigheid. De lichaamstemperatuur wordt lager. Maagdarmactiviteit blijft op hetzelfde niveau.

Het meest uitvoerig is de slaap beschreven en bestudeerd aan de hand van het electroencefalogram (EEG). Met behulp van onder meer deze EEG-metingen kan de slaaperiode, die veelal ervaren wordt als aaneengesloten, in een aantal stadia onderverdeeld worden (zie tabel 1).

Bij het inslapen gaan de ogen dicht en zijn er snelle zogenaamde alpha-golven (8 t/m 12 Hz) met een grote amplitude (stadium W). De alpha-activiteit neemt af, er verschijnen thêta-golven (2 t/m 7 Hz). In dit stadium begint de overgang naar de diepe slaap (stadium 1).

In stadium 2 zijn er spindels (14 Hz) met een duur groter dan een halve seconde waar te nemen. Evenzo zijn er K-complexen. In stadium 3 neemt de amplitude van de hersengolven toe, terwijl er een afname is in frequentie. De delta-activiteit (.5 t/m 2 Hz) bedraagt 30-50 procent van de golf-activiteit. In stadium 4, het diepste slaapstadium bedraagt de delta-activiteit meer dan 50 procent. Stadia 3 en 4 worden te zamen diepe slaap genoemd (slow wave sleep

= SWS). De paradoxale of REM-slaap laat hetzelfde beeld zien als in stadium W, echter in deze fase zijn ook snelle oogbewegingen aanwezig (rapideyemovements).

De slaapstadia worden veelal geklassificeerd aan de hand van het door Rechtschaffen en Kales (1968) ontworpen systeem.

Tabel 1. Slaapstadia.

stadium	electro-fysiologische kenmerken	
W	alpha-golven (8 t/m 12 Hz); kleine amplitude bij sluiten van de ogen	
1	afname van alpha-activiteit verschijnselen van theta-ritme (5-7 Hz)	
2	verschijnen van delta-ritme (3 Hz)	
3	toename van delta-ritme (30-50% van de tijd)	slow wave sleep diepe slaap
4	delta-ritme, grote amplitude (meer dan 50% van de tijd)	delta slaap
PS-REM	EEG lijkt op dat in stadium W	Paradoxale slaap rapid eye movements (REM)

Gedurende een normale nacht worden er gewoonlijk 5 à 6 cycli volbracht. Elke cyclus duurt ongeveer 90 minuten. In elke cyclus komen de verschillende slaapstadia voor, maar niet in gelijke mate. De duur van diepe slaap neemt af. De slaap wordt dus lichter naarmate er meer slaaptijd verstreken is. De duur van de REM-slaap neemt toe. De periode voor het wakker worden gaat gepaard met een stijging van de lichaamstemperatuur en hoge bloedspiegels van een aantal hormonen (circadiane upswing).

De duur van de verschillende slaapstadia als percentage van de

totale slaaptijd (TST) is in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2. De tijdsstructuur van de
slaap (bij 20- tot 45- jarigen)

stadia	% TST
waak	1
1	6
2	49
3	8
4	13
PS	23

Aan de verschillende slaapstadia worden bepaalde functies toegekend. De diepe slaap draagt vooral bij tot het lichamelijke herstel. Vrijwel alleen in dit stadium wordt het groeihormoon uitgescheiden. In de paradoxale slaap, de REM-slaap, worden opgedane ervaringen verwerkt. Tijdens deze fase vindt synthese plaats van eiwitten die van belang zijn voor de informatie-opslag in het langetermijn geheugen.

Onderzoek naar veranderingen in de slaap wordt verricht aan de hand van de volgende metingen:

- Veranderingen in het EEG
 - * verschijnen of tijdelijk verdwijnen van standaard elektrische activiteit of het momentaan verdwijnen van delta-activiteit
 - * verschijnen van een kortstondige (transiënte) activiteit, al dan niet gepaard gaande met een verandering in een slaapstadium
 - * verlengde waakperiode
- Cardiovasculaire veranderingen, meestal gemeten aan de hand van veranderingen in perifere vasoconstrictie en hartslagfrequentie

- Huidweerstand
- Verandering in spieren: lichte lichaamsbeweging tot verandering in lichaamspositie
- Ademhalingsfrequentie en -diepte.

2.3 Functies van de slaap

De slaap heeft verschillende functies. Of, en in welke mate deze functies verstoord worden, is afhankelijk van de geluidbelasting en kenmerken daarvan, L_{Aeq} , L_{Amax} , het aantal overvluchten en de distributie van het aantal vluchten over de periode waarin wordt geslapen. De sensitiviteit voor verstoring van de functies van slaap moet worden onderscheiden van de ernst van de verstoring. De ernst van de verstoring is afhankelijk van welke functie wordt verstoord, de duur en de frequentie van de verstoring, de gewenning die mogelijk is en de onomkeerbaarheid van de verstoring.

De volgende functies van de slaap kunnen worden onderscheiden:

a. De nutsfunctie

De nuts- of instrumentele functie van de slaap is de slaap als middel om tot een goed niveau van verrichtingen of prestaties te komen, zowel in fysieke als in psychische en sociale zin. Dit kunnen bijvoorbeeld arbeidsprestaties, studieverrichtingen of communicatieve vaardigheden zijn. Een verstoring van de nutsfunctie van de slaap behoeft niet noodzakelijkerwijs nadelige gevolgen voor de gezondheid te hebben of te impliceren. Een slechter functioneren kan wel nadelige gevolgen hebben in onder meer economische of sociaal-psychologische zin.

b. De gezondheidsbeschermende functie

De extrinsieke, gezondheidsbeschermende functie van de slaap, is de slaap als bescherming tegen fysiek, psychisch of sociaal onwelbevinden. Het gaat hier met name om de restauratieve functies van de slaap. Zo worden de lichtere slaapstadia, vooral het REM-

stadium, geassocieerd met het verwerken van geestelijke ervaringen, en de fasen van diepere slaap met lichamelijk herstel. Slechter slapen onder invloed van geluidbelasting kan derhalve deze restauratieve functie van de slaap aantasten. De gezondheidseffecten hiervan behoeven niet direkt irreversibel te zijn of op korte termijn tot aantasting van bijvoorbeeld het functioneren van organen te leiden, maar kunnen in eerdere stadia tot klachten leiden en tot een beroep op de gezondheidszorg.

c. De gezondheidsbevorderende functie

De extrinsieke, gezondheidsbevorderende functie van de slaap is de slaap als middel ter bevordering van fysiek, psychisch en sociaal welbevinden. Een verstoring van deze functie hoeft niet noodzakelijkerwijs tot een afbreuk van de gezondheid te leiden, maar kan wel een nadelige invloed hebben op lichamelijke fitheid, stemming en de kwaliteit van de sociale omgang. Zo kan een verstoring van de 'circadiane upswing' een verstoring van de ontwaakprocessen ten gevolge hebben, met als resultaat een nadelig effect op fitheid.

d. De consumptieve functie

De inherente, consumptieve functie van de slaap is de slaap als een gewenste zaak, omdat slaap als een goede, aangename ervaring op zich wordt beschouwd. Een verstoring van deze functie leidt tot een minder positieve waardering van de 'subjectief' ervaren slaapkwaliteit.

e. De gezondheidsdefiniërende functie

Deze functie van de slaap heeft betrekking op de slaap als deel uitmakend van de gezondheid. Een verstoring van wat als een normale slaap wordt beschouwd is dan per definitie een verstoring van de gezondheid. Isolatie tegen geluidbelasting en de daarmee gepaard gaande verminderde keuzevrijheid inzake slaapcondities (n.b. temperatuurregulatie, regulatie vochtigheidsgraad, frisse lucht e.d.) kan leiden tot een vermindering van andere zaken die als waardevol-op-zich worden beschouwd.

3. METHODEN VAN SLAAPONDERZOEK

Slaaponderzoek is in het verleden vooral uitgevoerd in het laboratorium. Het voornaamste voordeel van laboratoriumonderzoek ligt in de controle die men heeft over de onafhankelijke variabelen, in het bijzonder over de kenmerken van het geluid (type, aantal gebeurtenissen, frequentie-karakteristiek, intensiteit, duur, aanbiedingspatroon over de tijd en dergelijke).

Ook allerlei andere beïnvloedende variabelen kunnen worden gecontroleerd, waardoor met gebruik van de juiste experimentele designs dosis-effectrelaties het zuiverst kunnen worden vastgesteld.

In het laboratorium kunnen zowel fysiologische, subjectieve als gedragsmatige reacties worden bestudeerd.

De voornaamste nadelen zijn dat slechts een gering aantal proefpersonen bij het onderzoek kan worden betrokken en dat dit doorgaans vrijwilligers zijn (vaak studenten) waardoor een 'bias' (systematische vertekening) ontstaat. Het is zinvol om irrelevante karakteristieken van de proefsituatie te onderscheiden van relevante; het effect van de proefsituatie als zodanig kan groter zijn dan het effect van de onderzochte stimulus.

Met de ontwikkeling van mobiele registratie-apparatuur is een tiental jaren geleden ook de methode van het veldexperiment in zwang gekomen. Bij veldexperimenten worden de technieken uit het laboratorium en van enquête-onderzoeken gecombineerd. Proefpersonen blijven in hun vertrouwde omgeving en in het voor hen gebruikelijke levensritme, terwijl toch fysiologische, subjectieve en gedragsmatige reacties kunnen worden vastgelegd. Dit geeft tevens de voornaamste voordelen aan. Een verder voordeel is, dat er een betere representativiteit voor de totale populatie kan worden verkregen dan in het laboratorium doorgaans mogelijk is, door het hanteren van steekproeftrekkings technieken die ook bij enquête-onderzoek worden gebruikt.

Nadelen van het veldexperiment zijn, dat 'natuurlijke' geluidssituaties minder goed te controleren zijn, dat het aantal proefpersonen meestal gering blijft en dat er toch nog wel iets wordt ingegrepen in de gebruikelijke situatie.

Er zijn slechts weinig veldonderzoeken speciaal opgezet om de invloed van geluid op de slaap na te gaan. In epidemiologisch - of veldonderzoek bestudeert men de samenhang tussen geluidbelasting en subjectief ervaren slaapkwaliteit, of tussen geluidbelasting en gezondheid, onder realistische en natuurlijke condities. De oordelen, belevingen en registraties hebben een directe realiteitswaarde. Bij epidemiologisch onderzoek spelen enquêtes een grote rol, maar kan ook worden gedacht aan bijvoorbeeld medicijngebruik, het beroep dat gedaan wordt op gezondheidszorgvoorzieningen of aan registratie van bepaalde afwijkingen. Naast de realiteitswaarde zijn andere voordelen van deze set van methoden: het grote aantal proefpersonen en de mogelijkheid (mits bij de steekproeftrekking de grootste zorgvuldigheid in acht wordt genomen) van generalisatie van de bevindingen.

In de meeste enquêtes zijn slechts enkele vragen over slaapstoring opgenomen. Verder is er geen controle over de geluidssituaties. Accurate geluidmetingen waarin voldoende aandacht wordt besteed aan de verschillende perioden van de dag zijn duur en kosten veel tijd. Er wordt een groot beroep gedaan op het herinneringsvermogen van de proefpersonen wat vertekeningen ten gevolge heeft. Alleen subjectieve en, in beperkte mate, gedragsmatige reacties worden geregistreerd. Het meten van fysiologische reacties is in dergelijk onderzoek (nog) niet mogelijk.

De samenhang tussen subjectieve beleving en objectieve feiten is veelal onzeker en wordt beïnvloed door attitude-variabelen. Het is zeer moeilijk, zo niet onmogelijk, om in veldonderzoek de invloed van nachtelijk lawaai af te zonderen van de invloed van de geluidssituatie overdag. Heel vaak is een omgeving, waarin het nachtelijk geluidniveau aanzienlijk is, ook overdag erg druk. Een rustige

omgeving overdag zal doorgaans ook 's nachts rustig zijn. Verder blijkt de kwaliteit van nachtelijke slaap mede beïnvloed te worden door het geluid waaraan met overdag heeft blootgestaan (Fruhstorfer e.a., 1983; 1984).

In deze studie worden de resultaten van alle drie de onderzoekslijnen gecombineerd. Uit studies van Coates e.a. (1979) en Labiale & Vallet (1984) blijken de resultaten uit laboratoriumonderzoek en veldexperimenten zeer redelijk met elkaar overeen te stemmen.

4. FYSISCHE ASPECTEN VAN LAWAAI; DE LIMBURGSE SITUATIE

4.1 Beknopte beschrijving van de geluidssituatie rond vliegveld Zuid-Limburg*

Oorspronkelijk waren nachtvluchten (tussen 23 en 06 uur) verboden. In de periode van 1981 tot 1985 werd het uitvoeren van nachtvluchten middels een nachtvluchtenbeschikking toegestaan in de periode van 23 tot 02 uur, tot ten hoogste 13 bewegingen (= de som van het aantal starts en landingen) per nacht in de nachten van werkdagen en 5 per nacht op zondagnacht. Voorts mochten deze nachtvluchten alleen worden uitgevoerd met kleine, relatief weinig geluid producerende, propellervliegtuigen (gewicht onder 6 ton) en met grote propellervliegtuigen (boven dat gewicht) die niet méér lawaai produceren dan de Fokker F-27 Friendship.

Begin 1985 is besloten in principe in te stemmen met de realisering van de Oost-Westbaan. Gekoppeld hieraan is besloten inmiddels reeds ruimte te geven aan de groei van het luchtverkeer. De daarmee gepaard gaande geluidbelasting rond de Noord-Zuidbaan zou, gezien de verwachtingen ten aanzien van de verkeersgroei, al gauw hoger zijn dan wordt aangegeven door de oorspronkelijke indicatieve zône van 35 Ke. Deze 35 Ke (het is goed hier nog eens op te wijzen) is de uitkomst van een afwegingsproces waarbij ook andere factoren dan alleen de gezondheidkundige zijn betrokken. Gezondheidskundig gezien ware 20 Ke aan te bevelen (Ettema & Knipschild, 1975). Binnen de 35 Ke-contour liggen circa 2450 woningen.

Met het oog op de te voorziene overschrijding werd op 30 april 1985 een nieuwe, gecompliceerdere, nachtvluchtenbeschikking uitge-

* Deze paragraaf is tot stand gekomen mede op grond van informatie van het DGMH.

vaardigd. Hierin werd het maximum toegelaten aantal vliegbewegingen per nacht opgevoerd tot 32 (waarvan ten hoogste 16 met de categorie grote propellervliegtuigen); vanaf 1 januari 1987 tot 43 (waarvan ten hoogste 18 met grote propellervliegtuigen). Bovendien werden nu ook vluchten in de periode van 02 tot 04 uur mogelijk. Tot 1987 werd het aantal vluchten in deze periode beperkt tot maximaal 6 met kleine en 6 met grote propellervliegtuigen. Vanaf 1 januari 1987 zou deze afzonderlijke restrictie vervallen en mag, binnen de eerder gegeven reglementering ten aanzien van het totale aantal toegestane bewegingen en het maximale aandeel van de grote propellervliegtuigen hierin, 's nachts van 23 tot 04 uur worden gevlogen.

Het vluchtpatroon is, qua indeling in de tijd, onregelmatiger dan bij 'vaste' lijnvluchten; de vliegtuigen komen en gaan niet op vaste tijden.

De vliegpaden gaan over de woonkernen van Beek, Geverik en Meerssen. Dit betekent dat een aanzienlijk aantal mensen recht onder een vliegpad woont.

De datum van 1 januari 1987 is als kantelpunt gekozen omdat in de beschikking is opgenomen dat dan voor de grote propellervliegtuigen strengere geluideisen van kracht worden. Die hebben alleen betrekking op het geluid tijdens de landing. Voor de F-27 is deze geluidreductie te bereiken door het aanbrengen van een zg. hushkit op de motoren. Voorts moet op die datum het isolatieprogramma, waartoe besloten is in samenhang met de nachtvluchtenbeschikking, voltooid zijn. Dit isolatieprogramma is niet gekoppeld aan de Kecontouren maar is geheel afgestemd op de nachtvluchten. Er wordt alleen geïsoleerd met het oog op vermijden van frequente nachtrustverstoring, hetgeen inhoudt dat uitsluitend slaapvertrekken voor isolatie in aanmerking komen. Deze worden zodanig geïsoleerd dat de piekniveaus binnen ten gevolge van 's nachts overvliegende vliegtuigen de 60 dB(A) niet overschrijden. Vanaf dat niveau moet,

blijkens onderzoek (Jurriëns, 1981) dat in het besluit Geluidbelasting Grote Luchtvaartterreinen wordt genoemd, rekening worden gehouden met ontwaakreacties. Bij de veronderstelling dat de 'natuurlijke' (= zonder extra maatregelen) geluidwering van slaapkamers bij gesloten ramen ongeveer 20 dB(A) bedraagt, moet derhalve worden geïsoleerd in die gebieden waar de F-27 buitenshuis een piekniveau van 80 dB(A) of meer veroorzaakt. Bovendien wordt ervan uitgegaan dat de Noord-Zuidbaan 's nachts vrijwel uitsluitend van noord naar zuid wordt gebruikt, dat wil zeggen landingen over Beek en Geverik, starts over Meerssen. Daarbij zal het huidige convenant, op grond waarvan thans ongeveer 80% van de starts in noordelijke richting plaatsvindt (landingen 'normaal' in zuidelijke richting), na 1 januari 1987 waarschijnlijk niet verlengd worden op grond van veiligheidsoverwegingen.

Er liggen in totaal 800 woningen binnen de 80 dB(A) footprint van de F-27; 760 in de gemeente Beek aan de noordkant van de baan (omvat de woonkernen Geverik en Beek) en 40 in Meerssen aan de zuidkant.

4.2 Bruikbare fysische maten

Uit het bovenstaande blijkt dat de Kosten-eenheid niet geschikt wordt geacht om slaapstoornissen ten gevolge van nachtvluchten aan te relateren. Dat, menen de onderzoekers, is een terechte beslissing aangezien de Kosten-eenheid zijn betekenis ontleent aan zijn relatie met een bepaalde wijze van hinder meten. Hierbij speelt vooral communicatieverstoring een belangrijke rol en vormt slaapstoring slechts één aspect. Om dezelfde reden wordt ook de Noise and Number Index nooit gebruikt bij slaaponderzoek. Bij dit onderzoek wordt doorgaans gewerkt met piekniveaus of met het equivalente geluidniveau.

5. EFFECTEN VAN LAWAAT OP SLAAP EN GEZONDHEID

5.1 Inleiding

Bij literatuurstudies is het gebruikelijk consistente bevindingen op te sommen en de inconsistenties verder te analyseren om tot een (mogelijke) verklaring te komen. Voor dit laatste was in deze studie geen tijd en bovendien zijn tentatieve verklaringen nog geen zekerheden. Daarom beperken wij ons tot het weergeven van de consistente bevindingen.

De nadruk ligt in deze studie (uiteraard) op vliegtuiglawaai, maar waar andere literatuur aanwijzingen verschaft over de rol van de onderscheiden fysische variabelen N , L_{Amax} of L_{Aeq} wordt dit meegenomen.

5.2 Fysiologische effecten

Bij het evalueren van effecten van geluidbelasting op de slaapkwaliteit moet in dit kader gekeken worden naar de convergerende evidentie. Bij de bestudeerde onderzoeken is wat betreft de geluidbelasting gelet op de piekniveaus, het equivalente niveau en het aantal gebeurtenissen (number of events), en andere karakteristieken van de belasting.

Fysiologische effecten zijn meestal beschreven aan de hand van veranderingen in het EEG, de hartslagfrequentie en de perifere vaatdoorstroming. Bij een toename van de geluidbelasting treden veranderingen op in het slaappatroon. Een algemene bevinding is dat veranderingen zich meestal bewegen naar lichtere slaap toe. Verder vindt er een reductie van diepe slaap (deltaslaap) plaats (Jurriëns, 1980; Ehrenstein, Müller-Limmroth, 1980). Evenzo volgt er een vermindering in de duur van de REM-slaap (o.a. Vallet, Blanchet e.a., 1977). Naast deze effecten neemt het aantal ont-

waakreacties toe en vinden veranderingen in het circadiane ritme plaats.

Een tijdelijke verslechtering van de slaap kan ingehaald worden (rebound) wanneer de belasting afwezig is. Men ziet dan een toename van de tijd die men in de diepe slaapstadia en het REM-stadium doorbrengt.

In studies verricht in Frankrijk, Engeland, Duitsland en Nederland, waarbij de omstandigheden waren gestandaardiseerd, werden door alle onderzoeksteams onder meer de volgende effecten gevonden: een toename in de hartslagfrequentie bij een toenemend equivalent geluidniveau en een toename in de variabiliteit van de hartslagfrequentie bij hogere piekniveaus. Bij een vermindering van de geluidbelasting treden ook veranderingen op: langere duur van REM- en delta-slaap.

Individuele factoren die de reacties beïnvloeden zijn onder andere leeftijd en geslacht. Bij het ouder worden wordt de slaap lichter en zal bij een toename van de geluidbelasting eerder de slaap gestoord worden dan bij jongeren. De cardiovasculaire reactiviteit als gevolg van geluidbelasting gedurende de slaap is bij jongeren groter (Muzet, 1980). Vrouwen zijn over het algemeen gevoeliger voor geluid. Ontwaakreacties beginnen bij lagere geluidniveaus dan bij mannen (o.a. Lukas, 1972).

Een toename in de sterkte van effecten kan verwacht worden indien de verhouding piekniveau/achtergrondniveau groter wordt. Het is wenselijk dat deze niet groter is dan 10 dB(A) (o.a. Griefahn, 1985). Bij onregelmatig of intermitterend geluid zullen de effecten groter zijn (Ohrström & Rylander, 1982). Vallet (1986) geeft de volgende effecten weer van gespannen zijn bij het afwachten van de volgende blootstelling (event): de inslaaptijd wordt groter, de duur van de REM-slaap vermindert en het aantal keren ontwaken neemt toe alsook de tijdsduur van het wakker blijven.

Op basis van het verrichte onderzoek kan niet gekonkludeerd worden dat er adaptatie optreedt. Evenmin dat de effecten die optreden reversibel zijn. Als gevolg van geluidbelasting gedurende de slaap

treedt een vermindering op van de delta-slaap. Bij voortdurende belasting treedt geen gewenning op (Vallet & Mouret, 1984). Evenmin is er adaptatie van de fysiologische responsen bij geluidpieken (Muzet e.a., 1981).

Vermindering van de diepe slaap houdt in dat de biologische herstel- en groeifunctie (het groeihormoon wordt alleen in de diepe slaap geproduceerd) die aan dit slaapstadium wordt toegekend, verstoord wordt. Verstoring van de REM-slaap tast een functie van dit stadium aan, namelijk het proces van informatieverwerking en -opslag.

Meerdere auteurs zien met name deze aanhoudende oriëntatie-reacties als een gezondheidsrisico (Muzet, 1983; Jurriëns e.a., 1983). Op basis van de verrichte onderzoeken kan gesteld worden dat beneden een equivalent geluidniveau in huis van 30 tot 35 dB(A) en piekniveaus van 40-45 dB(A) geen verstoringen geregistreerd zijn.

5.3 Ontwaakreacties

Onder 'ontwaakreacties' wordt het gedragsmatig ontwaken (behavioural awakening) verstaan. Hierbij moet men zijn ontwaken kenbaar maken door het ontplooiën van een motorische activiteit (bijvoorbeeld op een knop drukken). Dit type registratie is alleen in het laboratorium en bij veldexperimenten mogelijk.

Bij enquête-onderzoek moet een beroep worden gedaan op het geheugen van de proefpersoon. Vragen spitsen zich doorgaans toe op drie aspecten: frequentie van inslaap-, doorslaap- en uitslaapproblemen (te vroeg wakker worden). Hoewel minder direct dan de gedragsmatige ontwaakreacties geeft dit type vragen toch een redelijk beeld van de ervaren verstoring van de slaap door geluid.

Ontwaakreacties ontstaan het gemakkelijkst vanuit de lichte slaapstadia (1, 2 en REM). Om iemand vanuit diepe slaap te doen ontwaken zijn hogere niveaus nodig. Een scherpe scheidslijn tussen de

lichte slaapstadia en wakker zijn is niet te trekken: waken en slapen vormen samen een continuum.

Ontwaakreacties en bijna-ontwaakreacties zijn van belang omdat ze in hoge mate de subjectief ervaren slaapkwaliteit (zie 5.4) bepalen. Dit in afwijking van verstoringen van de diepe slaap, die vrijwel geen gevolgen hebben voor de subjectief ervaren slaapkwaliteit (Muzet e.a., 1973), althans wanneer het blijft bij enkele verstoringen.

Bij blootstelling aan lawaai treedt op het punt van de ontwaakreacties vrij snel gewenning op (binnen één tot drie weken). Deze gewenning zal echter waarschijnlijk niet volledig zijn.

Er is een drietal enquête-onderzoeken geweest, speciaal gericht op het vaststellen van de slaapkwaliteit in relatie tot de geluidbelasting (Fidell & Jones, 1975; François, 1979 en DORA, 1980). Bij deze onderzoeken zijn ook vragen gesteld naar problemen met inslapen, door- en uitslapen in relatie met vliegtuiglawaai. Daarnaast is er een groot aantal onderzoeken waarin enkele vragen naar slaapstoring zijn opgenomen. Uit de studie van François, in combinatie met een veldexperiment van Vallet (1980) kan worden geconcludeerd dat fysiologische veranderingen in de slaap doorgaans snel op veranderingen in de expositie aan geluid volgen, maar dat de veranderingen in de mate van hinder sterk vertraagd volgen (Vallet & François, 1982). Dit versterkt de algemene bevinding dat geluidhinder goeddeels afhangt van andere factoren dan van het geluid zelf.

Een studie van Fidell & Jones (1975) bevestigt dit nog eens. Deze studie is uitgevoerd om de effecten te bestuderen van een tijdelijke nachtelijke sluiting van Los Angeles International Airport. In deze studie kon geen verandering worden aangetoond in hinder en ook niet in ontwaakreacties en subjectieve slaapkwaliteit. De meest waarschijnlijke verklaring hiervoor wordt gegeven door

Fields (FAA/NASA Workshop, 1980). De sluiting was van 24 tot 06 uur, zodat nog steeds veel mensen werden gestoord bij het inslapen en ook (te) vroeg wakker werden door vliegtuiglawaai.

De DORA-studie (1980) is zeer relevant voor de huidige problematiek. In deze studie is voornamelijk gebruik gemaakt van het equivalente geluidniveau (L_{Aeq} 23-07) als onafhankelijke variabele. Verschillende reacties doen zich voor bij verschillende niveaus, maar globaal kan gesteld worden dat ontwaakreacties reeds bij lage buitenniveaus (< 41 dB(A)) aan vliegtuiglawaai worden toegeschreven. Piekniveaus zijn hierbij 70 tot 75 dB(A), bij aantallen 2 tot 4 (sic!). Aangezien aantallen en piekniveaus in deze studie sterk samenhangen is er over deze aspecten apart weinig te zeggen.

De gebieden waarin dit onderzoek plaatsvond liepen ver uiteen wat de expositie aan vliegtuiglawaai betreft. De aantallen liepen uiteen van nul tot gemiddeld 40 (!) overvluchten per nacht. Piekniveaus bereikten in een gebied 106 dB(A).

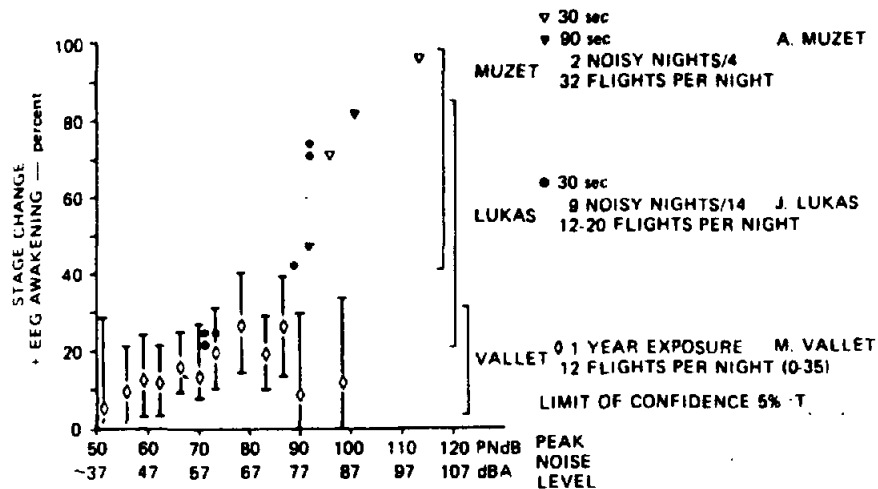
25 Procent ontwaakreacties worden bij een L_{Aeq} buiten van ongeveer 60 tot 65 dB (A) bereikt. Brooker (DORA, 1980) bestudeerde ook de werking van pieken, hoger dan 90 dB(A), om te zien of één zo'n piek wellicht 'ingewisseld' zou kunnen worden tegen meer stillere vluchten (binnen het kader van een gelijkblijvend L_{Aeq}). Hierover bleek geen eenduidige uitspraak mogelijk.

Globus e.a. (1973) toonde in het langdurigste veldexperiment dat bekend is (6 jaar) aan dat mensen die blootstonden aan veel nachtelijk vliegtuiglawaai naast allerlei storingen in het slaapritme ook meer ontwaakreacties vertoonden dan mensen in een stille omgeving. Met andere woorden: volledige gewenning treedt niet op, ook niet na zo'n lange tijd. Dat er wel voor een groot deel gewenning optreedt wordt duidelijk uit figuur 1 (Vallet, 1980), waarin getoond wordt dat met name voor hogere piekniveaus gewenning van belang is. Uit de veldexperimenten komt, dat er bij 35 dB(A) L_{eq} (binnen), een piekniveau van 55 dB(A) en 10 tot 15 vluchten vrijwel geen reacties voorkomen. Daarboven ontstaan ook ontwaakreac-

ties. Het betreft hier EEG-ontwaken, geen gedragsmatig ontwaken (Vallet, 1980).

Figuur 1. De rol van gewenning bij de slaapkwaliteit.

(Uit: Vallet, 1980)



Uit een overzicht van een aantal laboratorium-experimenten concludeert Lukas (1975; 1979) dat ontwaakreacties ontstaan bij binnen-niveaus van circa 51 dB(A)_{Lmax}. 25 Procent wordt bereikt bij 73 dB(A).

Griefahn en Muzet (1978) menen dat het aantal ontwaakreacties stijgt met het aantal stimuli, tot circa 35, en daarna gelijk blijft. Ook Vallet (1980) vindt dit.

Osada (1974) toonde aan dat de inslaaptijd driemaal zo lang wordt bij niveaus van 60 in vergelijking met 40 dB(A).

Labiale (1983) vond, dat bij een constant equivalent geluidniveau de hinder toeneemt met het aantal detecteerbare passages boven het achtergrondgeluidniveau, hetgeen de speciale rol van de aantallen benadrukt.

De indruk bestaat, dat de resultaten van diverse onderzoeken consistentener zijn wanneer er gewerkt wordt met L_{Amax} als dosismaat dan bij gebruik van L_{Aeq} , waarbij de spreiding in de gevonden resultaten groter is. Wellicht komt dit, doordat L_{Aeq} geen eenduidige maat is maar tot stand kan komen uit verschillende combinaties van L_{Amax} , N en de expositieduur.

Percentage proefpersonen dat ontwaakt	L_{Amax} binnen	L_{Aeq} binnen
0	55	35-40
10	63	40-45
25	75	45-50

Ter illustratie enig cijfermateriaal uit Nederlands onderzoek dat niet specifiek op slaapstoringsen was gericht:

Bitter (1980) vond 10% 'vaak of soms' gestoord bij rusten of slapen bij $L_{Amax} = 65$ dB(A) en 25% bij 75 dB(A).

De Jong (1986) vond 12% 'vaak of soms' gestoord bij rusten of slapen bij $L_{Amax} = 68$ dB(A) (L_{Aeq} circa 40 dB(A)) en 25% bij $L_{Amax} = 83$ dB(A) (L_{Aeq} circa 50 dB(A)), buitenwaarden. Over de isolatie van de woningen is niets bekend. Hierbij ging het om gemiddeld 4 overvluchten per nacht.

Samenvattend kan gesteld worden dat gedragsmatige ontwaakreacties ontstaan bij een L_{Aeq} van circa 35 dB(A) en een L_{Amax} van circa 55 dB(A) binnen, bij niet meer dan 5 tot 20 overvluchten.

5.4 Na-effecten

Een van de na-effecten is de subjectief ervaren slaapkwaliteit. Deze blijkt uit de antwoorden op een vragenlijst. Zoals in 5.3 reeds is aangegeven is de subjectief ervaren slechte slaapkwali-

teit bij slapen in een rumoerige omgeving in hoge mate het gevolg van slaapverstoringen in de stadia 1, 2 en REM en van ontwaakreacties. Een slechte slaap werkt irriterend, vormt een stressor te midden van het conglomeraat van andere omgevingsstressoren en is als zodanig schadelijk voor de gezondheid (inwerking via hypothese 2, zie 1.3).

Bij epidemiologisch onderzoek wordt naast de frequentie van inslaap-, doorslaap- en uitslaapproblemen ten gevolge van vliegtuiglawaaï meestal gevraagd - middels een enkele vraag - naar de subjectief ervaren slaapkwaliteit. Te zamen geven zij een indruk over de omvang en de ernst van slaapproblemen ten gevolge van lawaai. Het is interessant deze gegevens te vergelijken met gegevens over slaapproblemen in hun algemeenheid, dus zonder koppeling aan één oorzaak. Hierbij beperken wij ons tot het probleem van insomniā (slapeloosheid, moeilijk kunnen in-, door- of uitslapen) en laten andere slaapproblemen zoals nachtmerries en hypersomniā (overdreven veel slapen) buiten beschouwing. Uit diverse zeer recente studies kan de conclusie worden getrokken dat 'gemiddeld' circa 20-30 procent van de bevolking een matige tot slechte slaapkwaliteit heeft (wat iets anders is dan een enkele keer slecht slapen). Er is gesteld 'gemiddeld' omdat de slaapkwaliteit sterk beïnvloed wordt door de leeftijd en in mindere mate door het geslacht (vrouwen slapen slechter dan mannen), de sociaal-economische status (lagere status, slechtere slaap), het onderhevig zijn aan psychische problemen en de bevolkingsdichtheid (psychische problemen en dichtbevolkt gebied: slechtere slaap). (Langdon & Buller, 1977; De Graaf, 1984; Kales and Kales, 1984). Sommige auteurs (Rice & Morgan, 1982) trekken hieruit de conclusie dat het pas interessant is naar slaapstoring door nachtvluchten te kijken - in termen van beleid - als de ontwaakreacties de 25 procent te boven gaan. De auteurs van dit rapport nemen hiertegen ten sterkste stelling. Het is onjuist alleen te kijken naar de verbreidheid van vóórkomen (prevalentie). Er moet ook gekeken worden

naar de ernst van de reacties. Slaapproblemen zullen onder invloed van nachtvluchten juist sterk in ernst toenemen bij gevoelige groepen: zij die toch al moeilijk inslapen, relatief vaak in de lichte slaapstadia verkeren, snel wakker worden en, als ze eenmaal wakker zijn, dat ook lang blijven.

Een ander na-effect is het humeur dat met behulp van een psychologisch meetinstrument kan worden vastgelegd. Een slecht humeur kan het gevolg zijn van een tekort aan diepe slaap, waardoor de restauratieve functie van de slaap onvoldoende aan bod is gekomen (Ehrenstein en Müller-Limmroth, 1980).

Er zijn diverse tests om na een nacht in het laboratorium de invloed van het lawaai waaraan men heeft blootgestaan op gedragingen na te gaan: reactietijdtests, reactietijd-keuzetests, tests waarbij een beroep wordt gedaan op het kortdurige auditieve geheugen en vigilantietests. Testresultaten zijn na een nacht met lawaai vrijwel altijd slechter dan na een rustige nacht. Dit betekent dat het organisme minder 'fit' is (Wilkinson & Campbell, 1984).

Medicijngebruik, het gebruik van diverse gezondheidsvoorzieningen en het vóórkomen van bepaalde lichamelijke of psychische problemen zijn te beschouwen als directe indicatoren voor aangetaste gezondheid.

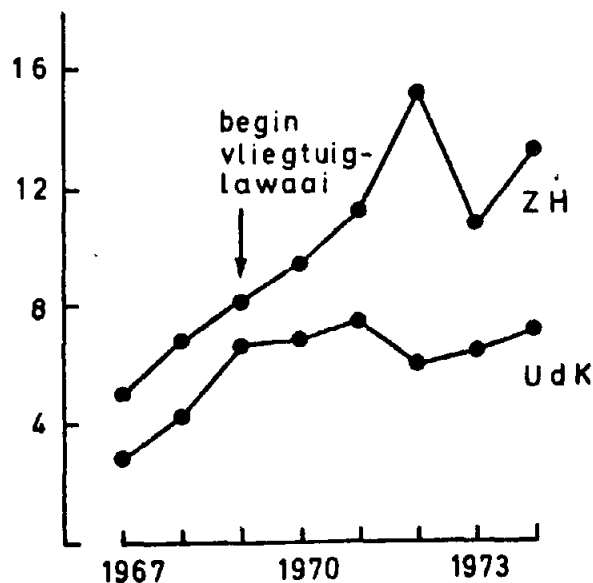
Bij het bestuderen van deze effecten gaat men voorbij aan de voor een effectieve lawaaibestrijding belangrijke vraag naar de processen die de samenhang tussen lawaai en gezondheid bepalen. Doordat een gebied dat 's nachts druk is dat vrijwel altijd ook overdag zal zijn, is de invloed van nachtelijk lawaai moeilijk, en misschien onmogelijk, te isoleren.

Bij de epidemiologische onderzoeken, die verricht zijn, is geconstateerd dat bij een toename van de geluidbelasting meer medicamenten gebruikt, voorgeschreven of verkocht worden. Zowel Knipschild, in zijn studie naar de effecten van geluidbelasting rond

Schiphol (Knipschild, 1976), als Grandjean en Wehrli in Zwitserland en Lambert in Frankrijk (Grandjean, 1974; Wehrli & Wanner, 1978; Lambert e.a. 1984) vonden bij een groter worden van de geluidbelasting een toenemende geneesmiddelenconsumptie. De doeltreffendheid van geneesmiddelen, c.q. slaapmiddelen, die beogen de slaap te beschermen is beperkt. De reactiviteit op E.E.G.-niveau wordt wel geringer bij inname. Deze reductie lijkt beperkt te zijn tot het eerste gedeelte van de nacht (Johnson & Spinweber, 1983). De cardiovasculaire reactiviteit reduceert, zij het in geringe mate. Deze vermindering beperkt zich bovendien tot de eerste nacht van inname (Muzet, 1983). Daarnaast moet rekening gehouden worden met het gegeven dat na het innemen van slaapmiddelen het voor het dagelijkse functioneren vereiste verrichtingsniveau verslechtert. In onderstaande figuur zijn de bevindingen weergegeven met betrekking tot slaaptabletten, voor en na uitbreiding van de vluchten over Zwanenburg/Halfweg.

Figuur 2. Aantal slaaptabletten per volwassene per jaar.

(Uit: Knipschild, 1976)



Tarnopolsky e.a. (1980) en Jenkins e.a. (1981) vonden in rustige en rumoerige wijken rond Heathrow evenveel mensen met psychische problemen. Maar zij die problemen hadden, hadden meer last van lawaai. Dit is evidentie voor de juistheid van de derde hypothese (lawaai hoeft geen gezondheidsproblemen te veroorzaken, maar versterkt ze wel).

Taylor en Wilkins (1986) hebben studies naar gezondheidsproblemen door lawaai kritisch bekeken, vooral op methodologische zwakheden. De meeste studies bleken methodologische feilen te vertonen. Hiermee rekening houdend moet men stellen dat er met betrekking tot cardiovasculaire effecten, effecten op de reproductie (geboortegewicht, draagtijd) en effecten op de psychische gezondheid geen sterke evidentie is, maar dat de convergerende tendenzen wel op het bestaan van deze effecten wijzen.

6. ISOLATIE EN WOONGEDRAG

De vraag of men iemand kan beschermen tegen geluidoverlast door zijn huis akoestisch te isoleren is niet zo eenvoudig en eenduidig te beantwoorden als op het eerste gezicht lijkt.

Gegeven een bepaalde dosis-effectrelatie zou men verwachten dat, bij een verlaging van de dosis door isolatie, het effect zal verminderen volgens de beschrijvende functie van de relatie. Dit blijkt niet altijd het geval te zijn. Bitter (1980) vond dat een verlaging van de dosis door isolatie een bepaalde minimumgrootte (afhankelijk van de geluidbelasting en van de gewekte verwachtingen) moet overschrijden om een positief effect te hebben. Is de verlaging geringer, dan kan zelfs een vermeerdering van de hinder optreden.

Raw & Griffiths (1985) vonden dat een vermindering van de geluidbelasting door een verandering van vliegprocedures leidde tot een grotere vermindering van de hinder dan verwacht op grond van een in een 'steady state' gevonden dosis-effectrelatie, terwijl een verhoging van de geluidbelasting leidde tot een grotere groei van de hinder dan verwacht. (Een algemeen effect dat ook verwacht kan worden bij de uitbreiding van vliegveld Zuid-Limburg.)

Hall (1980) vond dat mensen op geluid reageren (in termen van hinder) "alsof zij op de drempel van hun huis staan": de situatie buiten is vrijwel even belangrijk bij het tot stand komen van een hinderreactie als de situatie binnen.

Ook Peeters e.a. (1981) vond in zijn onderzoek naar treinlawaai dat de hinder vrijwel onafhankelijk is van de geluidwerende kwaliteiten van de woningen, die niet speciaal geïsoleerd waren tegen geluid.

Voor slaapstoring ligt dit iets anders dan voor algemene hinder. De meer gevoelige indicatoren (fysiologische reacties) reageren direct op een vermindering van de geluidbelasting waaraan het organisme blootstaat. De subjectief ervaren slaapkwaliteit verandert echter veel geleidelijker, zoals uit diverse onderzoeken blijkt (Vallet & François, 1982).

Wanneer woningen worden geïsoleerd, worden niet alleen de piekniveaus van de bron waar het om gaat in huis omlaag gebracht, maar ook het achtergrondgeluidniveau. Hierdoor verandert de signaal-ruisverhouding niet al te zeer. De hoogte van het achtergrondgeluidniveau kan de reacties op de pieken mede bepalen (Vallet e.a. 1983).

In het geval van vliegveld Zuid-Limburg zal dit in mindere mate een rol spelen doordat het verschil tussen de pieken en het achtergrondgeluidniveau zowel voor als na isolatie daarvoor te groot is. Van beïnvloeding is vooral sprake wanneer de signaal-ruisverhouding in de orde van grootte van 5-10 decibel is.

Dit betekent dat in dit geval vooral de vermindering van de piekniveaus bepalend zal zijn voor de slaapstoringen.

Een andere factor die van belang is bij de beslissing om isolatie aan te brengen is het bewonersgedrag: is het realistisch om aan te nemen dat geluidwerende voorzieningen optimaal gebruikt zullen worden?

In Nederland pleegt 80-90 procent van de bevolking 's zomers met open ramen te slapen. Bij druk wegverkeer neemt dit af tot circa 60 procent. 's Winters slaapt circa 60-65 procent met open ramen (Van Dongen, 1986). 'Met open 'ramen' kan inhouden dat men met een klappaampje op een kier slaapt, maar ook dat men met grotere ramen wijd open slaapt. Wanneer men om redenen uit de omgeving, die men niet als natuurlijk (zoals temperatuur of regen) beschouwt, met gesloten ramen moet slapen ervaart men dit doorgaans als uiterst

vervelend: men voelt zich beperkt in zijn vrijheid van handelen, heeft een hekel aan slaapluchtjes of krijgt het te warm. Dit grijpt niet alleen in op de beleving, maar met name het laatste aspect kan ook de slaapkwaliteit aantasten.

In het DORA rapport van 1980 is geregistreerd dat in de omgeving van Heathrow en Gatwick 66% van de bewoners met open ramen sliepen. Bewoners van huizen die akoestisch waren geïsoleerd deden dit in dezelfde mate als bewoners van niet-geïsoleerde huizen, daarmee willens en wetens een deel van hun bescherming opgevend.

Taylor (1984) maakte door middel van pad-analyse op enquête-resultaten aannemelijk dat men doorgaans de ramen niet sluit voor men naar bed gaat, maar dit pas doet wanneer men bij het inslapen of in zijn slaap gestoord wordt. Hierdoor wordt de curieuze bevinding verklaard dat mensen die met gesloten ramen slapen soms meer gehinderd zijn dan mensen die met open ramen slapen.

Hoewel bovenstaande factoren de beschermende werking van isolatie voor een deel teniet zullen doen blijkt isolatie wel degelijk te helpen tegen slaapstoringsen (o.a. Bitter e.a., 1978; Bitter, 1980; Bitter e.a., 1982; Wilkinson, 1981).

Uit recent onderzoek rond Schiphol (De Jong, 1986) blijkt dat geluidwerende voorzieningen die in 1976 zijn aangebracht, ook nu nog effectief zijn (zie tabel 3). Ook bij deze geluidwerende voorzieningen bestaat de mogelijkheid om in de slaapkamer een raam te openen. Hoewel er geen zekerheid over is doordat er niet naar gevraagd is, lijkt het waarschijnlijk dat ook hier relatief veel mensen in geïsoleerde woningen met een raam open zullen slapen.

Tabel 3. Het verband tussen slaapstoring door vliegtuigen en het wonen in een akoestisch geïsoleerd huis (het merendeel van deze woningen is in 1976 geïsoleerd) of een niet-geïsoleerd huis.

	geïsoleerd (n=71) %	niet-geïsoleerd (n=132) %
vaak gestoord	14	19
soms gestoord	18	27
zelden gestoord	13	20
nooit gestoord	55	34

L_{Amax} buiten : 86 dB(A)

L_{Aeq} buiten : 53 dB(A)

N (per nacht) voor een deel 4, voor een deel 1 vlucht per nacht.

Samenvattend kan gesteld worden dat men mensen wel kan beschermen tegen geluidoverlast door hun huis (of in geval van slapen een deel daarvan) akoestisch te isoleren, maar dat daarbij rekening moet worden gehouden met bestaande ventilatiegewoonten om de werking van de 'Wet van behoud van ellende' (het inwisselen van de ene ongewenste situatie voor de andere) te vermijden.

7. DISCUSSIE

De verstoring van nachtelijke slaap door vliegtuiglawaai is bekeken op verschillende niveaus, aflopend in graad van gevoeligheid voor beïnvloeding door lawaai: diverse fysiologische reacties, ontwaakreacties en na-effecten.

Het bestaan van een indirecte beïnvloeding van gezondheid door lawaai via stress wordt algemeen aanvaard. Uit het voorafgaande is duidelijk geworden dat ontwaakreacties een goede indicator vormen voor de waarschijnlijkheid dat nachtelijk geluid als een stressor gaat optreden.

Recente bevindingen uit de hoek van de neurofysiologie maken een primaire biologische grondslag voor de beïnvloeding van de gezondheid door lawaai, naast de indirecte, aannemelijk (hier wordt niet bedoeld op gehoorschade waarvoor dit reeds was aangetoond).

Aanwijzingen hiervoor zijn de volgende:

- a. de slaapstoornissen van mensen die nog moeten gewennen aan meer lawaai na de opening van een nieuwe weg vertonen EEG-slaappatronen die sterke overeenkomsten hebben met de EEG's van unipolaire depressieve patiënten (Mouret, 1982).
- b. groeihormoon wordt alleen in de diepe slaap aangemaakt (Sassin e.a., 1969);
- c. eiwitten die nodig zijn voor het versterken van geheugensporen worden alleen in de REM-slaap gevormd (Oswald, 1980).
- d. Heym e.a. (1982) toonden aan dat zich in de hersenstam cellen bevinden die niet adapteren aan auditieve of visuele stimuli. Zij vertonen ook tijdens de slaap afvuur responsen op auditieve stimulering, onafhankelijk van het slaapstadium en ook wanneer men gewenning vertoont (minder ontwaakreacties, gedeeltelijke adaptatie van andere fysiologische responsen, o.a. van de cellen in de reticulaire formatie).

De hersenstam speelt een belangrijke rol bij de regulering van het cardiovasculaire systeem, speciaal bij stress (Galosy e.a., 1981). Ook het cardiovasculaire systeem vertoont geen adaptatie aan geluid, zoals reeds is vermeld.

- e. De cellen in de hersenstam die niet adapteren aan geluid spelen ook een rol bij de aanmaak van serotonine. Bij sectie op de hersenen van depressieve patiënten die zelfmoord hadden gepleegd is een verlaging van de serotonine-spiegel geconstateerd. Dit soort patiënten is uiterst gevoelig voor lawaai. Knipschild (1976) vond een verhoogde prevalentie van depressieve symptomen bij hogere geluidniveaus van vliegtuigen.

Over de ernst van deze beïnvloedingen is nog niets bekend.

Het derde niveau (de na-effecten) leent zich minder goed voor gebruik als criterium om beleid op te baseren, onder meer omdat relaties met enigszins exacte geluidniveau's niet bekend zijn.

Dit betekent, dat uit het oogpunt van de volksgezondheid er niet voorbij mag worden gegaan aan de mogelijkheid van directe beïnvloeding. In dat geval dient uitgegaan te worden van binnenniveau's voor $L_{Amax} = 40$ dB(A) en voor $L_{Aeq} = 30-35$ dB(A), waaronder verstoring van de slaap niet wordt waargenomen.

Wanneer ontwaakreacties als criterium gekozen worden - hetgeen enig risico inhoudt - correspondeert dit met binnenniveaus voor $L_{Amax} = 55$ dB(A) en voor $L_{Aeq} = 35-40$ dB(A), bij minder dan 20 overvluchten. Naarmate het aantal overvluchten toeneemt dienen deze waarden verlaagd te worden, tot 5 dB(A) minder bij ca. 30-35 overvluchten.

Vergelijkingen met de aanbevelingen van de WHO, de OECD en de EEG maakt duidelijk dat deze beter aansluiten bij de waarden waaronder geen fysiologische reacties worden aangetoond dan bij de waarden waarboven ontwaakreacties optreden.

Wat betekent een en ander voor de situatie rond vliegveld Zuid-Limburg?

a. De niveaus. In onderstaande tabel (tabel 4) is, uitgaande van beide behandelde criteria aangegeven wat dit voor de buitenniveaus betekent.

Tabel 4. Criteria, isolatiewaarden en buitenniveaus.

criteria (1)	binnenwaarden waarboven effecten worden waargenomen (in dB(A)) (2)	aangenomen buiten- waarden waarboven effecten worden waargenomen (+ 15 dB(A)) (3)
fysiologische reacties	$L_{Amax} = 40$ $L_{Aeq} = 30-35$	55 45-50
ontwaak- reacties	$L_{Amax} = 55$ $L_{Aeq} = 35-40$	70 50-55

In kolom (1) zijn de criteria genoemd; in kolom (2) de waarden waarbij de onderscheiden verstoringen gaan optreden. Deze waarden dienen strikt genomen te worden omdat de situatie rond vliegveld Zuid-Limburg een tweetal aspecten in zich draagt die weliswaar niet in deze waarden meegewogen kunnen worden maar toch extra voorzichtigheid vereisen. Dit zijn het onregelmatige karakter van de 'dienstregeling' en het feit dat de in- en uitvliegroutes recht over de woonkernen gaan (zie hoofdstuk 4).

Uit onderzoek (Ohrström & Rylander, 1982) staat vast dat onregelmatig geluid sneller tot verstoringen leidt dan regelmatig geluid, en dat mensen die recht onder vliegpaden wonen meer angst voor eventuele calamiteiten hebben dan mensen die daar niet recht onder wonen, hetgeen kan leiden tot een snellere verstoring van de slaap.

In kolom (3) zijn de binnenwaarden waarboven verstoringen gaan optreden omgerekend naar buitenwaarden. Hierbij zijn de volgende premissen gemaakt:

- er is uitgegaan van het meest gangbare ventilatiegedrag tijdens de slaap, dat wil zeggen een raam(pje) (gedeeltelijk) open.
- er is van uitgegaan dat dit ventilatiegedrag bij een redelijk goed gebouwd huis een isolatiewaarde van dat huis betekent van circa 15 dB(A).

Met isolatie kan, afhankelijk van de zwaarte ervan, de kwaliteit van de slaap van de bewoners worden beschermd tegen hogere buiten-niveaus, mits deze isolatie niet al te zeer ingrijpt in hun gebruikelijke gedragspatronen en in het binnenklimaat van hun slaapkamer (hoofdstuk 6).

b. De aantallen. Wanneer de runway 's nachts consequent in zuidelijke richting wordt gebruikt, betekenen 32 vliegbewegingen voor elk van de woonkernen (Beek (+ Geverik), Meerssen) gemiddeld 16 overvluchten in de nacht. Gemiddeld, omdat het af en toe voor zal komen dat een vliegtuig vóór de nachtperiode (23-04 uur) aankomt of na deze periode vertrekt. Over een periode van vijf uur betekent dit gemiddeld één overvlucht in elke 18 tot 19 minuten. In de meeste onderzoeken bedroeg het aantal nachtvluchten minder dan 20. De nachtperiode werd hier gesteld van 23-07 uur. Dit betekent gemiddeld één overvlucht in elke 24 minuten.

Hieruit moet geconcludeerd worden dat de gemiddelde tijd tussen twee overvluchten korter is dan in de meeste bestudeerde onderzoeken. Of dit nadelig is voor de slaapkwaliteit is niet te zeggen. Belangrijker lijkt in dit verband dat er niet gevlogen wordt in het laatste deel van de nacht, wanneer men doorgaans in de lichtere slaapstadia verkeert.

Bij een verkorting van de tijd tussen twee vluchten neemt de kans toe dat deze te kort wordt om een fysiologische reactie ten gevolge van een geluidstimulus te laten 'wegebben'. Sommige reacties kunnen minuten duren, en wanneer een volgende stimulus wordt aan-

geboden, voordat het organisme in 'ruststand' is teruggekeerd zal dit de restauratieve functie van de slaap nadelig beïnvloeden. Hierbij moet men bedenken dat de tijd tussen twee vluchten perceptief gezien korter is dan 18 à 19 minuten, omdat een overvlucht een bepaalde tijdsduur heeft.

Hierbij is nog een aspect onbesproken gebleven. Het bovenstaande gaat alleen op wanneer landende vliegtuigen niet in Meerssen en opstijgende vliegtuigen niet in Beek hoorbaar zijn (ook het grondlawaai is hierbij van belang). Of dit wel of niet het geval is, is niet bekend aan de onderzoekers. Het lijkt mogelijk dat bij starts met beladen vliegtuigen, die doorgaans met (bijna) vol vermogen gemaakt worden, de afstand van het begin van de startbaan tot Beek/Geverik zodanig is dat men daar ook (een deel van) de vertrekkende vliegtuigen hoort. In dat geval zou het aantal bewegingen dat gehoord wordt en dat de slaap verstoort aanzienlijk boven het aantal overvluchten ter plekke uitkomen.

De in dit rapport bijeengebrachte gegevens in beschouwing nemende mag samenvattend gesteld worden dat het literatuuronderzoek (zoals omschreven in par. 1.2) tot de volgende bevindingen leidt:

- a. Door geluid aangetaste slaapkwaliteit heeft nadelige gevolgen voor met slaapkwaliteit samenhangende gezondheidsaspecten.
- b. De slaapkwaliteit in zijn verschillende aspecten wordt negatief beïnvloed door de optredende geluidsniveaus, het aantal overvluchten en de expositieduur. Een aantal daarmee samenhangende gezondheidsaspecten vertoont kenmerken van irreversibiliteit of afwezigheid van gewenning dan wel adaptatie.
- c. Bescherming tegen aantasting van slaapkwaliteit door geluid wordt geboden door isolatie, vooropgesteld dat deze geen afgeleide problemen oproept voor de gezondheid, met name het aspect van fysiek en psychisch welbevinden.

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van de besluitvorming over nachtvluchten op vliegveld Zuid-Limburg. Daarom zijn de resultaten van de studie in verband gebracht met de actuele situatie rond het vliegveld. Deze situatie bevat risicofactoren voor de volksgezondheid. Het rapport geeft inzicht in aard en werkzaamheid van deze risicofactoren.

LITERATUUR

- ASHA: Proceedings of the Third International Congress on Noise as a Public Health Problem. Freiburg, sept. 25-29, 1978. ASHA Reports 10, Rochville, Maryland (1980).
- BITTER, C.; J.P. KAPER & W.M.H. PINKSE: Beleving geluidwerende voorzieningen in de woonsituatie langs Rijksweg 16 in Dordrecht. VL-DR-14-01, Leidschendam (1978).
- BITTER, C. & L.H.J. WILLIGERS: Beleving van geluidwerende voorzieningen tegen vliegtuiglawaai in de woonsituatie-een vergelijkende studie. LL-HR-14-03, Leidschendam (1980).
- BITTER, C.; J.H.K. HOLST; H.A.C. KANDELAAR e.a.: Beleving geluidwerende voorzieningen in de woonsituatie langs Rijksweg 10 in Amsterdam. VL-DR-14-02, Leidschendam (1982).
- CEC, Eur. Report 5398 e. Damage and annoyance caused by noise, 1975.
- Directorate of Operational Research and Analysis: DORA Report 8008: Aircraft Noise and Sleep disturbance: final report. August 1980.
- DONGEN, J.E.F. VAN: Persoonlijke communicatie. Afgeleid uit diverse onderzoeken naar ventilatiegedrag in Nederland. Leiden (1986).
- ETTEMA, J.H. & P.G. KNIPSCHILD: De gezondheid rond vliegvelden; enkele opmerkingen over de zoneringswetgeving. In: verslag studiedag NSG (1975).
- FIDELL, S. AND G. JONES: Effects of cessation of late night flights in an airport community. J. Sound and Vibr. 42, pp. 422-437, 1975.
- FRUHSTORFER, B.; P. GRASS, H. FRUHSTORFER: The influence of daytime noise on human night sleep. Sleep 1982, 6th Eur. Congr. Sleep Res., Zürich. (Karger, Basel 1983).
- FRUHSTORFER, B.; H. FRUHSTORFER & P. GRASS: Daytime noise and subsequent night sleep in man. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 53 (1984).
- GALOSY, R.A.; L.K. CLARKE; M.R. VASKO AND I.L. CRAWFORD: Neurophysiology and Neuropharmacology of cardiovascular regulation and stress. Neurosci. Biobehav. Rev. 5 (1981) 137-175.

- GLOBUS, G.; J. FRIEDMAN AND H. COHEN: Effects of aircraft noise on sleep as recorded in the home. Sleep Research, volume 2, p. 116-122, 1973.
- GRAAF, W. DE: Huisarts en slaapgedrag. Proefschrift. Swets & Zeitlinger, Lisse (1984).
- GRANDJEAN, E.: Untersuchung über die Fluglärmwirkungen in der Schweiz. In: Energie und Umwelt, Referate des 8er Internationalen Kongresses für Lärmbekämpfung der AICB BAG, Brunner Verlag AG, Zürich (1974).
- GRIEFAHN, B.: Schlafverhalten und Geräusche. Feld- und Laboruntersuchungen über Strassenverkehr, EEG-Analyse, Literaturauswertung. Enke, Stuttgart (1985).
- GRIEFAHN, B. & E. GROS: Zur Wirkung von Strassengeräuschen auf den Schlaf. Ergebnisse einer Feldstudie. Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed. 20 (1985).
- GRIEFAHN, B.; G. JANSEN & D. BOHMER: Schlafstörungen und Hypnotikakunsum bei unterschiedlicher Belastung durch Strassengeräusche. Z. Arbeitswiss. 39 (1985).
- GRIEFAHN, B.: Schlafstörungen durch Strassenlärm. Umwelt, 4 (1985).
- HALL, F.L.; S.E. BIRNIE & S.M. TAYLOR: Assessment of guidelines for sound level limits in residential areas. McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada (1980).
- HEYM, J.; M.E. TRULSON AND B.L. JACOBS: Raphe Unit Activity in freely moving cats: effects of phasic auditory and visual stimuli. Brain Res. 232 (1982) 29-39.
- JENKINS, L.; A. TARNOPOLSKY & D. HAND: Psychiatric admissions and aircraft noise from London Airport: Four year, three-hospitals' study. Psychol. Med. (London) 11 (1981).
- JOHNSON, L.C. AND C.L. SPINWEBER: Benzodiazepine Effects on Arousal Threshold During Sleep. In: Rossi, 1983.
- JONG, R.G. de: EEG joint research: Community reactions to aircraft noise, in druk (1986).
- JURRIENS, A.A.: Slaapstoring door lawaai. VL-DR-24-02, maart 1981.

- JURRIENS, A.A., B. GRIEFAHN, A. KUMAR, M. VALLET AND R.T. WILKINSON: An Essay in European Research Collaborattion: Common Results from the Project on Traffic Noise and Sleep in the Home. In: Rossi, 1983.
- KALES, A. & J.D. KALES: Insomnia. Oxford University Press, New York (1984).
- KNIPSCHILD, P.G.: Medische gevolgen van vliegtuiglawaai. Coronel Laboratorium, Amsterdam (1976).
- LABIALE, G.: Laboratory study of the influence of noise level and vehicle number on annoyance. Journal of Sound and Vibration 90 (1983).
- LANGDON, F.J. & I.B. BULLER: Road traffic noise and disturbance of sleep. Journal of Sound and Vibration 50 (1977).
- LUKAS, J.S. & M.E. DOBBS: Effects of aircraft noise on the sleep of women. Human Females. Nat. Aeronautics and Space Adm. NASA CR-2041 (1972).
- LUKAS, J.S.: Sleep and Noise: A literature review and a proposed criterion for assessing affect. J.A.S.A., 58 (1975).
- LUKAS, J.S.: Measures of noise level: their relative accuracy in predicting objective and subjective responses to noise during sleep. Environmental Health Effects Research Series, EPA-600/1-77-010 (1977).
- MOURET, J.: Fondements biologiques de la privation de sommeil dans le traitement des dépressions. Encéphale 8 (1982) 229-250.
- MUZET, A.; J. EHRHART, R. ESCHENLAUER & J.P. LIENHARD: Habituation and age differences of cardiovascular responses to noise during sleep. Sleep 1980. 5th Eur. Congr. Sleep Res., Amsterdam. (Karger, Basel 1981).
- MUZET, A.: Research on noise disturbed sleep since 1978. In: Rossi (1983).
- MUZET, A.; L.D. WEBER; C. AMOROS; J. EHRHART; J.P. LIBERT AND C. TSAKONA: Electrophysiological and Cardiovascular Responses to Noise During Sleep. Effects of a Benzodiazepine Hypnotic. In: Rossi, 1983.
- OECD, Report - Reducing noise in OECD countries, 1978
- OECD, Environment Committee, doc. ENV(85)23, Parijs (1985).

- OHRSTROM, E. & R. RYLANDER: Sleep disturbance effects of traffic noise - A laboratory study on after effects. *Journal of Sound and Vibration* 84 (1982).
- OSWALD, I.: 1980. In 'Adaptive Capabilities of the Nervous System' *Progress in Brain Research*, vol. 53. Ed. McConnell, Boev Ronijn, van de Poll and Corner. Pub. Elsevier. Sleep as a restorative process: Human Clues.
- PEETERS, A.L., R.G. DE JONG & J.C. TUKKER: Hinder door spoorweggeluid in de woonomgeving. IMG-TNO Rapport No. D60, Delft (1981).
- RAW, G.J. AND I.D. GRIFFITHS: The effect of changes in aircraft noise exposure. *J. of Sound and Vibration*, 101 (2), (1985), p. 273-275.
- RECHTSCHAFFEN, A. & A. KALES: A Manual of Standardized Terminology Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. U.S. Government Printing Office, Washington D.C. (1968).
- RICE, C.G. & P.A. MORGAN: A synthesis of studies on noise induced sleep disturbance. Institute of Sound and Vibration Research Memorandum 623 (1982).
- ROSSI, G. (ed.): Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem, Turin, June 21-25, Centro Richerche E Studi Amplifon, Milano, Italy (1983).
- SASSIN, J.F.; D.C. PARKER; J.W. MACE; R.W. GOTLIN; L.C. JOHNSON AND L.G. ROSSMAN: 1969. *Science* 165, 513-515. Human growth hormone release: relation to slow wave sleep and sleep-waking cycles.
- TAYLOR, S.M.: A path model of aircraft noise annoyance. *Journal of Sound and Vibration* 96 (1984).
- TAYLOR, S.M. AND P.A. WILKINS: Health Effects. In: *Handbook of transportation noise*, Chapter 5. P.N. Nelson (ed.), (1986) (in press).
- TARNOPOLSKY, A.; G. WATKINS & D.J. HAND: Aircraft noise and mental health: I. Prevalence of individual symptoms. *Psychol. Med.* (London) 10 (1980).
- VALLET, M. & J. FRANCOIS: Evaluation physiologique et psychosociologique de l'effet du bruit d'avion sur le sommeil. *Travail Humain* 45 (1982).

- VALLET, M.; J.M. GAGNEUX, V. BLANCHET, B. FAVRE & G. LABIALE: Long term sleep disturbance due to traffic noise. *Journal of Sound and Vibration* 90 (1983).
- VALLET, M. & J. MOURET: Sleep disturbance due to transportation noise: ear plugs vs oral drugs. *Experientia* 40 (1984).
- VALLET, M.: Sleep disturbance, In: *Handbook of Transportation Noise*. P.M. Nelson (ed.), Chapter 6, in druk (1986).
- VISSER, P.: Slaap en droom. In: *Duijker, H. en Vroon, P. Codex Psychologicus Elsevier, A'dam, 1981.*
- WHO, *Environmental Health Criteria 12 - Noise, 1980.*
- WILKINSON, R.T.: Effects of traffic noise upon sleep in the home: subjective report, EEG, and performance the next day. In: *Sleep. 5th European Congr. Sleep Res., Amsterdam 1980 (Karger, Basel 1981).*



**Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**

Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne

Postbus 450
2260 MB Leidschendam
telefoon 070 - 20 93 67, tst:

Aan Nederlands Instituut voor Praeventieve
Gezondheidszorg
t.a.v. drs. R.G. de Jong
Wassenaarseweg 56
2333 AL Leiden

Directie Geluid

Uw kenmerk

Uw brief van

Kenmerk

Datum

27 MAART 1988

DGMH/G nr.

Onderwerp

2736116

Onderzoek slaapkwaliteit

Recentelijk heeft het gerechtshof in 's Gravenhage, in de zaak van de Vereniging Geen Uitbreiding Vliegveld Beek tegen de Staat der Nederlanden, rechtdoende in hoger beroep in kort geding, uitgesproken termen aanwezig te achten de vordering van de Vereniging in diër voege toe te wijzen, dat de Staat wordt bevolen er voor zorg te dragen dat het aantal nachtvluchten op de Luchthaven Zuid-Limburg tot het niveau van vóór de Nachtvluchtenbeschikking wordt beperkt, totdat een deugdelijk onderzoek heeft uitgewezen dat, eventueel na het treffen van isolatiemaatregelen, een groter aantal nachtvluchten uit een oogpunt van de volksgezondheid in redelijkheid kan worden aanvaard.

Met "de Nachtvluchtenbeschikking" wordt hier bedoeld de beschikking dd. 30 april 1985, LV/L 22185.

Refererend aan met u gevoerd overleg op 25 en 26 maart j.l. verzoek ik u in dit kader met de meeste spoed een literatuuronderzoek uit te voeren naar:

1. De relatie tussen door geluid aangetaste slaapkwaliteit en gezondheid in meer algemene zin.
2. De relatie tussen het uitvoeren van nachtvluchten en slaapkwaliteit met bijzondere aandacht voor de optredende geluidsniveau's, aantal vluchten per nacht en expositieduur. In verband met dit laatste is het van belang na te gaan of er onderscheid kan worden gemaakt tussen reversibele en irreversibele effecten.
3. De mate waarin tegen een mogelijke aantasting van slaapkwaliteit door vliegtuiglawaai gedurende de nacht, bescherming kan worden geboden door geluid isolatie van de woning zonder dat dit mogelijke afgeleide gezondheidsproblemen oproept.

Ik bevestig hierbij tevens de tijdens voornoemd overleg gemaakte afspraak, dat op 17 april 1986 om 10.00 uur in Leidschendam een eerste rapportage over de resultaten van dit onderzoek plaatsvindt.

Bijlage

47

Bezoekadres.
Dr v d Stamsstraat 2
Bereikbaar met de NZH buslijnen 45 of 46
vanaf station Den Haag Centraal en vanaf
station Leidschendam-Voorburg, en de
HTM buslijn 26 vanaf station Leidschendam-Voorburg

Dit onderzoek wordt uitgevoerd in nauwe samenwerking met deskundigen van de Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde van de Rijksuniversiteit Groningen, waarvoor als contactpersoon de heer T. Knottnerus zal optreden.

Uw instituut zal deze opdracht zo goed behartigen als mogelijk is binnen de randvoorwaarden van de ter beschikking staande tijd.

Over de vergoeding van uw kosten die met dit onderzoek gepaard gaan en die voor rekening komen van DGMH en RLD gezamenlijk, alsmede andere contractvoorwaarden, bericht ik u per afzonderlijke brief.

De Directeur Geluid,



Mr. J. Tesink

De volgende databestanden zijn geconsulteerd:

ACOMALINE	1975 tot heden
BIOSIS	1973 tot heden
CISDOC	1975 tot heden
ENVIROLINE	1971 tot heden
EPA	1975 tot heden
EXCERATA MEDICA	1974 tot heden
INSPEC	1971 tot heden
IRRD	1972 tot heden
MEDLARS	1971 tot heden
NTIS	1964 tot heden
PASCAL	1973 tot heden
PSYCINFO	1964 tot heden
PSYCHOLOGICAL ABSTRACTS	1972 tot heden
PSYINDEX	1978 tot heden
SOCIAL SCIENCE CITATION	(alle publicaties van enkele belangrijke auteurs)

De uit deze databestanden gegenereerde referenties zijn, waar mogelijk aan de hand van beschikbare abstracts, en anders op grond van de titel of bekendheid met ander werk van de auteur(s), geselecteerd op relevantie voor de vraagstelling.

Een aantal relevante publicaties konden in de beschikbare tijd niet worden verkregen en/of uitputtend bestudeerd. In voorkomende gevallen werd dit meestal ondervangen doordat gegevens uit die publicaties in bestaande overzichtsartikelen werden besproken. Verreweg de meeste relevant publicaties waren reeds aanwezig bij of konden eenvoudig worden verkregen door (een van) beide onderzoeksinstanties.

Onze bijzondere dank gaat uit naar de volgende deskundigen, die door hun adviezen en door het verstrekken van informatie veel hebben bijgedragen tot de waarde van deze studie.

Dr. J.M. Fields, US General Accounting Office, Washington DC, USA;

Dr. E. Gros, Universität Düsseldorf, Duitsland;

Dr. G.A. Kerkhof, RU, Leiden;

Dr. C.G. Rice, Southampton University, UK;

Dr. S.M. Taylor, McMaster University, Ontario, Canada;

Dr. M. Vallet, Institut de Recherche des Transports, Lyon, Frankrijk;

Ir. G.J. Kleinhoonte van Os, TPD TNO-TH, Delft,

Ir. A.A. Jurriëns, Dr. M.L.I. Pokorny en Ing. A.J.M. Rövekamp, NIPG-TNO, Leiden.



Productie en distributie:
Ministerie van Volkshuisvesting
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Centrale Directie Voorlichting en
Externe Betrekkingen
Van Alkemadeaan 85
2597 AC 's-Gravenhage
VROM 61078/12-86

Distributiecentrum Overheidspublicaties (DOP)
ISBN 90 346 1024 1