
Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid





Aan de staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en
Milieubeheer
Postbus 20951
2500 EZ Den Haag

Onderwerp : Aanbieding advies over nachtelijke geluidblootstelling
Uw kenmerk : LMV 2003003076
Ons kenmerk : U 1007/WP/718-K
Bijlagen : 1
Datum : 22 juli 2004

Mijnheer de staatssecretaris,

Op uw verzoek, vervat in brief nr LMV 2003003076, bied ik u hierbij een advies aan over nachtelijke geluidblootstelling. Het is op mijn verzoek opgesteld door een daartoe door mij geformeerde commissie van de Gezondheidsraad. De commissie heeft zich mede laten leiden door oordelen die zij heeft ingewonnen bij de Beraadsgroepen Geneeskunde en Gezondheid en Omgeving.

De grondslag voor het advies vormt het oordeel van de commissie over de gepubliceerde resultaten van wetenschappelijk onderzoek naar de invloed van nachtelijke geluidsblootstelling op de slaap en de gezondheid. Om een goed beeld te krijgen van de te behandelen thema's is de commissie haar werkzaamheden aangevangen met een workshop met deskundigen uit binnen- en buitenland. Deze bijeenkomst vond plaats op 2 juli 2003 als onderdeel van het *8th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN2003)* te Rotterdam. Daarnaast heb ik bij belanghebbenden via een directe aanschrijving en een advertentie in de Staatscourant van 22 juli 2003 gevraagd naar informatie die voor de commissie van belang zou kunnen zijn. De commissie heeft de elf ontvangen reacties betrokken bij het opstellen van haar advies. Alle respondenten krijgen van de commissie afzonderlijk antwoord.

De commissie heeft speciale aandacht geschonken aan de bewijskracht voor een verhoogde kans op hoge bloeddruk door nachtelijk verkeersgeluid. Vrijwel al het onderzoek naar hoge bloeddruk en ischemische hart- en vaatziekten richtte zich uitsluitend op relaties met geluidsbelasting *overdag en 's avonds*. Een recent, ook in uw adviesaanvraag genoemd, onderzoek geeft aanleiding te veronderstellen dat nachtelijk geluid en de effecten op en tijdens de slaap een veel prominenter rol spelen dan de geluidsbelasting overdag op de ontwikkeling van hoge bloeddruk. Hoewel een

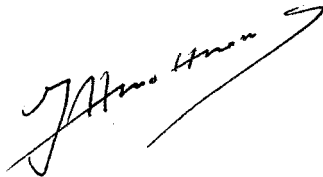
Onderwerp : Aanbieding advies over nachtelijke geluidblootstelling
Ons kenmerk : U 1007/WP/718-K
Pagina : 2
Datum : 22 juli 2004

oorzakelijk verband tussen de kans op hoge bloeddruk en *nachtelijke* geluidsbelasting plausibel is, acht de commissie het bewijs hiervoor beperkt.

De commissie constateert dat er nauwelijks kennis is over biologische effecten en effecten op gezondheid en welbevinden van geluid tijdens de slaap van kinderen. Ook de resultaten van het Europese onderzoeksproject *Road traffic and Aircraft Noise exposure and children's Cognition and Health* (RANCH), die naar verwachting op korte termijn (medio 2004) beschikbaar komen, neemt volgens de Nederlandse onderzoekers die in dit project participeren, deze lacune in kennis niet weg. Ik beveel u daarom aan verder onderzoek naar dit onderwerp te overwegen.

Ik heb dit advies vandaag ook ter kennisneming toegezonden aan de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport en aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat.

Hoogachtend,



Prof. dr JA Knottnerus

Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid

aan:

de staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening & Milieubeheer

Nr 2004/14, Den Haag, 22 juli 2004

De Gezondheidsraad, ingesteld in 1902, is een adviesorgaan met als taak de regering en het parlement ‘voor te lichten over de stand der wetenschap ten aanzien van vraagstukken op het gebied van de volksgezondheid’ (art. 21 Gezondheidswet).

De Gezondheidsraad ontvangt de meeste adviesvragen van de bewindslieden van Volksgezondheid, Welzijn & Sport; Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening & Milieubeheer; Sociale Zaken & Werkgelegenheid en Landbouw, Natuur & Voedselkwaliteit. De raad kan ook eigener beweging adviezen uitbrengen. Het gaat dan als regel om het signaleren van ontwikkelingen of trends die van belang kunnen zijn voor het overheidsbeleid.

De adviezen van de Gezondheidsraad zijn openbaar en worden in bijna alle gevallen opgesteld door multidisciplinaire commissies van – op persoonlijke titel benoemde – Nederlandse en soms buitenlandse deskundigen.

U kunt het advies downloaden van www.gr.nl.

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:

Gezondheidsraad. *Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid*. Den Haag: Gezondheidsraad, 2004; publicatie nr 2004/14.

Preferred citation:

Health Council of the Netherlands. *Effects of noise on sleep and health*. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2004; publication no. 2004/14.

auteursrecht voorbehouden

all rights reserved

ISBN: 90-5549-530-1

Inhoud

Samenvatting 9

Executive summary 19

Omschrijving van in het advies gebruikte begrippen 29

1 Geluid, slaap en gezondheid 33

1.1 Achtergrond 33

1.2 Adviesaanvraag en commissie 34

1.3 Werkwijze 34

1.4 Verzameling van literatuurgegevens 35

1.5 Opzet van het advies 35

2 Begrippenkader 37

2.1 Onderzoek naar omgevingsgeluid en slaap en gezondheid 37

2.2 Karakterisering van blootstelling aan geluid gedurende de nacht 39

2.3 Slaap 43

2.4 Milieu en gezondheid 45

2.5 Beoordeling van effecten van nachtelijk geluid 47

3	Effecten van geluid tijdens de slaap	53
3.1	Laboratorium- en veldonderzoek	53
3.2	Momentane biologische effecten	55
3.3	Biologische effecten vóór, gedurende en na het slapen	65
3.4	Langetermijneffecten	72
3.5	Prevalentie en ziektelast	82

4	Akoestische overwegingen	87
4.1	Combinatie van geluidsgebeurtenissen en momentane effecten	88
4.2	Geluidskarakteristieken	90
4.3	Doelmatigheid en doeltreffendheid van woningisolatie	94

5	Beantwoording van de vragen	99
5.1	Algemene uitgangspunten	99
5.2	Effecten van geluid tijdens de slaap	100
5.3	Gezondheidskundig perspectief	104
5.4	Risicogroepen	106
5.5	Bescherming tegen nachtelijk geluid	107
5.6	Maten voor nachtelijk geluid	108
5.7	Beschermingsmaatregelen	110
5.8	Aanbevelingen voor nader onderzoek	113

	Literatuur	117
--	------------	-----

	Bijlagen	133
A	De adviesaanvraag	135
B	De Commissie	139
C	Personen en instanties die gereageerd hebben op de oproep om informatie	141
D	Onderzoek naar gevolgen van nachtelijke blootstelling tijdens de slaap aan omgevingsgeluid	143
E	Slaapstoornissen en slaapproblemen	191
F	GR-advies Omgevingslawaai beoordelen (1997/23)	199
G	Verdeling geluidsbelasting door verkeer in Nederland	203

Samenvatting

Waarom dit advies?

Slaap is van groot belang voor de mens. Het is dus begrijpelijk dat onbedoelde beïnvloeding van de slaap door geluid een serieus probleem is. Aangezien het storende geluid niet altijd eenvoudig te reduceren is en veelal door maatschappelijk wenselijk geachte activiteiten, zoals verkeer, wordt veroorzaakt, is er een discussie ontstaan over de betekenis van slaapverstoring door omgevingsgeluid voor gezondheid en welbevinden.

Vooraf vanwege de hinder door omgevingsgeluid zijn in Nederland, evenals in andere landen, wettelijke voorschriften van kracht om de blootstelling van de bevolking aan dat geluid te beperken. De meeste hebben betrekking op blootstelling over het hele etmaal en richten zich dus niet in het bijzonder op de periode dat de meeste mensen slapen. Op EU-niveau wordt thans regelgeving voorbereid die dat wel doet. De Nederlandse wetgeving zal te zijner tijd aan het Europese raamwerk worden aangepast.

Tegen deze achtergrond verzocht de staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer in een brief van 3 februari 2003 de Gezondheidsraad om advies over de invloed van nachtelijk geluid op slaap, gezondheid en welbevinden. Het voorliggende rapport beantwoordt de vragen van de staatssecretaris en is opgesteld door de Commissie 'Geluid, slaap, en gezondheid' van de raad.

Nachtelijk geluid tijdens de slaap

Omgevingsgeluid kan van allerlei bronnen komen: vlieg-, weg- en railverkeer; omgevingsgebonden activiteiten; buurtgeluid en burengeluid.

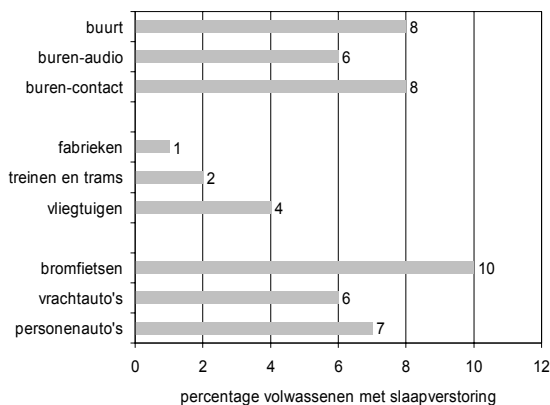
De gevolgen van nachtelijk geluid tijdens de slaap zijn met name beschreven voor verkeersgeluid. Verkeersgeluid in de nacht bestaat in verreweg de meeste situaties uit afzonderlijk te onderscheiden geluidsgebeurtenissen, zoals de passage van een trein, auto, of vliegtuig.

Naar de slaapverstoring door omgevingsgebonden bronnen zoals fabrieken, schietbanen, rangeerterreinen, windturbines, klimaatinstallaties, bouw- en sloopwerkzaamheden is weinig onderzoek gedaan. De commissie verwacht echter dat de effecten van geluid van deze bronnen niet essentieel afwijken van die van verkeersgeluid.

Over de overige geluiden in de buurt (buurtgeluid zoals door recreatieve activiteiten, spelende kinderen, evenementen) is geen wetenschappelijk onderzoek naar een mogelijk verband tussen blootstelling en effect op de slaap bekend. De commissie moest daarom de invloed van nachtelijk buurtgeluid op de slaap buiten beschouwing laten.

Uit het beschikbare onderzoek blijkt dat verscheidene niet-akoestische factoren bepalen of mensen door geluiden uit aangrenzende woningen (burengeluid, zoals stemmen, traplopen, radio, tv) in de slaap gestoord worden. Het is dan ook niet mogelijk om voor burengeluid een betekenisvol verband tussen de geluidsblootstelling en de mate van slaapverstoring vast te stellen.

Onderzoek naar de omvang van de slaapverstoring die de Nederlander naar eigen zeggen 's nachts ondervindt van diverse omgevingsgeluiden, levert het volgende resultaat op:



Effecten van nachtelijk geluid tijdens de slaap

De effecten van omgevingsgeluiden tijdens de slaap heeft de commissie onderverdeeld in biologische reacties en effecten op gezondheid en welbevinden.

Biologische reacties van omgevingsgeluid treden op omdat het organisme, ook als het slaapt, ‘prikkel’ uit de omgeving moet beoordelen en verwerken. Voorbeelden van zulke reacties zijn: cardiovasculaire reacties (hartslagversnelling), wakker worden, moeilijker inslapen en meer motorische onrust tijdens het slapen.

Soms is het plausibel dat biologische reacties op nachtelijk geluid op de lange duur, na herhaalde blootstelling, en onder bepaalde omstandigheden, gevolgen hebben voor gezondheid en welbevinden. De commissie onderscheidt vijf categorieën gevolgen:

- verminderde slaapkwaliteit
- verminderd algemeen welbevinden
- invloed op sociaal gedrag en verminderde concentratie op de dag
- bepaalde aandoeningen
- verlies van levensjaren (voortijdige sterfte).

De reacties van het organisme op nachtelijk geluid en ook de effecten op gezondheid en welbevinden zullen niet bij ieder mens eender zijn. Zo kunnen in potentie schadelijke geluidniveaus door de een verdragen worden zonder noemenswaardige problemen, maar bij een ander tot aantasting van gezondheid en welbevinden leiden. Daarbij speelt tevens een rol de mate waarin er sprake is van een samenloop van diverse persoonlijke factoren, erfelijke en verworven, en omgevingsfactoren.

Bewijskracht

Om de mate van zekerheid over het verband tussen blootstelling aan nachtelijk geluid en een bepaald effect in kaart te brengen, hanteert de commissie drie categorieën van evidentie: *voldoende*, *beperkt*, en *onvoldoende* bewijs. Er is voldoende bewijs als er een onomstotelijk verband is vastgesteld tussen blootstelling aan nachtelijk geluid tijdens de slaaperiode en een effect, waarbij het volgens het werkingsmechanisme tevens plausibel is dat het effect (mede) veroorzaakt wordt door de blootstelling. Van beperkt bewijs is sprake als er een verband is waargenomen tussen blootstelling en effect, waarbij een oorzakelijk verband geloofwaardig en plausibel is maar waarbij vertekening door andere factoren niet kan worden uitgesloten. De commissie spreekt ook van beperkt bewijs als het verband plausibel is, en is waargenomen dat de blootstelling tot een intermediair effect leidt dat volgens ander onderzoek het beschouwde effect veroorzaakt. Bij onvol-

doende bewijs heeft het beschikbare onderzoek onvoldoende kwaliteit, consistentie of zeggingskracht om een conclusie te trekken over een oorzakelijk verband.

Biologische reacties

Er is voldoende bewijs dat een nachtelijke geluidsgebeurtenis leidt tot directe biologische reacties zoals versnelling van de hartslag, overgang van diepere naar minder diepe slaap, verhoging van de motorische onrust, en bewust wakker worden.

De meeste biologische reacties beginnen zich te manifesteren bij een *SEL* in de slaapkamer (*SEL_i*) van ongeveer 40 dB(A) (*L_{Amax}* van ten minste 32 dB(A))* . Bewust wakker worden mensen wanneer de *SEL* in de slaapkamer (*SEL_i*) hoger is dan 55 dB(A).

Ook concludeert de commissie dat er voldoende bewijs is voor een veelheid aan biologische reacties voor, tijdens of na het slapen. Een deel hiervan kan rechtstreeks uit de directe reacties worden afgeleid: verhoging van de gemiddelde hartslag, verhoging van de gemiddelde motorische onrust, vaker gedragsmatig ontwaken, en langer tussentijds wakker liggen. Daarbij blijkt de motorische onrust van mensen die aan nachtelijk verkeersgeluid zijn blootgesteld, bij hogere geluidniveaus groter te zijn dan op basis van die directe reacties zou worden verwacht. De gemiddelde motorische onrust hangt sterk samen met vaker wakker worden, minder goed ervaren slaapkwaliteit en grotere slaperigheid overdag.

Verder is er voldoende bewezen dat mensen die voor het inslapen aan omgevingsgeluid zijn blootgesteld of die bang zijn een lawaaiige nacht tegemoet te gaan, meer moeite hebben met inslapen. Na het slapen veroorzaakt blootstelling aan nachtelijk geluid vermindering van ervaren slaapkwaliteit, verslechtering van de stemming overdag, en verhoging van slaperigheid, vermoeidheid en geïrriteerdheid, vooral in de morgen.

Er is beperkt bewijs dat onder bepaalde omstandigheden nachtelijk geluid de niveaus van (stress)hormonen tijdens de slaap beïnvloedt. Dit effect werd waargenomen bij vrouwen die in de nacht gehinderd werden door geluid en die geen maatregelen wisten te nemen om die hinder weg te nemen.

Gevolgen voor gezondheid en welbevinden

De commissie is van oordeel dat er voldoende bewijs is dat nachtelijk geluid de slaapkwaliteit en het algemeen welbevinden nadelig beïnvloedt. Zij acht beperkt bewijs aanwezig voor een nadelige invloed op sociale contacten, op het op de dag uitvoeren van

* In de akoestiek wordt gebruik gemaakt van twee waarden: de *L_{Amax}* die het maximum geluidniveau en de *SEL* (*sound exposure level*) die het 'gesommeerde' geluidniveau van een geluidsgebeurtenis aangeeft.

taken waarbij aandacht nodig is, op bepaalde aandoeningen en op verlies van levensjaren door fatale ongelukken op het werk.

Verminderde slaapkwaliteit blijkt uit verminderde zelfgerapporteerde slaapkwaliteit, moeite met inslapen en doorslapen, vaker wakker worden, verkorte slaaptijd, en verhoogde motorische onrust tijdens de slaap. Dat het algemeen welbevinden door nachtelijk geluid vermindert, is afgeleid uit zelfgerapporteerde slaapverstoring en zelfgerapporteerde gezondheidsklachten, gebruik van slaap- en kalmeringsmiddelen, en verslechtering van de stemming overdag. Het gebruik van slaap- en kalmeringsmiddelen is vooral bij ouderen onder invloed van nachtelijk geluid verhoogd.

De aandoeningen die mogelijk met blootstelling aan nachtelijk geluid samenhangen, zijn slapeloosheid, hoge bloeddruk, hartziekten, en depressies bij vrouwen. Voor slapeloosheid acht de commissie voldoende bewijs aanwezig, voor de drie laatstgenoemde aandoeningen beperkt *indirect* bewijs. Dat laatste geldt ook voor een verhoogde kans op fatale ongevallen tijdens het werk door slaapproblemen en slapeloosheid die het gevolg zijn van nachtelijk geluid.

De omvang van de gevolgen van nachtelijk geluid op gezondheid en welbevinden van de Nederlander in het jaar 2003 heeft de commissie geschat voor zelfgerapporteerde erge slaapverstoring en voor slapeloosheid. De resultaten zijn gebaseerd op de gezamenlijke geluidsbelasting door weg-, rail-, en vliegverkeersgeluid, zoals becijferd door het RIVM.

Gevolg	Vóórkomen in 2003 Aantal volwassenen
Zelfgerapporteerde erge slaapverstoring	100-1000 duizend
Slapeloosheid	10-100 duizend

Het voor 2003 geschatte aantal volwassenen in Nederland met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring door verkeersgeluid belooft 100 duizend tot 1 miljoen. De toename door blootstelling aan nachtelijk verkeersgeluid van het aantal personen dat aan slapeloosheid lijdt belooft naar schatting 2 procent van de uitkomst voor zelfgerapporteerde erge slaapverstoring.

Op basis van de afzonderlijke geluidsbelastingen aan weg-, rail- en vliegverkeersgeluid in het jaar 2000 (over 2003 zijn deze niet beschikbaar) is voor elk van deze drie verkeersbronnen het geschatte aantal volwassenen in Nederland met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring door geluid meer dan 100 duizend. Het aantal volwassenen met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring door het wegverkeer lag daarbij een factor 2 tot 4 hoger dan de aantallen voor rail- en vliegverkeer. De toename van het aantal personen

dat aan slapeloosheid lijdt ligt naar schatting voor weg- en railverkeersgeluid in beide gevallen tussen de duizend en 10 duizend personen en voor vliegtuiggeluid (alleen berekend op basis van gegevens over de geluidsbelasting in de wijde omgeving rond Schiphol) tussen honderd en duizend personen.

De laatste jaren zijn pogingen aangewend om de collectieve ziektelast door omgevingsfactoren in maat en getal uit te drukken, onder andere in zogeheten *disability adjusted life years* of DALY's. Uit gegevens uit een eerste onderzoek van het RIVM naar de ernst van diverse gezondheidsaspecten berekent de commissie dat erge slaapverstoring door verkeersgeluid leidt tot een ziektelast van verscheidene tienduizenden DALY's. Het overeenkomstige getal voor slapeloosheid ligt zeker een orde van grootte lager. Ondanks alle onzekerheden die aan een dergelijke schatting kleven, lijkt ze wel uit te wijzen dat nachtelijk verkeersgeluid via beïnvloeding van de slaap een belangrijke factor vertegenwoordigt binnen het geheel van de invloed van de fysieke omgeving op de gezondheid.

Risicogroepen

Directe cardiovasculaire reacties op nachtelijk geluid treden mogelijk in verhouding vaker op bij mensen met problemen over hun hart of bloedvaten, mensen die zichzelf gevoelig voor geluid vinden, en bij kinderen. Door de schaarste aan onderzoeksgegevens over kinderen is er geen uitspraak mogelijk over hun eventuele extra gevoeligheid ten opzichte van volwassenen voor andere directe biologische reacties.

Voor de biologische effecten die over een nacht optreden, vormen mensen die lijden aan slapeloosheid een risicogroep. Mensen die zich bij het inslapen zorgen maken, hebben door omgevingsgeluid tijdens het inslapen nog langer nodig om in slaap te raken. Ook ervaren ze hun slaap als minder goed.

De commissie acht het verder plausibel dat de volgende groepen een verhoogde kans hebben op nadelige gevolgen van nachtelijk geluid voor hun gezondheid en welbevinden: ouderen; zwangere vrouwen; vrouwen in de periode tot ongeveer een jaar na de zwangerschap; mensen met nachtdiensten; mensen met slaapstoornissen, lichamelijke pijn, dementie, depressie, hypertensie, hart- of longziekten.

Een speciale geluidsmaat voor nachtelijk geluid

In Nederland zijn er alleen voor structureel nachtelijk vliegverkeer specifieke voorschriften voor de nacht. Er is echter geen gezondheidswetenschappelijke reden te bedenken waarom het nachtelijke geluid van wegverkeer, railverkeer en industriële activiteiten anders zou moeten worden behandeld dan dat van vliegverkeer. In 1997 koos de Gezondheidsraad voor een stelsel van twee geluidsmaten ter bescherming van

de bevolking tegen verkeers- en industrie geluid in de woonomgeving. De commissie volgt die eerdere aanbeveling. Volgens de eerdere voorstellen moet een maat die de geluidsblootstelling over een etmaal beschrijft, representatief zijn voor algemene geluidshinder, terwijl de maat voor nachtelijk geluid een relatie moet hebben met slaapverstoring. Dat is zinvol omdat de werkingsmechanismen en gevolgen van nachtelijk geluid slechts in beperkte mate overeenkomen met die van algemene geluidshinder.

De Europese Unie heeft, naast de geluidsmaat *Lden* voor de etmaalbelasting, gekozen voor *Lnight* als geluidsmaat om de nachtelijke geluidsbelasting te reguleren. *Lnight* is de geluidsbelasting buiten aan de gevel, bepaald over een periode van acht uur per nacht (van 23 tot 7 uur), gemiddeld over een geheel jaar. Bij de middeling tellen de luidere geluidsgebeurtenissen zwaarder mee dan de minder luide. Daar *Lnight* een ‘buitenmaat’ is kan de geluidsbelasting in de slaapkamer beduidend hoger zijn dan *Lnight* verminderd met de gemiddelde geluidwering van de Nederlandse gevel. De gevelgeluidwering kan van woning tot woning namelijk sterk verschillen (in Nederland gelden alleen voor nieuwbouwwoningen eisen aan de gevelgeluidwering), terwijl daarnaast de meeste Nederlanders hun slaapkamer in de nacht ventileren door hun slaapkamerraam (op een kier) open te zetten. Verder kunnen eisen aan *Lnight* nooit een volledige bescherming bieden tegen de verstoring van inslapen en slapen, omdat vele Nederlanders vóór 23 uur ’s avonds naar bed gaan en nog meer Nederlanders (ongeveer de helft van de volwassenen) om 7 uur ’s morgens nog slapen.

Ondanks deze kanttekeningen stelt de commissie geen alternatief voor *Lnight* voor, omdat zij beseft dat het ondoenlijk is om alle denkbare factoren via normering van geluidsmaten te adresseren. Daarbij meent zij dat regelgeving bij gebruik van *Lnight* (naast *Lden*) wel een grote mate van bescherming tegen geluid tijdens de slaap kan bieden.

Aanvullende maatstaven

Naast het stellen van normen voor *Lnight* kunnen er ook grenzen worden gesteld aan individuele geluidsgebeurtenissen, bijvoorbeeld door begrenzing van de maximaal toelaatbare geluidssterkte of door beperking van het aantal gebeurtenissen per nacht.

Bij een bepaalde *Lnight* is de meest ongunstige situatie voor directe biologische reacties op nachtelijke geluid niet, zoals men mogelijk denkt, die met een paar luide geluidsgebeurtenissen. De meest ongunstige situatie treedt op als alle geluidsgebeurtenissen ongeveer 5 dB(A) boven de drempel voor die reactie liggen. Bijvoorbeeld, voor motorische onrust is dat een situatie waarin alle geluidsgebeurtenissen een *SEL* hebben van ongeveer 45 dB(A) binnen in de slaapkamer. Begrenzing van de *SEL* binnen in de slaapkamer tot onder de drempels voor biologische reacties lijkt bij de huidige stand van

de techniek weinig realistisch. Een mogelijkheid is om, afhankelijk van de normering van *Lnight*, een additionele beperking op te leggen aan het aantal geluidsgebeurtenissen.

Gemiddeld wordt men één tot twee maal per nacht ‘spontaan’ bewust wakker. Hoe meer geluidsgebeurtenissen per nacht, des te groter is de kans dat men tijdens het ‘spontaan’ bewust wakker zijn het geluid hoort, er door geërgerd wordt, en niet meer gemakkelijk inslaapt. In een extreem geval zou iemand eens tot tien maal per nacht een bewustzijnsniveau kunnen hebben waarbij een geluidsgebeurtenis gehoord kan worden zonder dat men er wakker door geworden is. Dit is ook een argument voor het beperken van het aantal gebeurtenissen.

Afhankelijk van de norm voor *Lnight* en het gekozen beschermingsniveau zou men dus grenzen kunnen stellen aan het aantal geluidsgebeurtenissen (bijvoorbeeld aantal treinen, auto's of vliegtuigen per nacht). Over de effectiviteit daarvan kunnen slechts zeer ruwe schattingen worden gemaakt.

Aanpassing *Lnight* in geval van speciale geluiden

De commissie laat de volgende ‘speciale’ geluiden de revue passeren: geluid dat uitsluitend uit gebrom bestaat (laagfrequent geluid; zoals afkomstig van transformatoren), geluid dat voor een deel uit gebrom bestaat (bijvoorbeeld geluid van burgervliegtuigen), geluid met tonen (zoals soms van een fabriek), impulsgeluid (geluid dat heel snel aanzwelt; zoals schietgeluid of een laag overvliegende straaljager op korte afstand), geluid van industriële activiteiten en geluid dat sporadisch voorkomt maar zeer luid is. Hoewel informatie over de invloed van blootstelling aan geluid met deze bijzondere eigenschappen op de slaap schaars is, meent de commissie dat er reden is te veronderstellen dat in sommige gevallen de effecten groter zijn dan bij blootstelling aan ‘regulier’ verkeersgeluid. Voor geluid dat voor een deel uit gebrom bestaat, tonaal en impulsgeluid stelt de commissie dezelfde aanpassingsfactoren voor *Lnight* voor als in het Gezondheidsraadadvies *Omgevingslawaai beoordelen* uit 1997. Voor laagfrequent geluid kan ook de huidige commissie geen aanpassingsfactor afleiden. Voor geluid van industriële activiteiten meent de commissie dat onderzoek na 1997 heeft aangetoond dat de in 1997 voorgestelde aanpassingsfactor ten opzichte van wegverkeersgeluid niet nodig is.

Of sporadisch voorkomende, zeer luide geluidsgebeurtenissen bijzondere gevolgen hebben op de slaap is niet bekend. Daarom kan de commissie geen wetenschappelijk verantwoorde uitspraak over deze effecten doen.

Beschermingsmaatregelen

Bij het beantwoorden van de vraag van de staatssecretaris over de wijze waarop de burger beschermd kan worden tegen nachtelijk geluid sluit de commissie aan bij de gebrui-

kelijke milieuhygiënische en arbeidshygiënische strategie. Dat betekent dat allereerst geluidsvermindering aan de bron aan de orde is (inclusief vermindering van het aantal bronnen), gevolgd door maatregelen in de overdracht van de bron naar de ‘ontvanger’ en dat ten slotte maatregelen aan de ‘ontvanger’ overwogen kunnen worden.

Veel van de geluidbeperkende maatregelen die thans getroffen zijn, beogen met name de gevolgen van blootstelling aan geluid over het etmaal te beperken. Extra geluidwerende maatregelen aan de gevel van slaapkamers is één van de weinige maatregelen die met name ter bescherming tegen nachtelijk geluid getroffen worden.

Er is weinig wetenschappelijk onderzoek gedaan naar de doeltreffendheid en doelmatigheid van beschermingsmaatregelen, zowel wat betreft de bescherming van gezondheid en welbevinden voor de etmaalbelasting als specifiek voor de nachtelijke geluidsbelasting. Dat maakt wetenschappelijk gefundeerde uitspraken over de effectiviteit van een beschermingsregiem niet mogelijk. Daarbij doet de groeiende mobiliteit een deel van de door diverse maatregelen geboekte winst in de belasting aan verkeersgeluid weer te niet.

De commissie wijst verder op het belang van voorlichting en communicatie als sluitstuk van de maatregelen om de nadelige gevolgen van nachtelijk geluid binnen aanvaarde perken te houden.

Het is veelal onvermijdelijk om zowel bij de bron als op de overdrachtsweg als in sommige gevallen bij de ontvanger te trachten te komen tot geluidsvermindering. De reden is dat elk van de maatregelen niet eenvoudig te realiseren is, nog los van het antwoord op de vraag naar de doeltreffendheid en doelmatigheid. Persoonlijke beschermingsmiddelen acht de commissie niet van toepassing als collectieve beschermingsmaatregel tegen omgevingsgeluid, zij het dat ze in individuele gevallen soelaas kunnen bieden.

Aanbevelingen voor nader onderzoek

De commissie beveelt onderzoek naar de volgende onderwerpen aan om de volgens haar belangrijkste hiaten in kennis over blootstelling aan nachtelijk geluid op te vullen de langetermijngevolgen voor gezondheid en welbevinden van nachtelijk geluid, de effecten van nachtelijk geluid op kinderen, de doelmatigheid en doeltreffendheid van geluidwerende voorzieningen tussen woningen en van gevels, en de effecten van buurt- en burengeluid. De commissie bepleit om bij dit onderzoek aan te sluiten bij internationale programm's, zoals de Gezondheidsraad in het advies *Gezondheid en milieu: Kennis voor beleid* ook reeds voorstelde.

Executive summary

Health Council of the Netherlands. Effects of noise on sleep and health.

The Hague: Health Council of the Netherlands, 2004: publication no. 2004/14

Why this report?

Sleep is very important. It is therefore understandable that unintentional noise-related disturbance of sleep is a serious problem. Since it is not always easy to reduce disturbing noise, which is frequently associated with activities that are of value to the community at large, such as travel and transport, a debate has arisen regarding the health and well-being implications of sleep disturbance by environmental noise.

Like other countries, the Netherlands has regulations designed to limit public exposure to environmental noise, primarily with a view to managing the associated nuisance. Most of the limits relate to exposure over a complete twenty-four-hour period and do not therefore focus specifically on the period during which most people sleep. However, regulations are presently being prepared at EU level that do concentrate on night-time noise exposure. In due course, Dutch law will be brought into line with the new EU legislation.

Against this background, the State Secretary for Housing, Spatial Planning and the Environment wrote to the Health Council on 3 February 2003, asking for its advice regarding the influence of night-time noise on sleep, health and well-being. This report has been compiled by the Council's Noise, Sleep and Health Committee and addresses the questions posed by the State Secretary.

Exposure to night-time noise when sleeping

Environmental noise may originate from a wide variety of sources: air, road or rail traffic; industry and other localised activities; neighbours or one's general neighbourhood.

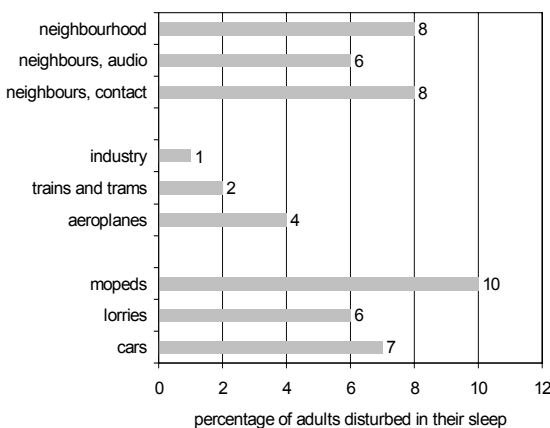
The consequences of exposure to night-time noise when sleeping have mainly been studied in relation to traffic noise. In the vast majority of cases, night-time traffic noise involves individually distinguishable noise events, such as the passage of a train, car or aeroplane.

Little research has been conducted into sleep disturbance from localised noise sources such as factories, firing ranges, shunting yards, wind turbines, climate control systems, building or demolition work. However, the Committee believes that the effects of noise from such sources are unlikely to differ essentially from the effects of traffic noise.

To date there has been no published research into a possible relationship between exposure to the other types of noise in the neighbourhood (recreational activities, children playing) and sleep disturbance. The Committee was therefore unable to assess the influence that such noise has on sleep.

Published research findings indicate that a variety of non-acoustical factors determine whether people are disturbed in their sleep by noises from neighbouring homes (voices, toilet flushing, footsteps, radio, television). The existence and complexity of these factors imply that it is not possible to establish meaningful relationships between night-time noise from neighbouring dwellings and the degree of sleep disturbance one suffers.

Research into the extent to which Dutch people claim to be disturbed by night-time noise during sleep is summarised below:



Effects of night-time noise during sleep

The Committee divided the effects of environmental noise during sleep into two general categories: biological responses and effects on health and well-being.

Biological responses to environmental noise occur because, even when asleep, an organism has to appraise and process stimuli from its environment. Such responses include waking up, having difficulty falling asleep again and increased motility.

It is plausible that, in the event of repeated exposure to night-time noise and under certain circumstances, some biological responses will have long-term implications for health and well-being. The Committee distinguishes five categories of effects:

- reduced sleep quality
- reduced general well-being
- impaired social interaction and reduced concentration during day-time
- specific disease symptoms
- loss of years of life (premature mortality).

Individuals differ from one another both in terms of their biological responses to night-time noise and in terms of the effects on their health and well-being. Thus, one person may take potentially harmful noise exposure levels in his or her stride without any significant adverse effects, while the health and well-being of someone else in a similar situation will deteriorate. In this context, much depends on the extent to which a variety of inherent and acquired personal factors interact with environmental factors.

Evidence

In order to assess the degree of certainty concerning the relationship between exposure to night-time noise and a particular effect, the Committee rates the available evidence as *sufficient*, *limited* or *insufficient*. Evidence is deemed sufficient if an indisputable relationship exists between exposure to night-time noise during the sleeping period and the effect in question, and if it is plausible from a biological model that the effect is attributable, at least in part, to the exposure. Evidence is rated as limited if a relationship between exposure and effect has been observed and a causal relationship is credible and plausible, but where the possibility of bias attributable to other factors cannot be excluded. The Committee also rates the evidence as limited when a relationship is plausible, and it has been observed that night-time noise exposure has an intermediary effect, which is known from other research to lead to the ultimate effect under consideration. Evidence is regarded as insufficient if the underlying research lacks the

quality, consistency or weight necessary to support a conclusion regarding the existence of a causal relationship.

Biological responses

There is sufficient evidence that night-time noise events cause direct biological responses, such as increased heart rate, reduced depth of sleep, increased motility and awakening.

Most biological responses begin to manifest themselves at an *SEL* in the bedroom of approximately 40 dB(A) (*L_{Amax}* in the bedroom of at least 32 dB(A))* . Behavioural awakening (established by pressing a button) occurs when the bedroom *SEL* exceeds 55 dB(A).

The Committee also concludes that there is sufficient evidence of a relationship between exposure to night-time noise and a variety of biological responses exhibited before, during and after sleeping. Some of these are consequences of the direct responses already referred to: increased average heart rate, increased average level of motility, more frequent behavioural awakenings, and longer intervals of wakefulness. It additionally appears that average motility in people exposed to night-time traffic noise is greater at higher noise levels than might be expected on the basis of the direct responses. Higher levels of average motility are closely related to more frequent awakening, lower perceived sleep quality and increased daytime drowsiness.

Furthermore, there is sufficient evidence that people who, while attempting to sleep, are exposed to environmental noise or are concerned about being disturbed by noise in the night, have more difficulty falling asleep. After the sleep period, those who were exposed to night-time noise perceive the quality of their sleep to be impaired, find that their daytime mood is adversely affected and experience greater drowsiness, fatigue and irritability, especially in the morning.

There is limited evidence that under certain circumstances night-time noise can influence stress hormone levels. This effect was observed in women who were annoyed by noise at night and unable to protect themselves adequately to prevent the annoyance.

Implications for health and well-being

The Committee believes there is sufficient evidence that night-time noise has an adverse effect on quality of sleep and general well-being. Limited evidence exists that exposure to night-time noise has a negative impact on social interaction, on the performance of

* In acoustics, the following two values are employed to specify a noise event: *L_{Amax}*, the maximum sound level during a noise event, and *SEL* (sound exposure level), a particular summation of all sound levels during a noise event.

concentration-sensitive tasks during the day, on specific complaints or disease symptoms and on loss of life years due to fatal accidents at work.

Reduced sleep quality is evident from studies on reduced self-reported sleep quality, difficulty falling asleep and remaining asleep, more frequent awakening during the night, shorter sleep periods and increased motility during sleep. A reduction in general well-being due to night-time noise is evident from self-reported sleep disturbance, self-reported health problems, use of sleeping pills and sedatives, and adversely affected daytime mood. Among older people in particular, the use of sleeping pills and sedatives is increased by night-time noise.

The medical conditions that may be linked to exposure to night-time noise are insomnia, high blood pressure and cardiac disease, as well as depression in females. Where insomnia is concerned, the Committee considers the evidence of a causal relationship as sufficient, while there is limited *indirect* evidence for the three latter conditions. There is also limited *indirect* evidence of an increased risk of involvement in a fatal accident at work as a result of sleeping problems and insomnia associated with exposure to night-time noise.

The Committee has estimated the extent of the impact of night-time noise on the health and well-being of the Dutch people in the year 2003 in terms of people who report serious sleep disturbance and people suffering from insomnia. The results have been based on data regarding cumulative night-time exposure to road, rail and aircraft noise, provided by the Netherlands National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).

Effect	Prevalence in 2003
	Number of people affected (thousands)
Self-reported serious sleep disturbance	100-1000
Insomnia	10-100

The number of adults in the Netherlands in 2003 who reported suffering from serious sleep disturbance due to night-time traffic noise is between one hundred thousand and one million. The increase in the number of people with insomnia attributable to exposure to night-time traffic noise is estimated at 2 per cent of the number of people who reported suffering from a serious sleep disturbance.

Using data on the specific exposures to road, rail and air traffic, the Committee estimates the number of adults who report suffering from serious sleep disturbance to be more than 100,000 for each noise source (data for the year 2000; data for 2003 are not available as yet). This number for road traffic noise is about two to four times as large as the numbers for rail and aircraft traffic noise. The increased number of individuals with

insomnia attributable to road and rail traffic noise amounts to between 1000 and 10,000 in each case. For air traffic noise in the region of Amsterdam Schiphol Airport the corresponding figure is between 100 and 1000 individuals.

Recently the collective burden of disease has been quantified in terms of *disability adjusted life years* or DALYs. Using data from an initial study by RIVM into the severity of various health effects, the Committee has calculated that severe sleep disturbance resulting from traffic noise results in a burden of disease amounting to several tens of thousands of DALYs. The equivalent figure for insomnia is certainly an order of magnitude less than this. In spite of the uncertainties associated with such estimates, it does appear that, by affecting sleep, night-time traffic noise is one of the most important effects exerted by the physical environment on health.

Groups at higher risk

Direct cardiovascular responses to night-time noise may be more common in people with cardiovascular problems, people who consider themselves sensitive to noise, and in children. Due to lack of research, it is at present impossible to indicate whether children are possibly more sensitive than adults to other direct biological effects of night-time noise.

People with insomnia are at greater risk of biological effects due to night-time noise than good sleepers. Environmental noise exposure increases the time it takes to fall asleep, especially in people who are worried when they go to sleep. In addition, they also perceive their sleep quality as lower.

The Committee also considers it plausible that exposure to night-time noise is more likely to have an adverse effect on the health and well-being of the following groups: older people, pregnant women, women who have given birth within the preceding 12 months or so, people who regularly work at night, people with sleep disorders, physical pain, dementia, depression, hypertension, heart disease and pulmonary disease.

A special metric for night-time noise

In the Netherlands, special rules covering night-time noise are applied only in relation to scheduled overnight aircraft movements. However, from a scientific point of view, there is no reason why night-time noise from road traffic, rail traffic and industrial activities should be regarded as different from aircraft noise with respect to possible effects on health and well-being. In 1997, the Health Council recommended a system with two noise indicators to protect the public from traffic and industrial noise in the living environment. The Committee has taken up this proposal. According to the system put forward in 1997 the metric of exposure to noise over a twenty-four-hour period should

be representative of general annoyance, while the night-time noise metric should be related to sleep disturbance. Such an approach is rational since there is only a limited degree of comparison between the working mechanisms and effects of night-time noise on the one hand and general annoyance on the other hand.

In addition to *Lden*, the indicator of noise over a twenty-four-hour period, the European Union has adopted *Lnight*, an indicator to be used in the regulation of night-time noise. *Lnight* represents the noise exposure at the most exposed façade, calculated for an eight-hour night-time period (11pm to 7am), and averaged over a full year. In the calculations, more weight is given to the louder noise events than to the quieter ones. Since *Lnight* relates to the outdoor situation, the noise exposure in a person's bedroom may in practice be considerably higher than *Lnight* minus the average noise attenuation of a Dutch home. This is partly because homes differ considerably in the attenuation they provide (in the Netherlands, only newly built homes have to meet noise attenuation standards), and partly because most Dutch people choose to sleep with their bedroom windows at least slightly open. Furthermore, requirements on the basis of *Lnight* can never provide complete protection against sleep disturbance, since many Dutch people go to bed before 11pm and still more (roughly half of all adults) sleep beyond 7am.

Nevertheless, the Committee sees no benefit in adopting an alternative to *Lnight*, since it realises that it is impossible to address every conceivable factor by means of a regulatory noise metric. Furthermore, the Committee is of the opinion that regulations based on the use of *Lnight* (as well as *Lden*) could provide a considerable degree of protection against noise during sleep.

Additional metrics

In addition to setting standards based on *Lnight*, exposure limits could also be imposed on noise events, possibly by limiting the maximum permissible sound level or the number of events per night.

At a given *Lnight* value, the most unfavourable situation in terms of a particular direct biological effect of night-time noise is not, as might be supposed, one characterised by a few loud noise events per night. Rather, the worst scenario involves a number of noise events all of which are roughly 5 dB(A) above the threshold for the effect in question. Where motility is concerned, for example, the worst situation is one where all noise events have an *SEL* of roughly 45 dB(A) inside the bedroom. However, limiting the *SEL* inside the bedroom to less than the biological effect threshold levels is not a technically realistic option at the present time. Depending on how *Lnight* is regulated, one option might also be to limit the number of noise events.

An average adult experiences one or two 'spontaneous' behavioural awakenings during a typical night. The more noise events occur each night, the more likely it is that

a sleeper who awakens ‘spontaneously’ during an event will hear the noise, be annoyed by it, and then have trouble getting back to sleep. In extreme cases, a person can hear a noise up to ten times a night without being awoken by it. This would tend to argue in favour of limiting the number of events. Depending on the level to which *L_{night}* is limited and the level of protection opted for, it could therefore be possible to limit the number of noise events (e.g. the number of trains, cars or aeroplanes per night). The effectiveness of applying such limits can only be estimated very roughly.

Adjustment of *L_{night}* to take account of special noises

The Committee has considered the following ‘special’ environmental noises: low frequency noise (humming), noise containing low frequency components, tonal noise, impulse noise (noise that rapidly rises), industrial noise and sporadic but very loud noise events. Although little information is available concerning the influence on sleep of exposure to noise with these special characteristics, the Committee believes that there are reasons to assume that in some cases the effects are more pronounced than the effects of exposure to ‘ordinary’ traffic noise. In cases involving noise that contains low frequency components, tonal noise and impulse noise, the Committee suggests using the same adjustment factors for *L_{night}* as proposed in the Health Council’s 1997 report *Assessing Noise Exposure For Public Health Purposes*. Like its predecessor, the Committee is unable to propose an adjustment factor for low-frequency noise that consists entirely of humming, such as that associated with transformers and wind turbines. In cases involving noise from industrial activities, the Committee takes the view that research conducted since 1997 has shown that adjustments to match the effect of such noise to road traffic noise are not necessary.

It is not known whether sporadic but very loud noise events have any special consequences for sleep. The Committee is therefore unable to produce any scientifically based conclusion regarding these events.

Protective measures

In response to the State Secretary’s question regarding ways in which the public may be protected against night-time noise, the Committee adopts the generally accepted environmental management and occupational health and safety strategies. Hence, the first step should be to reduce the noise at the source (and to reduce the number of sources), followed by measures designed to address the transfer of noise from the source to the ‘receiver’, and finally ‘receiver-oriented’ measures might be considered.

Many of the noise-reducing measures already in place are concerned primarily with limiting the impact of exposure to noise over a twenty-four-hour period. Additional

noise attenuation of the façade of bedrooms is one of the few measures that are taken to deal with night-time noise.

Little scientific research has been conducted into the effectiveness or efficiency of measures intended to protect against the consequences that either general noise exposure or night-time noise exposure has for health and well-being. Consequently, there is no sound scientific basis for making any statement regarding the effectiveness of any protective regime. Furthermore, increasing mobility is liable to offset the benefit that might be gained from many traffic noise reduction measures.

Furthermore, the Committee would like to emphasise the importance of instruction and communication as the final elements among the measures needed to keep the adverse effects of night-time noise within acceptable limits.

Often, there is no choice but to take both source-oriented and transfer-oriented measures, sometimes complemented by recipient-oriented measures. This is because - even disregarding the issues of effectiveness and efficiency - none of the possible forms of intervention is easy to implement. The Committee does not consider the introduction of personal hearing protectors an appropriate collective response to environmental noise, although such protectors may offer relief in specific cases.

Recommendations for future research

The Committee recommends that studies be carried out into various topics, in order to fill what it considers to be the most important gaps in our knowledge regarding exposure to night-time noise. These topics are the long-term effects of night-time noise on health and well-being, the effects of night-time noise on children, the effectiveness and efficiency of noise attenuation measures for façades and between dwellings, and the effects of noise produced by neighbours or by one's general neighbourhood. The Committee advocates that such studies be linked to international programmes, as the Health Council has indeed already proposed in its advisory report entitled *Gezondheid en milieu: Kennis voor beleid (Environmental Health: Research for Policy)*.

Omschrijving van in het advies gebruikte begrippen

In Tabel 1 is een korte omschrijving gegeven van in het rapport gebruikte termen. Er is onderscheid gemaakt tussen termen die betrekking hebben op de slaap en het meten van slaapparameters, momentane effecten van nachtelijk geluid tijdens de slaap, begrippen die te maken hebben met gezondheid en welbevinden, en de maten waarmee in dit advies de geluidsbelasting wordt beschreven.

Tabel 1 Algemene (slaap)termen, biologische verschijnselen, begrippen met betrekking tot gezondheid en welbevinden, en geluidsbelastingsmaten.

Termen	Omschrijving.
Algemene slaaptermen	
Inslaaptijd	Tijdstip van inslapen.
Ontwaaktijd	Tijdstip van ontwaken dat verband houdt met opstaan en het aanvangen van activiteiten.
Inslaaperiode	Periode tussen tijdstip waarop men van plan is om te gaan slapen (lichten uit) en tijdstip van inslapen.
Slaaperiode/slaaptijd, soms afgekort tot de slaap	Periode tussen inslaap- en ontwaaktijd, inclusief de tijd dat men tussentijds wakker is.
Tijd in bed	Periode die de slaap en inslaaperiode omvat.
Polysomnografie	Het gedurende de bedtijd meten van de hersenactiviteit met behulp van EEG, EOG, en EMG. In dit rapport wordt de term EEG-meting gebruikt. Bij deze metingen worden met behulp van elektrodes elektrische potentialen in de hersenen geregistreerd. Op basis van internationale afspraken worden onder meer slaapstadia uit het EEG afgeleid.

Slaap-EEG	De uit een gedurende de bedtijd opgenomen EEG afgeleide grafiek die de diverse slaapstadia als functie van de tijd weergeeft. Uit deze grafiek kunnen aspecten van de slaapstructuur worden afgeleid.
Actimetrie	Het meten van versnellingen, die met het bewegen van de actimeter samenhangen. De in onderzoek gebruikte actimeters zijn apparaatjes die lijken op een klein horloge en meestal om de pols worden gedragen. Actimeters registreren de mate van bewegen (versnelling boven een bepaalde drempel) in van te voren vastgelegde kleine tijdsintervallen, in onderzoek veelal variërend van 1 seconde tot 1 minuut. De curve die als functie van de tijd de mate van bewegen weergeeft heet actigram.
Meting van stresshormonen	Het meten van de hoeveelheid (stress)hormonen in bloed, urine, of speeksel. Het betreft veelal de hormonen cortisol, adrenaline (epinephrine) en noradrenaline (norepinephrine).
Registratie van wakker zijn	Het aangeven door een deelnemer aan een onderzoek dat hij/zij bewust wakker is. Dit gebeurt veelal meteen na het (tussentijds) wakker worden en veelal door het indrukken van een knopje of door een andere bewust door een deelnemer uitgevoerde handeling.
Momentane verschijnselen	
Hartslagversnelling	Een tijdelijke verhoging in de frequentie van de hartslag ten opzichte van een over een korte periode daarvoor vastgestelde gemiddelde hartslagfrequentie.
Verandering van een hoeveelheid stresshormoon	Het verschil in de hoeveelheid van een stresshormoon in bloed, urine, of speeksel, verzameld op twee op elkaar volgende tijdstippen.
Verandering in slaapstadium (van diepere naar minder diepe slaap)	De overgang van een dieper naar een minder diep slaapstadium volgens het slaap-EEG.
EEG-ontwaken	De overgang van een slaapstadium naar stadium W (wakker) volgens het slaap-EEG.
Motiliteit	De aanwezigheid van beweging gedurende een tijdsintervalletje bepaald uit het actigram.
Begin van motiliteit	De aanwezigheid van beweging gedurende een tijdsintervalletje, waarbij in het tijdsintervalletje ervoor geen beweging werd geregistreerd.
Gedragsmatig ontwaken	Ontwaken waarbij een bewuste handeling wordt uitgevoerd om dit kenbaar te maken.
Verschijnselen die betrekking hebben op één of meer (in)slaaptijden	
Gemiddelde inslaaperiode	De over een aantal inslaaperiodes gemiddelde waarde van de inslaaperiodes.
Gemiddelde hartslag	De gemiddelde frequentie van de hartslag tijdens de slaap.
(Stress)hormoonconcentratie	De concentratie van (stress)hormoon in bloed, urine, of speeksel dat tijdens en/of na afloop van de slaaptijd is verzameld.

Duur van een slaapstadium	Het aantal minuten dat men gedurende de slaap in een bepaald slaapstadium verkeert.
Slaapfragmentatie	Begrip dat betrekking heeft op hoe vaak en hoe lang men volgens slaap-EEG wakker is of volgens het actigram motiliteit vertoont tijdens de slaaperiode.
Gemiddelde motiliteit/motorische onrust	Het gedurende de slaap geregistreerde aantal intervallen met motiliteit gedeeld door het totaal aantal intervallen tijdens de slaap.
Gemiddelde beginmotiliteit	Het gedurende de slaap geregistreerde aantal intervallen met begin van motiliteit gedeeld door het totaal aantal intervallen tijdens de slaap.
Ervaren slaapkwaliteit	De beoordeling van de kwaliteit van de slaap volgens het antwoord op een vraag in een vragenlijst of logboekje.
Slaapproblemen: moeite met inslapen, moeite met doorslapen	De beoordelingen van de moeite met inslapen en moeite met doorslapen volgens antwoorden op een vraag in een vragenlijst of logboekje.
Slaapverstoring	De door nachtelijk geluid ervaren slaapverstoring volgens het antwoord op een vraag in een vragenlijst of logboekje.
Gezondheidsklachten	De klachten over de gezondheid in antwoord op een vraag in een vragenlijst of logboekje.
Slapeloosheid	Een internationaal gedefinieerde slaapstoornis, waarin moeite met inslapen en met doorslapen, gevolgen overdag en de duur van de klachten zijn verdisconteerd.
Hoge bloeddruk/hypertensie	Een internationaal gedefinieerd begrip. Als de systolische en/of diastolische bloeddruk hoger ligt dan respectievelijk 160 mmHg en/of 100 mmHg spreekt men van hoge bloeddruk/hypertensie.
Geluidsbelastingmaten	
Geluidniveau van een geluid op een bepaald tijdstip	De sterkte van een geluid op een bepaald tijdstip, uitgedrukt in dB(A) (decibel A)
L _{Amax}	Maximum geluidniveau buitenshuis van een afzonderlijke geluidsgebeurtenis.
L _{Amax_i}	Maximum geluidniveau in de slaapkamer van een afzonderlijke geluidsgebeurtenis.
Equivalent geluidniveau over een bepaald tijdsinterval T: L _{Aeq,T}	De blootstelling aan geluid gedurende een bepaald tijdsinterval T (etmaal, nacht, dag, avond) wordt uitgedrukt in het equivalente geluidniveau (in dB(A)) over dat interval. Het equivalente geluidniveau is een 'exponentieel gemiddelde' van de gedurende dat interval optredende geluidniveaus. In vergelijking met een 'gewone' middeling krijgen door deze wijze van middeling de hogere geluidniveaus meer gewicht dan de lagere.
SEL	Equivalent geluidniveau buitenshuis van een afzonderlijke geluidsgebeurtenis, waarbij dit equivalente niveau is genormeerd op één seconde

SEL _i ^a	Equivalent geluidniveau in de slaapkamer van een afzonderlijke geluidsgebeurtenis, waarbij dit equivalente niveau is genormeerd op één seconde.
L _{night}	Equivalent geluidniveau ten gevolge van een bepaald soort geluidsbron, buitenshuis tussen 23 – 07 uur, berekend op jaarbasis.
L _{night_i}	Equivalent geluidniveau ten gevolge van een bepaald soort geluidsbron, binnenshuis tussen 23 – 07 uur, berekend op jaarbasis. L _{night_i} komt overeen met L _{night} verminderd met een voor een bepaalde woonlocatie en geluidsbron karakteristieke geluidwering van de gevel
L _{den} (d:day, e:evening, n: night)	Equivalent geluidniveau ten gevolge van een bepaald soort geluidsbron, buitenshuis over het etmaal, met aanpassingsfactoren voor de avond en nacht, berekend op jaarbasis.
L _i	Equivalent geluidniveau representatief voor de blootstelling aan een bepaald soort geluidsbron in de slaapkamer tijdens de slaap van een persoon.
I _{lu} en I _{lu;k}	Maten voor de geluidsvermindering van luchtgeluid door een scheidingsoppervlak (wand, vloer, plafond) tussen woningen; bij I _{lu;k} zijn de afmetingen van de ontvangstruimte gestandaardiseerd.
I _{co}	Maat voor de geluidsvermindering van contactgeluid door een scheidingsoppervlak (wand, vloer, plafond) tussen woningen.

^a Als een geluidsgebeurtenis 1 s duurt, dan is *SEL_i* van die gebeurtenis gelijk aan het equivalente geluidniveau over die seconde ($L_{Aeq,1s}$). Als een geluidsgebeurtenis 100 s duurt, dan is *SEL_i* van die gebeurtenis gelijk aan het equivalente geluidniveau over die 100 s ($L_{Aeq,100s}$) plus $10 \cdot \lg 100 = L_{Aeq,100s} + 20$. Een geluidsgebeurtenis met een constant niveau die 100 s duurt heeft derhalve een *SEL_i* die 20 dB(A) hoger ligt dan die van een geluidsgebeurtenis met hetzelfde constante niveau die 1 s duurt

Geluid, slaap en gezondheid

1.1 Achtergrond

Zonder slaap kan een mens niet functioneren. Het is dus begrijpelijk dat beïnvloeding van de slaap door omgevingsfactoren, in het bijzonder door geluid, zorgen baart. Aangezien het storende geluid niet altijd eenvoudig te reduceren is en veelal door maatschappelijk wenselijk geachte activiteiten wordt veroorzaakt (bijvoorbeeld verkeer), is er een discussie ontstaan naar de betekenis van slaapverstoring door omgevingsgeluid voor de gezondheid. Dat geluid een versturende invloed heeft op de slaap staat buiten kijf^{1,2}. Wat de betekenis is van die invloed op het zich gezond voelen en het optreden van ziekten is minder duidelijk¹.

Vooraf vanwege de hinder die omgevingsgeluid veroorzaakt zijn in Nederland - evenals in andere landen - wettelijke voorschriften van kracht om de blootstelling van de bevolking aan omgevingsgeluid te beperken. De meeste voorschriften hebben betrekking op blootstelling gedurende het etmaal en richten zich dus niet in het bijzonder op de periode dat de meeste mensen slapen. Alleen voor *structureel* nachtelijk vliegverkeer zijn er in Nederland specifieke voorschriften voor de nacht. Op EU-niveau wordt thans regelgeving voorbereid die is gericht op het op termijn beperken van nachtelijk geluid³⁻⁵. De Nederlandse wetgeving zal te zijner tijd aan de Europese regels worden aangepast.

1.2 Adviesaanvraag en commissie

Tegen deze achtergrond verzocht de staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu in een brief van 3 februari 2003 de Gezondheidsraad een advies te formuleren over de invloed van nachtelijk geluid op slaap en gezondheid (zie bijlage A). De staatssecretaris vraagt de raad:

- a Wat zijn de optredende effecten van blootstelling aan geluid tijdens de slaap (zoveel mogelijk in kwantitatieve zin)?
- b Hoe verhouden deze effecten zich met andere gezondheidseffecten, zowel in ernst als in omvang van de effecten?
- c Zijn er specifieke risicogroepen waarmee rekening gehouden moet worden?
- d Verdient het aanbeveling met het oog op effecten—in navolging van Richtlijn 2002/49 en de Luchtvaartwet—ook voor andere bronnen een aparte nachtbescherming in te voeren?
- e Zo ja, kan dan volstaan worden met L_{night} of zijn aanvullende blootstellingsmaten nodig? Hierbij wordt in ieder geval gedacht aan impulsachtige geluiden en aan situaties met betrekkelijk zeldzaam voorkomende gebeurtenissen met een hoog niveau.
- f Kan de bescherming van de bevolking bereikt worden middels (prestatie- of ontwerp-)eisen aan woningen, middels persoonlijke beschermingsmiddelen, middels eisen aan niveaus buiten de woning, middels eisen aan voertuigen en andere apparaten, of een combinatie hiervan?

Ter beantwoording van deze vragen stelde de voorzitter van de Gezondheidsraad de Commissie Slaap, Gezondheid, en Geluid in, hierna te noemen de ‘commissie’. Haar samenstelling staat in bijlage B.

1.3 Werkwijze

De afgelopen decennia heeft de Gezondheidsraad verscheidene adviezen uitgebracht die mede betrekking hadden op beïnvloeding van de slaap door blootstelling aan geluid^{1,2,6-8}. In dit advies is op deze publicaties voortgebouwd, en zijn, voor zover recente gegevens daartoe aanleiding gaven, de eerdere bevindingen geactualiseerd.

Ten behoeve van het advies vatte de secretaris de literatuur over de relatie tussen geluid, slaap en gezondheid samen. Daartoe werden literatuursearches verricht. Het literaturofficeer werd door de commissieleden verder aangevuld met relevante gegevens.

Daarnaast werd aan belanghebbenden via een directe aanschrijving en een advertentie in de Staatscourant van 22 juli 2003 gevraagd naar informatie die voor de commissie

van belang zou kunnen zijn. De namen van de instanties en personen die op het verzoek reageerden zijn vermeld in bijlage C.

Op 2 juli 2003 organiseerde de commissie een internationale workshop met experts uit binnen- en buitenland. De workshop was onderdeel van het *8th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN2003)*, dat van 30 juni tot en met 3 juli 2003 in de Doelen te Rotterdam gehouden werd. De commissie heeft de informatie die ze tijdens de workshop verkreeg gebruikt bij het opstellen van haar advies.

De commissie stelde in zes vergaderingen de definitieve tekst van het voorliggende advies vast.

1.4 Verzameling van literatuurgegevens

Relevante publicaties en rapporten zijn op verschillende manieren verzameld:

- De verzameling documenten van de Afdeling Leefomgeving en Gezondheid van TNO Inro is doorzocht op documenten die over slaap en beïnvloeding van de slaap door geluid handelen. Voor het opstellen van het advies *Geluid en Gezondheid*² zijn tot 1994 de relevante documenten verzameld en over de laatste tien jaar is getracht deze verzameling op het gebied van slaap bij te houden. Ook zijn verslagen van internationale (akoestische) conferenties gescreend op publicaties over beïnvloeding van de slaap door geluid
- De bibliotheekmedewerkers van de Gezondheidsraad hebben in *Medline*, *Biosis*, *Embase*, en *PsychInfo* gezocht naar documenten uit de periode van 1994 tot heden met combinaties van trefwoorden. Gekozen combinaties zijn: geluid en slaap en effect, waarbij voor effect een groot aantal effectparameters is gekozen. Voor een deel zijn deze effectparameters opgenomen in de eerste kolom van Tabel 12, Tabel 13 en Tabel 14*. Ook is gezocht naar publicaties met benoemde specificaties van de effectvariabelen**. Ten behoeve van een inventarisatie van slaapstoornissen zocht de secretaris van de commissie naar slapeloosheid, prevalentie en slaapapneu, prevalentie en narcolepsie, prevalentie en restless legs syndroom. Tevens is op de naam van een aantal onderzoekers op het gebied van slaapverstoring door geluid naar relevante publicaties gezocht
- De commissieleden hebben literatuur op hun vakgebied aangeleverd.

* Daarbij is niet de richting van de verandering van een effectparameter genoemd: bijvoorbeeld er is gezocht naar slaapstadium en niet naar slaapstadiumverandering van diepere naar minder diepe slaap.

** Bijvoorbeeld, behalve naar de term stresshormoon is tevens gezocht naar de termen adrenaline, noradrenaline, cortisol.

1.5 Opzet van het advies

Het advies is als volgt samengesteld. Hoofdstuk 2 schetst het begrippenkader. Hoofdstuk 3 vat de resultaten van onderzoek naar gevolgen van blootstelling aan nachtelijk geluid tijdens de slaap samen. In hoofdstuk 4 wordt een aantal akoestische aspecten behandeld. In hoofdstuk 5 beantwoordt de commissie de zes vragen van de staatssecretaris. Daarna is de lijst van geraadpleegde literatuur opgenomen.

In de bijlagen A, B, en C zijn respectievelijk de adviesaanvraag, de samenstelling van de commissie, en de namen van instanties en personen die op een verzoek om informatie hebben gereageerd, opgenomen. In bijlage D wordt onderzoek naar gevolgen van blootstelling aan nachtelijk geluid tijdens de slaap besproken. Bijlage E behandelt slaapproblemen en slaapproblemen in de algemene bevolking en bijlage F geeft een kort overzicht van het meest recente advies van de Gezondheidsraad over omgevingsgeluid (Omgevingslawaai beoordelen)⁸. In bijlage G is de bijlage van een brief van het RIVM met recente informatie over de geluidsbelasting in Nederland opgenomen.

Begrippenkader

In dit hoofdstuk geeft de commissie allereerst een overzicht van de soorten omgevingsgeluid (2.1). Paragraaf 2.2 behandelt de maten waarmee de blootstelling aan geluid in dit advies wordt gekarakteriseerd. In 2.3 gaat het over aspecten van de slaap. Paragraaf 2.4 bevat een model dat de invloed van milieufactoren op gezondheid en welbevinden beschrijft. Paragraaf 2.5 behandelt de beoordeling van de evidentie van effecten door nachtelijk geluid.

2.1 Onderzoek naar omgevingsgeluid en slaap en gezondheid

Omgevingsgeluid kan worden onderverdeeld in geluid van:

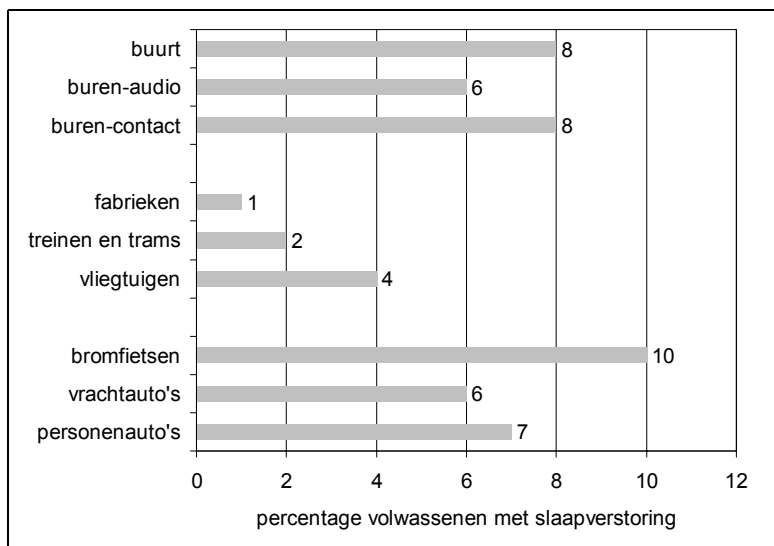
- verkeersbronnen: vlieg-, weg-, railverkeer, en scheepvaart
- plaatsgebonden omgevingsbronnen, zoals fabrieken, schietbanen, rangeerterreinen, windturbines, klimaatinstallaties, (tijdelijke) bouw- en sloopwerkzaamheden
- mensen en menselijke activiteiten in de omgeving die nog niet in deze opsomming genoemd zijn (buurtgeluid)
- mensen en menselijke activiteit in aangrenzende woningen (burengeluid).

Onderzoek naar blootstelling aan omgevingsgeluid wordt ingedeeld in onderzoek naar:

- de prevalentie van effecten van blootstelling aan omgevingsgeluid (inventarisatieonderzoek), en
-

- het verband tussen blootstelling en de mate waarin een effect optreedt: epidemiologisch onderzoek bij bevolkingsgroepen en onderzoek in het laboratorium bij proefpersonen.

Bij een landelijk Nederlands inventarisatieonderzoek uit 1998 vulden vierduizend inwoners van 16 jaar en ouder een vragenlijst in⁹. Personenauto's, vrachtauto's en bromfietsen bleken de verkeersmiddelen te zijn die in Nederland het meest frequent verstoring van de slaap veroorzaken (bij respectievelijk 7, 6, en 10 procent van de respondenten). Slaapverstoring door het geluid van vlieg- en railverkeersbronnen en door fabrieken en bedrijven komt (veel) minder voor. Van de burengeluiden scoren contactgeluiden (traplopen, slaan van deuren), en geluid van audioapparatuur met respectievelijk 8, en 6 procent het hoogst. Buurtgeluiden zijn met 8 procent eveneens een aanzienlijke bron van slaapverstoring. Zie Figuur 1; nadere details zijn opgenomen in Tabel 21 van bijlage D.



Figuur 1 Percentage volwassenen in Nederland die slaapverstoring ondervinden van bepaalde geluidsbronnen in de woonomgeving⁹. In het landelijk inventarisatieonderzoek dat in 1998 is gehouden is de vraag gesteld: in welke mate wordt uw slaap wel of niet verstoord door het geluid van (bron invullen), met 0 = helemaal niet verstoord, en 10 = heel erg verstoord. Op een gestandaardiseerde wijze is het percentage respondenten met zelfgerapporteerde slaapverstoring en met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring bepaald. Daartoe is de 11-puntsschaal getransformeerd in een continue schaal van 0 tot 100. Respondenten die op die schaal ten minste 50 scoren worden omschreven als respondenten met slaapverstoring.

Epidemiologisch onderzoek en laboratoriumonderzoek naar het verband tussen kenmerken van slaap en gezondheid enerzijds en blootstelling aan nachtelijk geluid anderzijds

zijn vooral gericht op het geluid van verkeersbronnen, met uitzondering van de scheepvaart. Epidemiologisch onderzoek naar de invloed van plaatsgebonden omgevingsbronnen, zoals industriële bedrijfsterreinen, is beperkt tot zelfgerapporteerde geluidhinder over het etmaal. Incidenteel is in het laboratorium onderzoek gedaan naar het effect van speciale kenmerken van geluid die ook bij geluid van plaatsgebonden omgevingsbronnen voorkomen, zoals het zeer snel in sterkte toenemen van het geluidniveau bij het begin van een geluidsgebeurtenis. Over deze onderwerpen heeft de Gezondheidsraad in 1997 gerapporteerd⁸. Een samenvatting van de wijze waarop speciale kenmerken van omgevingsgeluid hun effecten beïnvloeden is in bijlage F gegeven. Deze informatie is verder verwerkt in hoofdstuk 4 en de commissie komt er bij de beantwoording van de vragen van de staatssecretaris op terug.

De categorie *burengeluid* is zeer divers; uit het beschikbare onderzoek blijkt dat een zeer uiteenlopend aantal factoren bepaalt of mensen door deze geluiden in de slaap gestoord worden. Het is dan ook niet mogelijk om voor deze bronnen relaties tussen de geluidsblootstelling en de mate van slaapverstoring vast te stellen. De commissie zal wel aandacht besteden aan de invloed van de geluidsisolatie tussen woningen op aspecten van de verstoring van de slaap door burengeluiden.

Over *buurtgeluid* is geen onderzoek naar een mogelijk verband tussen blootstelling en effect op de slaap bekend. Daarom laat de commissie dit onderwerp verder noodgedwongen buiten beschouwing.

Samenvattend leidt dit globale overzicht van het beschikbare onderzoek ertoe dat het advies zich vooral richt op de gevolgen van nachtelijk verkeersgeluid (exclusief de scheepvaart) op kenmerken voor slaap en gezondheid.

2.2 Karakterisering van blootstelling aan geluid gedurende de nacht

Aan een geluid kunnen onder meer de volgende twee aspecten worden onderscheiden: sterkte en toonhoogte. Hoe harder een geluid is, hoe groter de sterkte. De *sterkte* van een geluid wordt uitgedrukt in decibel (dB). Wat betreft de *toonhoogte*: een gebrom heeft een lage toonhoogte, sisklanken hebben een hoge toonhoogte. Geluiden in de omgeving bestaan veelal uit een mengeling van hoge en lage componenten. Het oor is niet even gevoelig voor de hoge en lage geluidscomponenten. Daarmee wordt veelal bij het meten van de sterkte van omgevingsgeluid rekening gehouden door gebruik te maken van een filter. Het meest gebruikt is het zogenoemde A-filter ter bepaling van het *geluidniveau* in dB(A). De 'A' verwijst naar de wijze waarop volgens internationale afspraak de gevoeligheid van het oor voor lage en hoge componenten wordt verdisconteerd ('A-weging'). Een ander filter is het C-filter; het verschil tussen het A- en C-filter is vooral dat het C-filter de lage componenten meer doorlaat dan het A-filter.

Over het algemeen is het geluidniveau van een omgevingsbron in de loop van de tijd niet constant. Het geluid van vliegtuigen en treinen bestaat bijvoorbeeld uit afzonderlijk in de tijd te onderscheiden passages (geluidsgebeurtenissen). Het geluid van een snelweg op grotere afstand heeft meer het karakter van een constante ruis. De blootstelling aan constant of fluctuerend geluid gedurende een bepaald tijdsinterval (etmaal, nacht, dag, avond) wordt uitgedrukt in het zogenoemde *equivalente geluidniveau* (in dB(A)) over dat interval. Het equivalente geluidniveau is een soort gemiddelde van de gedurende een tijdsinterval optredende geluidniveaus. Door de wijze van middeling krijgen de hogere geluidniveaus meer gewicht dan de lagere. Op basis van de equivalente geluidniveaus over bepaalde delen van het etmaal zijn blootstellingsmaten afgeleid die in onderzoek en regelgeving worden gebruikt.

De in dit advies gehanteerde geluidsmaten die zijn opgenomen in Tabel 1 worden hier kort besproken.

Het *geluid in de slaapkamer van een geluidsgebeurtenis* is gekenmerkt met L_{Amax_i} en SEL_i (i staat voor *indoor*). L_{Amax_i} is het maximale geluidniveau tijdens een geluidsgebeurtenis, SEL_i is het op één seconde genormeerde equivalente geluidniveau van een geluidsgebeurtenis. L_{Amax_i} en SEL_i , en ook L_{Amax} en SEL , van dezelfde soort geluidsbron kunnen sterk met elkaar samenhangen: zo was de correlatie voor de binnenwaarden van vliegtuiggeluid 0,94 en voor de buitenwaarden van vrachtwagens 0,99¹⁰⁻¹³.

De *langtijdige nachtelijke geluidsbelasting buiten op een locatie afkomstig van een bepaalde geluidsbron* is gekenmerkt met L_{night} , het jaar-equivalente geluidniveau van 23 tot 7 uur voor die bron. L_{night} is binnen de EU voor bepaalde doeleinden aangewezen als te gebruiken maat voor de nachtelijke geluidsbelasting door een geluidsbron^{3,4}.

De *langtijdige nachtelijke geluidsbelasting in een woning* kan worden gekenmerkt met L_{night_i} . Dit equivalente geluidniveau wordt berekend door van L_{night} een gemiddelde gevelwering af te trekken. In het Bouwbesluit zijn voor woningen en andere geluidsgevoelige objecten eisen aan de gevelwering gesteld. Voor nieuwbouw dient de gevelwering ten minste 20 dB(A) te zijn¹⁴.

De *langtijdige geluidsbelasting buiten op een locatie afkomstig van een bepaalde geluidsbron* is gekenmerkt met L_{den} , het jaar-equivalente geluidniveau over het etmaal, waarbij de equivalente geluidniveaus gedurende de avond (19 tot 23 uur) en die gedurende de nacht (23 tot 7 uur) met respectievelijk 5 en 10 dB(A) verhoogd zijn. L_{den} wordt in EU-richtlijnen gebruikt als maat om de geluidsbelasting over het etmaal mee te beschrijven^{3,4}.

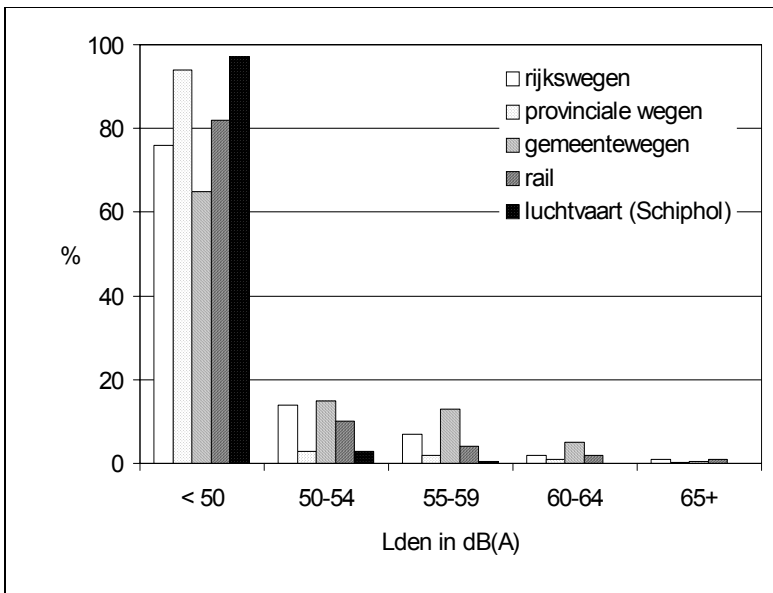
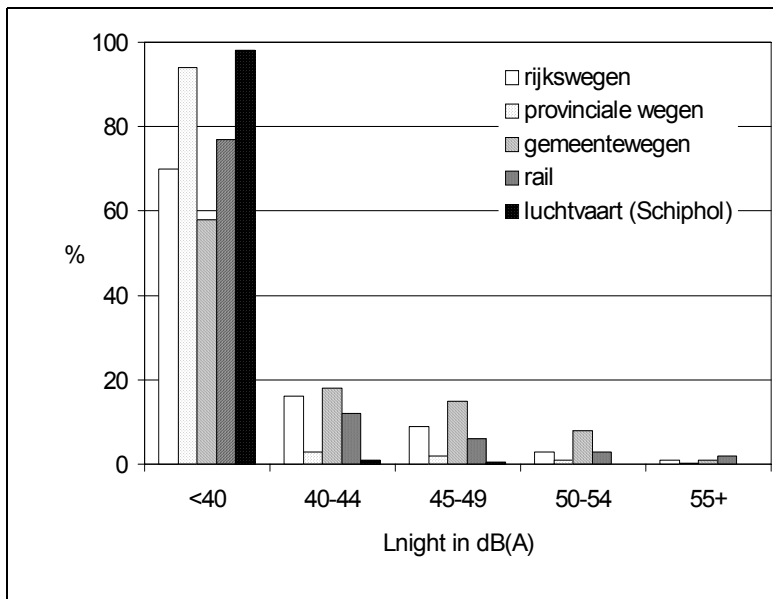
L_i is bepaald voor de *individuele geluidsbelasting tijdens de slaap door een bepaalde geluidsbron*. Deze grootte is het equivalente geluidniveau in de slaapkamer door een bepaalde geluidsbron gedurende de slaap van een persoon over langere tijd.

Het is een maat van de geluidsbelasting tijdens de slaap, waarin de individuele slaapduur, de individuele tijd van slapen gaan en weer opstaan, de geluidsbelasting buiten en het verschil tussen de geluidsbelasting buiten en binnen in de slaapkamer zijn verdisconteerd. Bij het bepalen van dit verschil is ook rekening gehouden met de standen van het slaapkamerraam van een persoon. Ook als in een gedeelte van een woonwijk de waarde van L_{night_i} ten gevolge van een bepaalde geluidsbron overal dezelfde is, zullen de L_i waarden van de individuele bewoners in die wijk of straat sterk uiteen kunnen lopen door individueel gedrag en door eigenschappen van de woning.

De geluidwering tussen woningen kan worden beschreven met een index voor de geluidwering van luchtgeluid, I_{lu} , en als rekening wordt gehouden met het volume van de ontvangruimte en het oppervlak van de gemeenschappelijke scheidingsconstructie in de karakteristieke geluidwering, $I_{lu;k}$. De isolatie voor contactgeluid tussen twee woningen wordt beschreven met de index voor contactgeluid, I_{co} ¹⁴.

Om een indruk te geven van de belasting in Nederland door omgevingsgeluid is in Figuur 2 een verdeling gegeven van de geluidsbelasting (L_{den} , L_{night}) in het jaar 2000 buiten aan de gevels van woningen, veroorzaakt door wegverkeer (rijkswegen, provinciale wegen en gemeentewegen), railverkeer, en vliegverkeer¹⁵. Het is overduidelijk dat het wegverkeer op gemeentewegen zowel 's nachts als over het etmaal het meeste geluid op de gevels van woningen produceert.

Nog een voorbeeld: voor Nederlandse natuur- en recreatiegebieden is 40 dB(A) een veel gebruikte bovengrens van de geluidsbelasting over 24 uur (equivalent geluidniveau). In het Centraal Veluws Natuurgebied ligt de geluidsbelasting (equivalent geluidniveau over 24 uur) door rijkswegen, provinciale wegen, spoorlijnen, en de luchtvaart voor respectievelijk 19, 12, 6, en 0 procent van het totale oppervlak boven deze grens¹⁶. Voor het gehele gebied is door alle geluidsbronnen te samen het gemiddelde equivalente geluidniveau 53 dB(A), voor het gedeelte met fietsmogelijkheden is dit 57 dB(A) en voor het gedeelte met wandelmogelijkheden 52 dB(A).



Figuur 2 De verdelingen van de geluidsbelasting (Lnight bovenste figuur, Lden onderste figuur) buiten aan de gevels van woningen in Nederland in 2000 veroorzaakt door wegverkeer (rijkswegen, provinciale wegen en gemeentewegen), railverkeer, en vliegverkeer¹⁵.

2.3 Slaap

2.3.1 Wat is slaap*?

In haar achtergrondstudie¹⁷ voor het in 1991 door de Gezondheidsraad uitgebrachte advies *Vliegtuiggeluid en slaap* omschreef Hofman in navolging van het handboek *Principles and Practice of Sleep Medicine*¹⁸, slaap als een periodiek optredende toestand van schijnbare inactiviteit, waarbij het organisme een veranderde reactiviteit vertoont op prikkels uit de omgeving, niet voor alle prikkels even sterk en met grote individuele verschillen. De slaap moet niet gezien worden als louter de afwezigheid van de waaktoestand, maar als een cyclisch verlopend, actief neurofysiologisch proces⁶.

Door te slapen herstellen mensen lichamelijk en geestelijk van hun inspanningen. Ook verwerken ze zo de informatie die ze gedurende de dag opdeden. Verder is slapen ook plezierig¹⁹.

De mens heeft een interne biologische klok met een periode van ongeveer 24 uur (het circadiane ritme: circa = ongeveer, dies = dag). Ook de slaap is een cyclisch verschijnsel: bij volwassenen zijn er globaal ongeveer vijf perioden van ongeveer 90 minuten, waarin telkens de zogenoemde REM-slaap (ook wel droomslaap genoemd; REM staat voor *rapid eye movement*) en de non-REM-slaap optreden. De non-REM-slaap kent vier stadia die men op grond van hun patroon in het elektro-encefalogram (EEG) kan onderscheiden. De stadia 1 en 2 duidt men meer algemeen aan als lichte slaap en de stadia 3 en 4 als diepe of SWS-slaap (SWS staat voor *slow wave sleep*, naar de ‘langzame’ zogeheten deltagolven die bij diepe slaap in het EEG voorkomen). Als iemand wakker is wordt zijn of haar EEG gekenmerkt door zogenoemde alfa- en bètagolven. De diepe slaap treedt meer op aan het begin en REM-slaap meer aan het eind van de slaaptijd. Naarmate men ouder wordt neemt de hoeveelheid diepe slaap af. Het behoort tot het normale slaappatroon dat men soms tussentijds ontwaakt¹⁸. Dit ontwaken kan van korte duur zijn of langer aanhouden. ‘EEG-ontwakingen’ met een duur tussen 3 en 15 s worden *corticale arousals* genoemd.

Over het algemeen wordt aangenomen dat de diepe en de REM-slaap het belangrijkste deel van de slaap vormen, en dat stadium 1 en 2 overgangsstadia zijn. Voor de verwerking van informatie die is opgedaan in de periode vóór het slapen is zowel de diepe slaap als de REM-slaap noodzakelijk²⁰⁻³¹.

Tijdens de slaap treden ook veranderingen op in de hormoonhuishouding in het lichaam.

* Voor gebruikte termen, zie tabel 1.

2.3.2 *Wat is normale slaap?*

Het begrip ‘normale slaap’ wordt in de literatuur uiteenlopend benaderd, zowel aan de hand van objectieve als van subjectieve criteria. Objectieve criteria zijn bijvoorbeeld de slaapduur, de duur van de inslaaptijd (slaaplatentietijd), de slaapefficiëntie (percentage van de tijd dat men slaapt ten opzichte van de tijd ‘in bed’), en het aantal EEG-ontwakingen, inclusief corticale arousals. Deze kenmerken van slaap zijn over het algemeen leeftijds- en soms geslachtsafhankelijk en kennen een grote variatie tussen personen. Subjectieve criteria berusten op zelfgerapporteerde kenmerken van de slaap, zoals tevredenheid met de slaap, uitgerust zijn na het ontwaken, en alertheid gedurende de dag. Als alle drie de waarden binnen een bepaalde *range* zouden liggen, zou men ook kunnen spreken van een ‘normale’ slaap.

Mensen zonder slaapstoornissen die gedurende de slaap niet aan hard geluid (aan omgevingsgeluid en geluid afkomstig uit de eigen woning en buurwoningen) zijn blootgesteld, geven gedurende de slaaperiode globaal gemiddeld 1,5 tot 2 maal aan wakker te zijn geworden, afgezien van de keer dat ze ontwaken en daarna opstaan¹¹⁷. Het aantal EEG-ontwakingen en corticale arousals ligt globaal op 10 tot 12 maal per nacht (met een grote individuele spreiding)¹¹⁷. Dit aantal is dus ongeveer 6 tot 7 maal groter dan het aantal spontane gedragsmatige ontwakingen. De globale uitkomsten van 1,5 tot 2 maal per nacht gedragsmatig ontwaken en 10 tot 12 maal per nacht EEG-ontwaken kunnen gezien worden als de grenzen van het gebied waarbinnen spontane ‘ontwakingen’ optreden in een populatie die vrij is van slaapstoornissen en slaapverstoring.

2.3.3 *Slaap en kwaliteit van leven*

De term ‘kwaliteit van leven’ wordt in diverse betekenissen gebruikt, waarvan er hier drie genoemd worden. Ten eerste duidt de term tevredenheid met de gezondheid aan, ofwel de gezondheidsgerelateerde kwaliteit van leven. Daarnaast gaat het soms daarenboven ook om de tevredenheid met het leven in het algemeen. In dat geval is ‘kwaliteit van leven’ inwisselbaar met de term ‘geluk’. Een derde betekenis is de tevredenheid met de leefomgeving. De derde betekenis van de term kwaliteit van leven wordt het meest teruggevonden bij onderzoek naar de overlast van nachtelijk geluid. Recent is in het bijzonder in Nederland meer aandacht gekomen voor de eerste betekenis³²⁻³⁵.

Bij het vaststellen van de vermindering van de *gezondheidsgerelateerde kwaliteit van leven* door de een of andere oorzaak, zoals nachtelijk geluid, moet eerst de aard van het gezondheidsverlies worden gespecificeerd. Wanneer het gezondheidsverlies is vastgesteld (of verondersteld), kan een oordeel over de kwaliteit van leven (‘de tevredenheid’), in de vorm van een gewichtsfactor, worden gekoppeld aan de verslechterde

gezondheidstoestand. Op die manier is dan een verlies aan gezondheidsgerelateerde kwaliteit van leven kwantitatief vast te stellen. Een voorbeeld is de door Murray geïntroduceerde DALY (*Disability Adjusted Life Year*)³⁶.

Het vaststellen van vermindering van ‘tevredenheid met de leefomgeving’ kan op een redelijk simpele manier worden gedaan door het aan de betrokkenen te vragen met behulp van enquêtes.

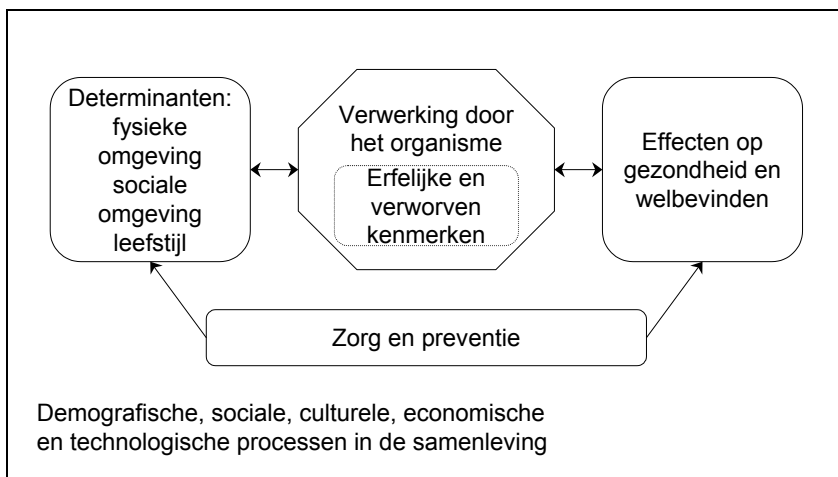
Slaap als ‘toestand’ wordt ook als een onderdeel van gezondheid gezien. In dit geval is het gezondheidsgerelateerde kwaliteit-van-leven-gewicht gekoppeld aan de directe gevolgen van het ‘niet-slapen’, bijvoorbeeld door de ergernis over het wakker liggen, door de daaropvolgende vermoeidheid en door de (vermeende) gevolgen van die vermoeidheid voor het functioneren overdag. Dat een dergelijk verlies aan kwaliteit van leven substantieel kan zijn blijkt uit de kwaliteit-van-leven gewichten die afgeleid zijn door Stolk en collega’s³⁷. Slapeloosheid, zoals vastgesteld door de huisarts, krijgt voor kwaliteit van leven een gewicht van 0,83. Ter vergelijking, het gewicht voor spastisch colon is 0,93 en voor lage rugpijn zonder uitstraling 0,68.

De commissie behandelt in bijlage E slaapstoornissen - vooral slapeloosheid - en slaapproblemen die in de algemene bevolking voorkomen. Na de bespreking van de beïnvloeding van de slaap door nachtelijk geluid gaat zij in 3.4.8 na of er overeenkomsten zijn tussen bepaalde slaapstoornissen en slaapproblemen in de algemene bevolking enerzijds en slaapverstoring door geluid anderzijds en zo ja, hoe plausibel het is om daaruit bepaalde conclusies over de beïnvloeding van de slaap door geluid te trekken.

2.4 Milieu en gezondheid

In enkele recente adviezen geeft de Gezondheidsraad een visie op de relatie tussen milieufactoren en gezondheid^{1,38}. In Figuur 3 is schematisch aangegeven hoe factoren uit de omgeving inwerken op het menselijk organisme en tot effecten op gezondheid en welbevinden kunnen leiden. Het gebruik van de combinatieterm ‘gezondheid en welbevinden’ verwijst ernaar dat bij de bestudering van de relatie tussen milieufactoren en gezondheid ook de (eigen) waardering van de gezondheidstoestand betrokken wordt³⁹.

Mensen ondergaan de invloed van milieufactoren niet passief. De invloeden vanuit de omgeving leiden tot reacties met, althans in principe, het oogmerk om die invloeden, voor zover ze schadelijk zijn, tegen te gaan, dan wel te compenseren. De omgevingsfactoren zullen dus altijd een effect op het organisme hebben, dat in vele gevallen ook aantoonbaar is. Die effecten behoeven evenwel niet te leiden tot aantasting van gezondheid en welbevinden op de lange termijn.

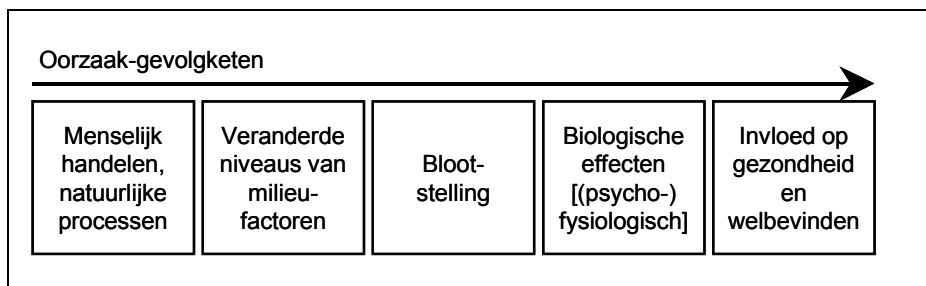


Figuur 3 Model voor de samenhang van gezondheid en welbevinden met milieu. Ontleend aan eerder advies van de Gezondheidsraad^{1,38}.

De aard van de reactie van het organisme wordt bepaald door erfelijke en verworven kenmerken. Dat betekent dat effecten op het organisme en uiteindelijk ook de effecten op gezondheid en welbevinden niet bij ieder mens eender zullen zijn. Zo kunnen in potentie schadelijke effecten door de een verdragen worden, maar bij een ander wel degelijk tot aantasting van de gezondheid en welbevinden leiden. Daarbij speelt tevens een rol de mate waarin er sprake is van een samenloop van diverse factoren.

2.4.1 Oorzaak-gevolgketen

Bij het bestuderen van de relatie tussen milieufactoren en gezondheid volgt men veelal oorzaak-gevolgketens⁴⁰ (zie Figuur 4).



Figuur 4 Oorzaak-gevolgketen.

Bij de overgang van elk blokje naar een volgend doen zich twee vragen voor:

- Is er een causale samenhang, dat wil zeggen vloeit een volgende stap uit een vorige voort?
- Wat is de invloed van andere factoren?

Het blokje ‘blootstelling’ speelt een speciale rol. Men zou kunnen zeggen dat het een ‘filter’ is dat de eerste twee met de laatste twee blokjes van de keten onder bepaalde omstandigheden verbindt. In overeenstemming met het model van Figuur 4 leidt blootstelling tot wat in de figuur ‘biologische’ effecten zijn genoemd, fysiologisch en psychofysiologische reacties van het organisme. Deze reacties kunnen een voorbode zijn, al dan niet op de lange duur, van een aantasting van gezondheid en welbevinden.

2.5 Beoordeling van effecten van nachtelijk geluid

Om tot een beoordeling van de relatie tussen nachtelijk geluid tijdens de slaaperperiode en effecten op het organisme en op gezondheid en welbevinden te kunnen komen, acht de commissie de volgende elementen van belang:

- Het onderscheid tussen biologisch effect en gezondheidseffect (zie Figuur 4)
- De ‘betekenis’ van een gezondheidseffect
- Blootstelling-effecttraject
- De aanduiding van de mate van bewijskracht.

Deze vier elementen worden hierna verder uitgewerkt.

2.5.1 *Het onderscheid tussen biologisch effect en gezondheidseffect*

In het in Figuur 3 geschetste model treden biologische reacties van omgevingsgeluid op omdat het organisme, ook als het slaapt, ‘prikkel’s uit de omgeving moet beoordelen en verwerken. Voorbeelden van zulke reacties zijn: wakker worden, moeilijker inslapen en meer motorische onrust tijdens het slapen. Het zijn veranderingen die zich deels momentaan tijdens blootstelling aan een geluid voordoen en deels manifesteren op een tijdschaal van een nacht (voor, tijdens, en na het slapen). In onderzoek worden die effecten veelal gebruikt als *marker* voor een invloed op gezondheid en welbevinden. Maar dan moet wel beoordeeld worden of het biologische effect een voorbode is van een effect op gezondheid en welbevinden op de lange termijn, al dan niet afhankelijk van aard en duur van de blootstelling. Om dat te kunnen doen maakt de commissie onderscheid tussen biologische effecten en effecten op gezondheid en welbevinden. De eerste manifesteren zich op het moment van blootstelling en over een slaaperperiode. De tweede openbaren zich op langere termijn.

2.5.2 *Betekenis van een gezondheidseffect*

Onder de ‘betekenis’ van een gezondheidseffect wordt ook wel de ernst ervan verstaan. De commissie voegt de te onderzoeken effectparameters tot vijf categorieën samen: slaapkwaliteit; algemeen welbevinden; sociale contacten en concentratie; aandoeningen; verlies van levensjaren.

2.5.3 *Blootstelling-effecttraject*

Niet bij elk niveau brengt nachtelijk geluid een effect teweeg. Het is daarom gewenst het blootstellingstraject waarbij een effect te verwachten is te kennen.

In het advies van de Gezondheidsraad over de invloed van blootstelling aan geluid uit 1994 is hiertoe het begrip ‘waarnemingsniveau’ geïntroduceerd². Dat begrip werd omschreven als:

de laagste waarde van de blootstelling waarvoor, gemiddeld gesproken, in epidemiologisch onderzoek een gezondheidseffect van geluid is aangetoond. Als voor een bepaald effect een blootstelling-effectfunctie is afgeleid (...) zal het waarnemingsniveau aan die functie worden ontleend.

Hier wordt dit begrip ook uitgebreid tot een effect dat niet *per se* als een gezondheidseffect is te duiden. Bij onderzoek onder mensen wordt meestal pas boven bepaalde waarden van blootstelling het effect waargenomen. Bij lagere waarden zouden die effecten ook aanwezig kunnen zijn, althans bij sommige mensen, maar dat is veelal in de praktijk niet gemakkelijk nader te onderzoeken.

2.5.4 *Bewijskracht*

Om de (on)zekerheid in het verband tussen blootstelling en een bepaald effect in kaart te brengen is in het algemeen een gedetailleerde beschrijving van de bevindingen noodzakelijk. Alleen zo kan recht worden gedaan aan wat we wel en wat we niet weten. Juist bij een rapportage ten behoeve van beleidsmakers is echter een aanduiding van de mate van (on)zekerheid met behulp van een eenvoudige schaal gewenst. De commissie heeft zo’n eenvoudige schaal afgeleid uit schalen die zijn ontwikkeld door IARC⁴¹ en door een onderzoeksgroep in Jülich, Duitsland⁴².

Aangezien in dit advies het zwaartepunt ligt bij *epidemiologisch* onderzoek naar de invloed van nachtelijk geluid op de slaap van mensen, aangevuld met enkele laboratoriumstudies, gaat het hier bij het bepalen van de bewijskracht om het vaststellen van een statistisch significante samenhang tussen blootstelling en effect, om vervolgens met

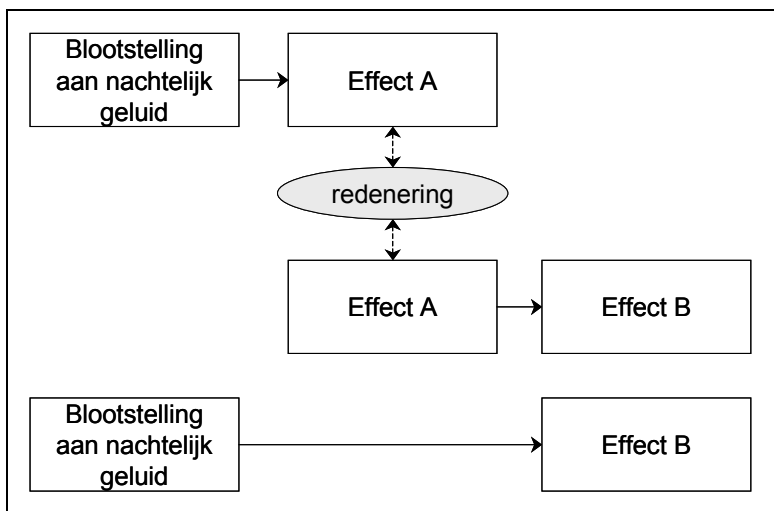
behulp van de zogenoemde Hill-criteria⁴³, waarover zo meer, en eventueel aanvullende overwegingen een uitspraak te doen over het oorzakelijke karakter van de samenhang.

Voor de drie categorieën van bewijs of evidentie worden in navolging van IARC en het advies *Geluid en gezondheid* uit 1994 de volgende omschrijvingen gehanteerd.

Tabel 2 Omschrijving van de mate van bewijskracht.

Voldoende bewijs	Een oorzakelijk verband is vastgesteld tussen blootstelling aan nachtelijk geluid tijdens de slaaperiode en een effect. In onderzoek waarbij toeval, bias en vertekening met redelijke zekerheid kunnen worden uitgesloten is een verband tussen blootstelling en effect waargenomen, waarbij het plausibel is dat het effect (mede) veroorzaakt wordt door de blootstelling
Beperkt bewijs	Een verband tussen blootstelling en effect is waargenomen, waarbij een oorzakelijk verband geloofwaardig is maar waarbij toeval, bias en vertekening niet met redelijke zekerheid kunnen worden uitgesloten. De aanwezigheid van een verband is in het algemeen wel plausibel Een direct verband tussen blootstelling en effect is niet waargenomen, maar er is wel indirecte empirische evidentie van goede kwaliteit, terwijl de aanwezigheid van een verband plausibel is. Er is sprake van indirecte evidentie als is waargenomen dat de blootstelling tot een intermediair effect leidt en in ander onderzoek is waargenomen dat het intermediaire effect tot het beschouwde effect leidt
Onvoldoende bewijs	Het beschikbare onderzoek heeft onvoldoende kwaliteit, consistentie of heeft onvoldoende zeggingskracht om een conclusie te trekken over het oorzakelijke verband tussen blootstelling en effect. De plausibiliteit van een verband is beperkt of afwezig

In aanvulling op de omschrijving van IARC is in Tabel 2 een verwijzing opgenomen naar de plausibiliteit van een verband. De classificatie van ‘voldoende bewijs’ vereist ook dat het verband plausibel is. Als dat niet het geval is, volgt classificatie in de categorie ‘onvoldoende bewijs’. Daarnaast is er bij ‘beperkt bewijs’ een subcategorie opgenomen die niet voorkomt bij IARC. Het gaat om indirecte empirische evidentie waarvan sprake is als wel bekend is dat de blootstelling tot een intermediair effect leidt, terwijl uit ander onderzoek bekend is dat dat intermediaire effect leidt tot het beschouwde effect. Daar hoort dan wel een redenering (plausibiliteit) bij, waarbij vooral wordt ingegaan op de verschillen en overeenkomsten tussen aard en ernst van het intermediaire effect in de beide situaties (zie Figuur 5).



Figuur 5 Indirecte evidentie. Indirect bewijs van een effect (effect B) door blootstelling aan nachtelijk geluid. Er is voldoende bewijs voor het verband tussen blootstelling aan nachtelijk geluid en effect A, en er is voldoende bewijs voor het verband tussen effect A en effect B. Tevens is het plausibel dat effect A in beide gevallen voldoende overeenkomst vertonen. Dit leidt er toe dat er beperkt bewijs is voor het verband tussen blootstelling aan nachtelijk geluid en effect B.

Hill-criteria voor mate van zekerheid

Bij de beoordeling van aanwijzingen uit epidemiologisch onderzoek voor een oorzake-lijk verband tussen blootstelling en effect worden veelal de zogeheten Hill-criteria te hulp geroepen⁴³. In een voordracht voor de *Section on Occupational Medicine* van de *Royal Society for Medicine* noemde de sectievoorzitter, professor Austin Bradford Hill, de volgende criteria:

- Sterkte
- Consistentie
- Specificiteit
- Volgorde in de tijd
- Biologische gradiënt
- Plausibiliteit
- Coherentie
- Experiment
- Analogie.

Hill merkt op dat hij voor het toepassen van de criteria geen harde beslisregels kan geven. Het gaat om het zorgvuldig beoordelen van de gegevens, waarbij de criteria een

hulpmiddel zijn. In de praktijk spelen de criteria ‘consistentie’, ‘plausibiliteit’, ‘sterkte’ en ‘biologische gradiënt’ de belangrijkste rol⁴⁴.

Hill stelt verder dat statistische significantie maar een beperkte rol speelt, behalve dan dat een significantietest de beoordelaar herinnert aan het feit dat toeval de uitkomsten van het onderzoek kan hebben bepaald. Er zijn de laatste jaren meta-analytische methoden ontwikkeld om gevolgtrekkingen te maken uit een samenstel van diverse onderzoeken. Het is echter twijfelachtig of die methoden de plaats kunnen innemen van een zorgvuldig, deskundig oordeel⁴⁵.

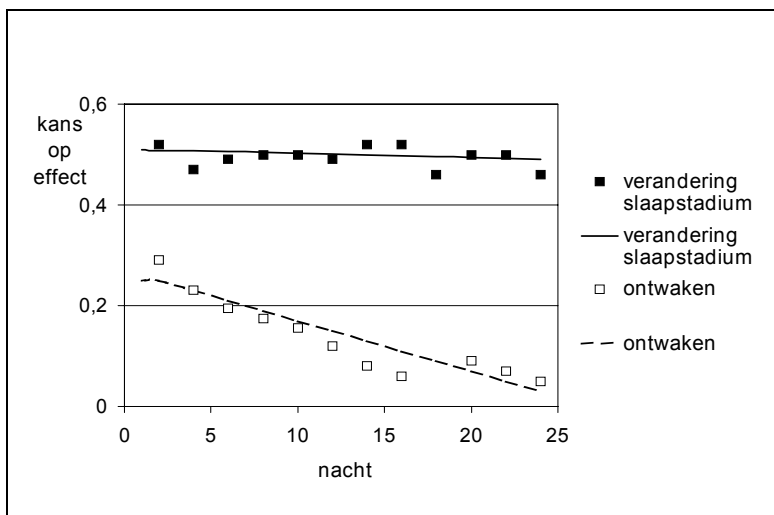
Om te komen tot uitspraken over de relatie tussen blootstelling aan geluid tijdens de slaaperiode en effecten op (uiteindelijk) gezondheid en welbevinden leent het beschikbare materiaal zich naar het oordeel van de commissie niet voor een kwantitatieve meta-analyse, nog los van de betekenis van die techniek bij de bewijsvoering. Het gaat dus om het bereiken van consensus over de betekenis van de onderzoeksgegevens, waarbij de Hill-criteria, zoals eerder reeds is aangegeven, een nuttige rol spelen.

Effecten van geluid tijdens de slaap

In de paragrafen 3.1 tot en met 3.4 geeft de commissie een overzicht van de effecten van blootstelling aan geluid tijdens de slaap, en trekt conclusies uit de overeenkomsten tussen bepaalde slaapproblemen en slaapproblemen in de algemene bevolking enerzijds en effecten van beïnvloeding van de slaap door geluid anderzijds. Paragraaf 3.5 geeft een schatting van de prevalentie van bepaalde gevolgen van nachtelijk geluid voor gezondheid en welbevinden en de daardoor veroorzaakte ziektelast onder de Nederlandse bevolking.

3.1 Laboratorium- en veldonderzoek

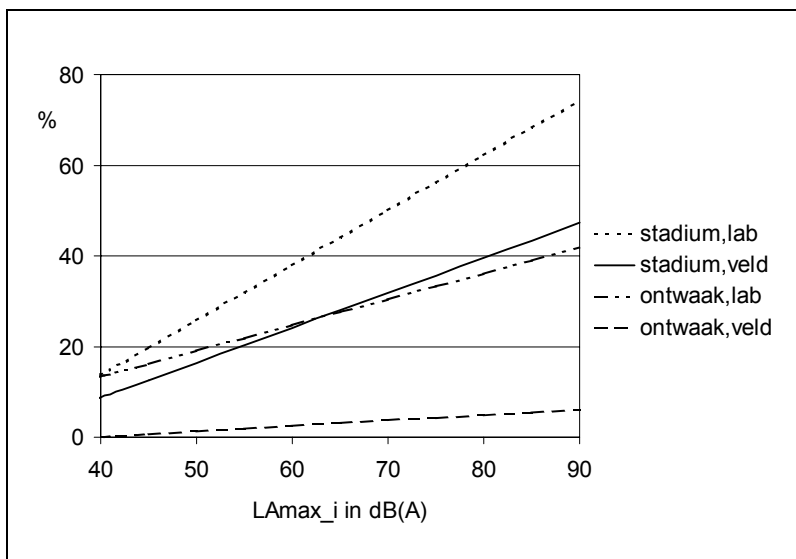
Bij de bespreking van de resultaten van het onderzoek naar de effecten van geluid tijdens de slaap richt de commissie zich op veldonderzoek. In de praktijk treedt namelijk gewenning aan geluid op, een fenomeen waarmee in laboratoriumonderzoek niet altijd in voldoende mate rekening kan worden gehouden. Overigens heeft juist dat laatste soort onderzoek reeds vijftwintig jaar geleden gewenning aan het licht gebracht (zie Figuur 6)⁴⁶.



Figuur 6 Gemiddelde kans op verandering van slaapstadium van een dieper naar een lichter stadium en op EEG-ontwaken door het geluid van een vrachtwagen met L_{Amax_i} van 65 dB(A) als functie van de nacht waarin proefpersonen werden blootgesteld⁴⁶.

Figuur 6 laat zien dat in de loop van een experiment de kans op EEG-ontwaken sterk afneemt, en de verandering van een dieper naar een lichter slaapstadium vrijwel niet. Gewenning treedt dus niet bij alle effecten van geluid tijdens de slaap in dezelfde mate op. Overigens kan in laboratoriumonderzoek de kans op een effect door geluid in de loop van de nachten van het onderzoek ook toenemen⁴⁷.

Dat laboratoriumonderzoek soms weinig zegt over gewenning laat zich illustreren met de blootstelling-effectrelaties van Pearsons en collega's⁴⁸. Als effecten bestudeerden zij de kans op EEG-ontwaken en de kans op verandering van slaapstadium van diepere naar minder diepe slaap. In Figuur 7 zijn deze kansen gegeven, zoals bepaald uit veld- en laboratoriumonderzoek. De figuur laat zien dat bij eenzelfde L_{Amax_i} de kans op EEG-ontwaken en verandering van slaapstadium veel groter is in het laboratorium dan bij personen die gewend zijn aan de nachtelijke blootstelling aan geluid thuis.



Figuur 7 Gemiddelde kans op verandering van slaapstadium en op EEG-ontwaken als functie van LAmax_i voor proefpersonen in het laboratorium en uit veldonderzoek bij mensen thuis⁴⁸.

Voor inzicht in effecten op slaap en gezondheid is dus vooral veldonderzoek met mensen met een langer durende blootstelling aan een bepaalde geluidsbron van belang. Mechanismen kunnen wel in het laboratorium worden onderzocht, maar de mate waarin in het laboratorium een effect optreedt is niet maatgevend voor de ‘echte’ wereld.

De commissie heeft de effecten van nachtelijk geluid op de slaap ingedeeld in biologische effecten (effecten die onmiddellijk als reactie op geluid optreden en effecten die betrekking hebben op één nacht (vóór, tijdens, en na het slapen)) en effecten op gezondheid en welbevinden door chronische blootstelling aan geluid tijdens de slaap (zie voor details Tabel 12 tot en met Tabel 14 in bijlage D).

3.2 Momentane biologische effecten

De stand van wetenschap bij een vorig Gezondheidsraadadvies

In 1991 bracht de Gezondheidsraad advies uit over vliegtuiggeluid en slaap⁶. In de bijbehorende achtergrondstudie vatte Hofman de resultaten samen die laboratorium- en veldonderzoek tot 1991 hadden opgeleverd⁶. In Tabel 3 zijn haar bevindingen weergegeven. Zij heeft de resultaten van de gerefereerde onderzoeken verdeeld in vijf klassen: significante verandering in de verwachte richting (significantieniveau 2,5%), trend in de

verwachte richting, geen verandering, trend in de tegengestelde richting, significant effect in de tegengestelde richting. In de tabel zijn de laatste vier klassen samengenomen tot geen statistisch significante verandering in de verwachte richting. De resultaten hebben vooral betrekking op geluid van wegverkeer en vliegverkeer. Incidenteel betreft het onderzoek naar het effect van geluid van railverkeer of industriële activiteiten.

Tabel 3 Uitkomsten onderzoek tot 1991 naar momentane veranderingen door blootstelling aan nachtelijke geluidsgebeurtenissen¹⁷.

Meetmethode	Effect	Aantal onderzoeken waarin signifi- cante verandering werd vastgesteld	Aantal onderzoeken waarin geen signi- ficante verandering werd vastgesteld
EEG	Verlenging van de inslaaptijd	17	15
	Ontwaken volgens het EEG	38	9
	Verandering van slaapstadium van diepere naar minder diepe slaap	35	20
	Verandering van REM naar ander 27 slaapstadium en verandering van slaapstructuur		11
ECG	Verhoging van de hartslag	16	7

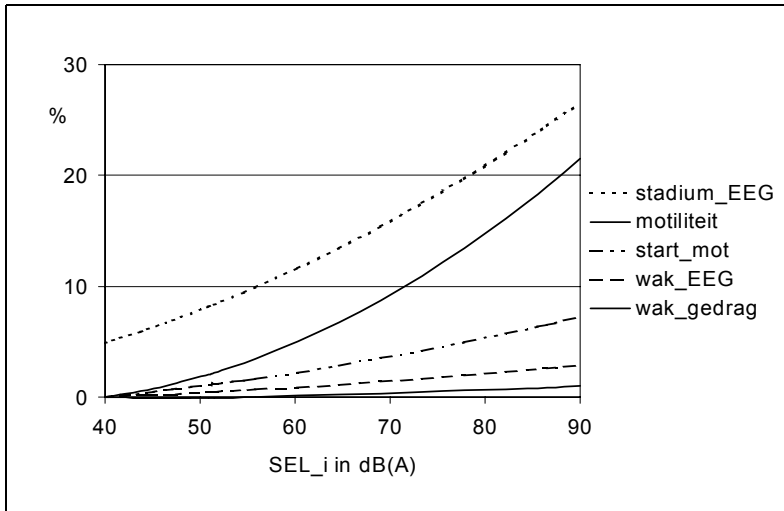
3.2.1 Vijf momentane effecten door vliegtuiggeluid met elkaar vergeleken

Naar momentane reacties is veel laboratoriumonderzoek gedaan, waarin door de gelijktijdigheid van geluidssignaal en reactie zonder twijfel werd aangetoond dat deze momentane reacties *door geluid* worden te weeg gebracht en versterkt.

In Figuur 8 zijn relaties tussen momentane reacties op een geluidsgebeurtenis (een vliegtuigpassage) en de blootstelling door de gebeurtenis in beeld gebracht. De relaties zijn door de commissie afgeleid uit veldonderzoek naar de gevolgen van blootstelling aan (vrijwel uitsluitend) vliegtuiggeluid. De figuur geeft de kans op een door geluid veroorzaakte respons in een tijdsinterval van 5 minuten rond het optreden van een geluidsgebeurtenis (van ongeveer 1 minuut vóór tot vier minuten na het tijdstip van L_{Amax_i} van de geluidsgebeurtenis). Overigens blijken de meeste reacties plaats te vinden binnen één minuut vóór tot één minuut na het tijdstip van de maximale geluidsblootstelling (L_{Amax_i}). De figuur laat zien dat geluid de kans vergroot op:

- verandering van slaapstadium van een dieper naar een minder diep stadium volgens het EEG (stadium_EEG)
- motiliteit (motorische onrust) in één van de 10 30-s intervallen gedurende de genoemde 5 minuten (motiliteit)
- begin van motiliteit (motorische onrust) in één van de 10 30-s intervallen gedurende de genoemde 5 minuten (start_mot)

- ontwaken volgens het EEG (wak_EEG)
- gedragsmatig ontwaken (wak_gedrag). Gedragsmatig ontwaken wordt veelal vastgesteld door het drukken op een knopje. Een deelnemer aan een onderzoek moet dan niet alleen wakker zijn, maar zich ook bewust tonen van zijn of haar omgeving en van de noodzaak om deze taak uit te voeren. Gedragsmatig ontwaken impliceert dan ook een hoger niveau van wakker zijn dan EEG-ontwaken.



Figuur 8 Vergelijking van diverse momentane reacties tijdens de slaap op geluidsgebeurtenissen. De reacties treden op in een tijdsinterval van vijf minuten, vanaf één minuut vóór tot vier minuten na het optreden van L_{Amax_i} van de geluidsgebeurtenis. Voor de betekenis van de legenda, zie opsomming. De relaties zijn vrijwel uitsluitend afgeleid uit onderzoek naar vliegtuiggeluid. De curve voor wakker volgens het EEG (wak_EEG) en die voor verandering in slaapstadium (stadium_EEG) zijn, gezien de aannames om tot de curves te komen, te beschouwen als respectievelijk een voorlopige en een zeer voorlopige relatie⁴⁸⁻⁵³.

De relaties in Figuur 8 zijn gegeven voor een traject van SEL_i -waarden van 40 tot 90 dB(A). Een vliegtuigpassage met een SEL_i van 40 dB(A) is 's nachts binnenshuis veelal goed hoorbaar. Een SEL_i van 90 dB(A) vertegenwoordigt een zeer luide passage.

Niet alle relaties in Figuur 8 hebben dezelfde betrouwbaarheid. De relaties voor gedragsmatig ontwaken, motiliteit en begin van motiliteit acht de commissie goed onderbouwd. Bij het afleiden van de relaties die berusten op het EEG (EEG-ontwaken en verandering in slaapstadium) heeft de commissie de aanname moeten maken dat de kans op EEG-ontwaken door geluid 40 procent is van de kans op begin van motiliteit door geluid*. Of dit percentage ook specifiek geldt tijdens vliegtuiggeluid is echter onbekend. Om de kans op een slaapstadiumverandering te schatten heeft de commissie

tevens gebruik gemaakt van de in Figuur 7 gegeven relaties tussen kans op EEG-ontwaken en kans op slaapstadiumverandering. Daarom beschouwt de commissie de curve voor EEG-ontwaken als voorlopig en die voor slaapstadiumverandering als zeer voorlopig.

Uit Figuur 8 blijkt dat het waarnemingsniveau voor de momentane effecten motiliteit, begin van motiliteit, en EEG-ontwaken ligt bij een SEL_i van 40 dB(A) (L_{Amax_i} van 32 dB(A)). Het waarnemingsniveau van de voorlopige relatie voor stadiumverschuiving in het EEG ligt volgens Figuur 8 beneden een SEL_i van 40 dB(A), en het waarnemingsniveau voor gedragsmatig ontwaken op een SEL_i van 54 dB(A).

3.2.2 *Extrapolatie van vliegtuiggeluid naar weg- en railverkeersgeluid*

Figuur 8 berust vrijwel geheel op resultaten van onderzoek naar vliegtuiggeluid. Weg- en railverkeersgeluid verhogen ook de kans op (begin van) motiliteit en op veranderingen in het EEG (EEG-ontwaken en verandering van slaapstadium) en de waarnemingsniveaus voor deze geluidsbronnen zijn ongeveer gelijk aan die voor vliegtuiggeluid (zie bijlage D). Daarbij plaatst de commissie wel de kanttekening dat die observatie voornamelijk berust op buitenwaarden van de geluidsniveaus; onderzoek met nauwkeurige informatie over de binnenniveaus zou een ander resultaat kunnen opleveren. Hoewel voor een bewijs van gedragsmatig ontwaken door weg- en railverkeersgeluid dus onvoldoende gegevens aanwezig zijn, verwacht de commissie dat geluidpieken in weg- en railverkeersgeluid eveneens gedragsmatig ontwaken veroorzaakt, maar mogelijk vanaf een andere drempel dan een SEL_i van 54 dB(A).

3.2.3 *Motiliteit en begin van motiliteit*

In de afgelopen tien jaar zijn er drie grootschalige veldonderzoeken verricht, waaruit de relatie kan worden afgeleid tussen L_{Amax_i} of SEL_i en de kans op momentane motiliteit door vliegtuigpassages^{12,49,51}. De kans op momentane motiliteit neemt toe met L_{Amax_i} of SEL_i . Uit het Nederlandse onderzoek bleek ook dat deze kans bij een bepaalde L_{Amax_i} of SEL_i sterk afhankelijk is van het equivalente geluidniveau door vliegtuiggeluid in de slaapkamer (L_i): personen met een gewoonlijk hoge belasting aan vliegtuiggeluid tijdens hun slaap reageren minder op één vliegtuigpassage dan personen die gewoonlijk slechts incidenteel aan vliegtuiggeluid tijdens hun slaap worden blootgesteld. Tevens bleek uit het onderzoek dat het type vliegbeweging (landen of opstijgen) niet van invloed is op de kans op motiliteit door vliegtuiggeluid. In het onderzoek is

* Het percentage 40 procent heeft Ollerhead afgeleid uit een vergelijking van alle 30-s intervallen met EEG-ontwakingen en alle 30-s intervallen met begin van motiliteit van de deelnemers aan zijn onderzoek⁵¹.

tevens gevraagd naar de houding van de deelnemers ten aanzien van de luchtvaart en die met betrekking tot de groei van Schiphol. Het bleek dat die geen effect hadden op de kans op momentane motiliteit door vliegtuiggeluid.

De relaties uit het Nederlandse onderzoek stemmen overeen met de bevindingen uit het Amerikaanse onderzoek⁴⁹. De relatie uit het Engelse onderzoek tussen begin van motiliteit en L_{Amax} van een vliegtuigpassage verschilt aanzienlijk van de relatie tussen motiliteit en L_{Amax_i} uit het Nederlandse onderzoek. De Engelse onderzoekers kwamen tot de conclusie dat de drempel voor begin van motiliteit door een vliegtuigpassage ligt op een L_{Amax} van 82 dB(A)⁵¹. Als deze buitenwaarde wordt verminderd met 25 dB(A) (het door de onderzoekers⁵⁴ opgegeven verschil tussen buiten en binnen), komt de drempel te liggen op een L_{Amax_i} van 57 dB(A). Dit is 25 dB(A) hoger dan het waarnemingsniveau dat in het Nederlandse onderzoek voor motiliteit en begin van motiliteit is vastgesteld. Vanwege de voortrekkersrol van het Engelse onderzoek en het belang dat jarenlang aan de resultaten van het onderzoek is gehecht, gaat de commissie in bijlage D uitgebreider in op het verschil tussen het Engelse en Nederlandse onderzoek. Zij concludeert dat het Engelse onderzoek een aantal beperkingen heeft die in het meer recente Nederlandse onderzoek ondervangen zijn.

3.2.4 Gedragmatig ontwaken en EEG-ontwaken

Het verband tussen de kans op gedragmatig ontwaken en SEL_i in Figuur 8 is overgenomen uit een secundaire analyse door Passchier-Vermeer⁵². Het waarnemingsniveau voor gedragmatig ontwaken door vliegtuiggeluid is volgens die analyse een SEL_i van 54 dB(A), overeenkomend met een L_{Amax_i} van 42 dB(A).

De commissie becijferde het aantal maal ‘spontaan’ EEG-ontwaken en het aantal maal ‘spontaan’ gedragmatig ontwaken op respectievelijk globaal 10 tot 12 maal en 1,5 tot 2 maal per nacht in de perioden zonder geluidsgebeurtenissen. Iemand die ‘spontaan’ wakker geworden is, zou tijdens het wakker zijn een passerend voertuig, bijvoorbeeld een auto, een vliegtuig of een trein, kunnen horen. Hoe *meer* en *hoe langer* de passages, des te groter is de kans daarop. Het zou dus in een extreem geval kunnen voorkomen dat iemand zo’n tien maal per nacht een passage hoort zonder dat het geluid de oorzaak van het wakker zijn is geweest.

De commissie heeft drie onderzoeken naar het effect van nachtelijk geluid op het EEG van kinderen gevonden. Het betreft laboratoriumonderzoek bij respectievelijk 24, 8 en 6 kinderen⁵⁵⁻⁵⁷ en één onderzoek bij vijf kinderen in hun thuissituatie⁵⁶. Busby⁵⁵ vond, weliswaar bij geluiden tot 95 dB(A), dat kinderen in het laatste derde deel van hun slaap (dat wil zeggen voornamelijk REM-slaap) bij bijna 60 procent van de geluiden een

EEG-ontwaking of arousal vertoonden. Mede door de schaarste aan verdere gegevens over de corticale reacties van kinderen op nachtelijk geluid is de commissie niet in staat om een uitspraak te doen over een eventuele grotere gevoeligheid van kinderen voor nachtelijk geluid.

3.2.5 *Hartslagversnelling en stresshormoonconcentraties in het bloed*

Uit het veldonderzoek van Hofman en collega's⁵⁸ leidt de commissie af dat door pieken in het geluid van een snelweg (bijvoorbeeld door voorbijkomende vrachtwagens) er ongeveer 60 procent kans is op een versnelling van de hartslag, onafhankelijk van *LAm_{ax}_i*. De waarden van *LAm_{ax}_i* lagen in dat onderzoek veelal tussen 30 en 70 dB(A). De gemiddelde toename in de hartslag bleek 4 slagen per minuut, onafhankelijk van het slaapstadium van de deelnemers aan het onderzoek. De commissie ziet de hartslagversnelling als een voorbeeld van een acute verandering in het cardiovasculaire systeem. Ook andere acute veranderingen die rechtstreeks met een hartslagversnelling in verband te brengen zijn, zoals momentane veranderingen in de systolische bloeddruk en vasoconstrictie, volgen eenzelfde patroon⁵⁹⁻⁶³ (zie bijlage D). Resultaten uit laboratoriumonderzoek maken aannemelijk dat vrachtwagen- en vliegtuigpassages met gelijke *SEL_i* ongeveer hetzelfde effect op de hartslag hebben⁶⁴⁻⁶⁷ (zie bijlage D). Tevens komt op basis van laboratoriumonderzoek het beeld naar voren dat als *SEL_i* als geluidsmaat wordt gekozen, geluidsgebeurtenissen die aan het begin snel in niveau toenemen (bijvoorbeeld geluid van een laag vliegende straaljager of schietgeluid) meer effect op de hartslag hebben dan geluidsgebeurtenissen waarvan het geluidniveau aan het begin langzamer toeneemt (bijvoorbeeld het geluid van een vrachtwagen of een burgervliegtuig)^{64,65,67}. De grootte van het effect laat zich echter niet kwantificeren.

Er is geen veldonderzoek bekend waarbij momentane veranderingen door geluid op de (stress)hormoonhuishouding bepaald zijn. Dat acht de commissie overigens niet verwonderlijk, omdat dit soort onderzoek zeer invasieve methoden vereist en derhalve niet geschikt is voor grootschalige toepassing in de thuissituatie.

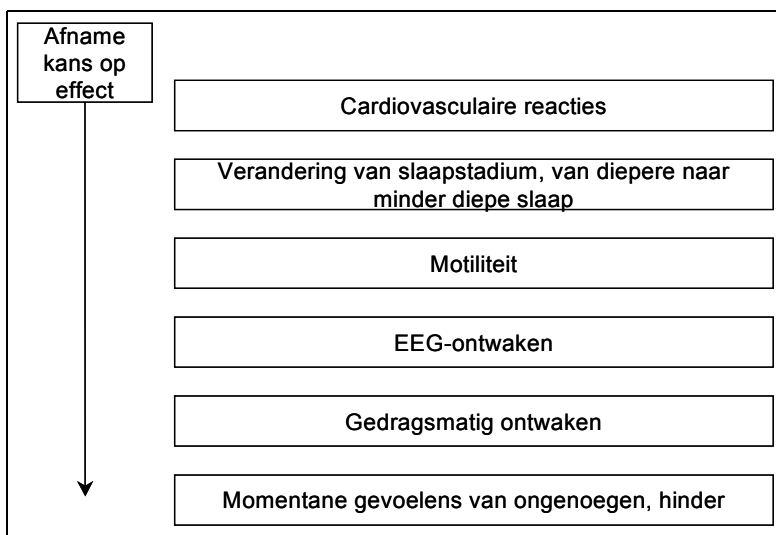
Naar de gevolgen van nachtelijk geluid op fysiologische functies bij kinderen is slechts één onderzoek opgespoord. In 1967 heeft Semczuk het effect van geluid tijdens de slaap onderzocht bij 50 kinderen (5 tot 7 jaar) en 100 volwassenen met behulp van thoraxgrafie om de ademhaling te registreren⁶⁸. De veranderingen in de ademhaling als gevolg van een geluidsstimulus (tonen) begonnen bij kinderen op een 10 tot 15 dB(A) lager niveau op te treden dan bij de volwassenen. De onderzoeker concludeerde hieruit dat het autonome zenuwstelsel van kinderen tijdens de slaap sneller door geluid geactiveerd wordt dan dat van volwassenen, en kinderen daarom fysiologisch gevoeliger zijn voor nachtelijk geluid dan volwassenen. De commissie sluit zich bij deze conclusie aan.

3.2.6 *Acute hinder*

Acute hinder door geluid tijdens de slaaperiode is niet geregistreerd, hoewel er achteraf na de slaap wel vragen naar hinder gesteld zijn. Waarschijnlijk verstoort het voor onderzoek bijhouden van een logboekje de nachtrust ook te veel om geen invloed op het slaaproces te hebben. De commissie neemt aan dat dergelijke gevoelens wel voorkomen, ook al zijn ze niet geregistreerd. Een indirecte aanwijzing voor acute hinder is hinder die na het slapen wordt gerapporteerd in logboekjes.

3.2.7 *Ordering van momentane reacties*

In Figuur 9 zijn de momentane reacties op een geluid geordend naar afnemende kans op optreden door geluid. Hoewel er geen onderzoek is gedaan naar acute hinder vindt de commissie het logisch dat dat effect pas op kan treden als een slaper daadwerkelijk wakker is.



Figuur 9 Momentane effecten door geluid tijdens de slaap.

3.2.8 *Gevoelige groepen voor momentane effecten*

De commissie heeft de onderzoeksgegevens ook beoordeeld om vast te stellen of er persoonskenmerken zijn die resulteren in een extra gevoeligheid voor momentane beïnvloeding van de slaap door geluid. Hoewel zij de bewijskracht beperkt acht, wijst zij op

de mogelijkheid dat personen met cardiovasculaire problemen, personen die zichzelf gevoelig voor geluid vinden, en kinderen extra gevoelig zouden kunnen zijn voor momentane cardiovasculaire effecten. Door de schaarste aan onderzoeksgegevens over kinderen, is er geen uitspraak mogelijk over hun eventuele extra gevoeligheid voor andere momentane biologische reacties.

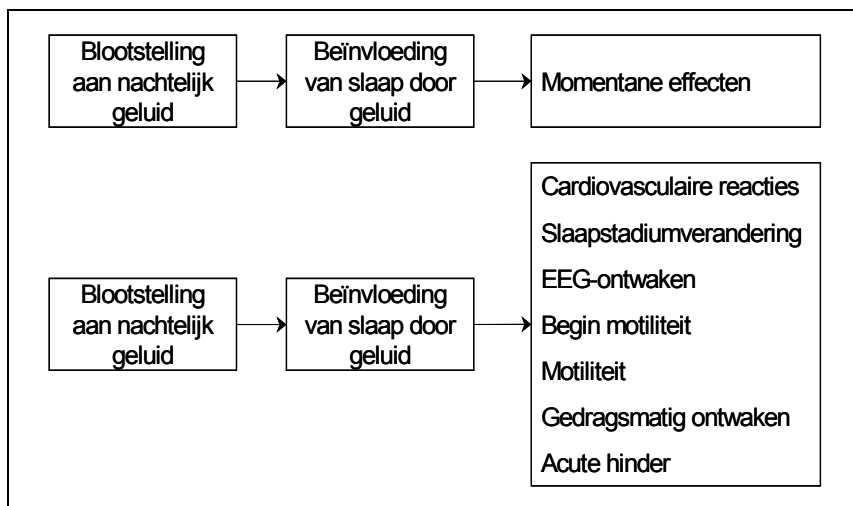
3.2.9 *Gevolgtrekkingen*

De commissie concludeert op basis van het bovenstaande het volgende:

- Weg- rail-, en vliegverkeersgeluiden kunnen momentane reacties gedurende de slaap teweegbrengen. De kans hierop begint al bij lage geluidniveaus toe te nemen. De waarnemingsniveaus voor EEG-ontwaken, motiliteit, en begin van motiliteit door verkeersgeluid liggen bij een *SEL_i* van ongeveer 40 dB(A), voor hartslagversnelling lager dan 40 dB(A), voor slaapstadium-veranderingen in het EEG wellicht (het verband is immers niet zeker) lager dan 40 dB(A), en voor gedragsmatig ontwaken (door vliegtuiggeluid) bij ongeveer 54 dB(A). Hoewel voor een direct bewijs van gedragsmatig ontwaken door weg- en railverkeersgeluid onvoldoende gegevens aanwezig zijn, verwacht de commissie dat dit eveneens door geluidpieken in weg- en railverkeersgeluid optreedt, maar mogelijk vanaf een ander waarnemingsniveau dan een *SEL_i* van 54 dB(A). Er is geen onderzoek uitgevoerd naar momentane veranderingen door industrie geluid. Niettemin verwacht de commissie dat blootstelling aan industrie geluid ook de genoemde reacties geeft. Hoewel ze het niet onaannemelijk acht dat dit vanaf ongeveer dezelfde waarnemingsniveaus optreedt als bij verkeersgeluiden, trekt ze hierover geen conclusie
- Onderzoek naar momentane effecten van nachtelijk geluid op kinderen ontbreekt vrijwel geheel. Uit het enige onderzoek naar de reactie op de ademhaling bij kinderen door geluid blijkt dat de reacties bij hen bij zo'n 10 tot 15 dB(A) lager niveau beginnen op te treden dan bij volwassenen. Door de schaarste aan gegevens kan niet worden uitgesloten dat kinderen ook gevoeliger dan volwassenen zijn voor corticale momentane effecten tijdens de slaap, hoewel wellicht slechts gedurende de REM slaap en niet gedurende de diepe slaap
- Uit laboratoriumonderzoek komt het beeld naar voren dat als *SEL_i* als geluidsmaat wordt gekozen, geluidpieken met een zeer snelle stijging van het geluidniveau aan het begin van de geluidpiek meer effect op de hartslag hebben dan geluiden met een langzamer stijging van het geluidniveau aan het begin van de geluidsgebeurtenis. De commissie is echter niet in staat om dit beeld te kwantificeren. Hoewel de relatie tussen het geluid van straaljagers en gedragsmatig ontwaken slechts berust op gegevens van omwonenden van één militaire vliegbasis, en deze relatie met ander onderzoek over straaljagers verder onderbouwd dient te worden, wijst de commissie er op

- dat de kans op gedragsmatig ontwaken door straaljagers bij hogere belastingen aanzienlijk groter is dan voor vliegtuigen van de burgerluchtvaart. De commissie vermoedt dat ook deze extra kans op gedragsmatig ontwaken bij luidere passages verband houdt met de hoge snelheid waarmee het geluidniveau toeneemt bij het naderen van een straaljager, waardoor angstgevoelens optreden
- Hoe *meer* geluidsgebeurtenissen per nacht des te groter is de kans dat men tijdens het ‘spontaan’ wakker zijn het geluid van zo’n gebeurtenis hoort. De commissie heeft aannemelijk gemaakt dat globaal tussen 1,5 – 2 en 10 – 12 maal per nacht het bewustzijnsniveau zo hoog is dat men zich van een dan hoorbare geluidsgebeurtenis bewust kan zijn, zonder er wakker door geworden te zijn. Dat is wellicht mede een verklaring voor de omvang van nachtelijke geluidhinder. Bij wegverkeer zal bij eenzelfde *Lnight* de kans op een hoorbare geluidsgebeurtenis na ontwaken in veel gevallen aanzienlijk groter zijn dan voor vlieg- en railverkeer, omdat veelal in het wegverkeer naast geluidpieken ook veel, minder luide, passages voorkomen
 - Hoewel de bewijskracht beperkt is, is het niet onaannemelijk dat personen met cardiovasculaire problemen, personen die zichzelf gevoelig voor geluid vinden, en kinderen (zoals hiervoor reeds is geconcludeerd), extra gevoelig zijn voor het optreden van momentane cardiovasculaire effecten door geluid.

In Figuur 10 is het resultaat samengevat. Het bovenste schema geeft de algemene gedachtenlijn weer: door de aanwezigheid van nachtelijk geluid wordt de slaap beïnvloed en dat is te meten aan momentane effectparameters. In het onderste deel van de figuur is aangegeven welke effectparameters een effect door geluid tijdens de slaap te zien hebben gegeven. Alle momentane reacties op geluid beschouwt de commissie als biologische effecten.



Figuur 10 Resultaat van onderzoek naar momentane effecten door nachtelijk geluid tijdens de slaap.

3.2.10 Bewijskracht

Geluid tijdens de slaaperiode doet het lichaam direct reageren. Tabel 4 benoemt de effecten waarvoor voldoende bewijs is dat ze het directe gevolg zijn van een geluidsgebeurtenis tijdens de nachtelijke slaaperiode.

Tabel 4 Momentane biologische effecten

Cardiovasculaire veranderingen^a

Verandering slaapstadium van diepere naar minder diepe slaap

EEG-ontwaken

Verandering motiliteit van geen naar wel motiliteit

Motiliteit

Gedragsmatig ontwaken

^a In het advies wordt voornamelijk gesproken over hartslagversnelling.

Ook voor vasoconstrictie en momentane verhoging in bloeddruk is voldoende evidentie.

Voor een momentane verandering van (stress)hormoonspiegels door nachtelijk geluid tijdens de slaap is geen bewijs, maar wordt wel verondersteld. In elk geval is dit in de veldsituatie niet goed te onderzoeken, gezien het invasief karakter van de meetmethode. Ook is er slechts indirect beperkt bewijs dat momentane ergernis optreedt als gevolg van een geluidsgebeurtenis.

3.3 Biologische effecten vóór, gedurende en na het slapen

De stand van wetenschap bij een vorig Gezondheidsraadadvies

Voor het eerder al genoemde Gezondheidsraadadvies over vliegtuiggeluid en slaap heeft Hofman¹⁷ ook de onderzoeksresultaten tot 1991 samengevat over de effecten tijdens één nacht of dag en over de langetermijneffecten van nachtelijk geluid. In Tabel 5 staan haar bevindingen over deze effecten. De resultaten hebben net als bij de momentane effecten vooral betrekking op geluid van wegverkeer en vliegverkeer. Incidenteel betreft het onderzoek naar het effect van geluid van railverkeer of industriële activiteiten.

Tabel 5 Uitkomsten onderzoek naar effecten nachtelijk geluid, verricht in de periode tot 1991, zoals gerefereerd door Hofman¹⁷

Meetmethode	Effect	Aantal onderzoeken waarin significante verandering werd vastgesteld	Aantal onderzoeken waarin geen significante verandering werd vastgesteld
Logboekje/cognitieve testen	Over één nacht of dag		
	- Verslechtering slaapkwaliteit	15	10
	- Verslechtering stemming en cognitief functioneren overdag	8	6
	- Verstoring van de slaap	25	2
Vragenlijst	Over langere termijn		
	- Hinder nachtelijk geluid	42	2
	- Beroep op de gezondheidszorg	6	5
	- Toename zelfgerapporteerde gezondheidsklachten	10	8
	- Toename gebruik slaap- en kalmeringsmiddelen	8	5

Het blijkt dat met name hinder op langere termijn en verstoring van de slaap (moeilijk in kunnen slapen, tussentijds wakker worden, 's morgens te vroeg wakker worden en niet meer kunnen inslapen) in vrijwel alle onderzoeken statistisch significant toenemen met de nachtelijke geluidsbelasting. De tabel, noch het overzicht van Hofman¹⁷, geeft informatie over de blootstellingsniveaus of de kwaliteit van de onderzoeken.

In slechts weinig veldonderzoeken is specifiek gekeken naar de relatie tussen geluidsbelasting en de effecten hiervan op de inslaaptijd, op de slaaptijd, of op de periode na het slapen. Ook zijn veelal de gegevens uit het onderzoek naar momentane veranderingen door geluid (3.3) niet geaggregeerd per nacht. Het gaat in het volgende vooral om onderzoek naar de effecten van wegverkeers- en vliegtuiggeluid. In de meeste onderzoeken zijn diverse effectparameters tegelijkertijd bestudeerd, hetgeen het voor de

commissie moeilijk maakt om een overzicht te geven dat net zo is gestructureerd als de vorige paragraaf over momentane effecten. De commissie bespreekt eerst de resultaten van onderzoek naar de invloed van wegverkeersgeluid, en vervolgens van vliegtuiggeluid. Daarna bespreekt ze achtereenvolgens de informatie uit veldonderzoek over effecten van nachtelijk geluid op motiliteit en op stresshormoonconcentraties. Tot slot gaat zij in op een mogelijke beïnvloeding van immuunfuncties door nachtelijk geluid, hetgeen alleen in het laboratorium is onderzocht.

3.3.1 *Wegverkeersgeluid: diverse effectparameters*

In 2003 heeft het RIVM een overzicht gepubliceerd van het veldonderzoek dat specifiek is verricht om effecten door nachtelijk geluid van *wegverkeer* op de slaap in kaart te brengen⁶⁹. In de elf onderzoeken waarin tijdens de slaap EEG-, ECG-, of actimetriemetingen zijn uitgevoerd, en soms van logboekjes gebruik is gemaakt, hebben ook geluidmetingen (in de slaapkamer) gedurende de deelnemersnachten plaatsgevonden.

Vijf van de elf onderzoeken lenen zich om diverse redenen (te gering in omvang, geen bruikbare gegevens) niet voor verdere bespreking. Interessante gegevens zijn afkomstig van vier interventieonderzoeken die in het kader van een opdracht van de Europese Commissie tussen van 1980 tot 1983 zijn uitgevoerd. Door middel van extra geluidsisolatie van de slaapkamerramen, door het gebruik persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen en door het slapen aan de stille zijde van het huis was de geluidsbelasting door wegverkeer in de helft van de deelnemersnachten ongeveer 10 dB(A) lager^{58,59,70-73}. Aan deze onderzoeken hebben in totaal 70 personen deelgenomen gedurende 922 deelnemersnachten. Jurriëns trok de volgende conclusies over de effecten in de lawaaiiger situaties ten opzichte van de rustiger situaties⁷⁰:

- De gemiddelde duur van REM-slaap is 6,5 minuut korter (de REM-slaap duurt bij volwassenen ongeveer 2 uur)
 - Bij de reactietijdtesten is de reactietijd gemiddeld 12 milliseconde (ms) langer, ten opzichte van een gemiddelde reactietijd van 350 ms, en er worden meer fouten gemaakt (8 procent)
 - De zelfgerapporteerde slaapkwaliteit is minder (7 procent)
 - De tijd in W (wakker) volgens het EEG is 7 minuten langer (vastgesteld in twee van de vier onderzoeken)
 - De gemiddelde hartslagfrequentie tijdens de slaap is hoger. In het Nederlandse onderzoek betrof dit 3,2 slagen per minuut, van 68,3 tot 71,5 slagen per minuut⁵⁸.
- Ook een onderzoek door Öhrström⁷⁴, waarin alleen van logboekjes gebruik is gemaakt, is in het overzicht van RIVM opgenomen. Uit dat onderzoek bleek dat in situaties met meer wegverkeersgeluid 's nachts de moeite met inslapen groter was, tussentijds wakker worden door wegverkeersgeluid vaker voorkwam, de slaapkwaliteit minder goed was en

men in de morgen vermoeider en geïrriteerder was. Onlangs heeft dezelfde onderzoeksgroep een klein longitudinaal interventieonderzoek onder volwassenen en een dwarsdoorsnede-onderzoek onder kinderen en volwassenen afgerond, waaruit geen statistisch significante effecten van nachtelijk wegverkeersgeluid op de gemeten effectparameters bleken^{75,76}.

Een Duits onderzoek naar weg- en railverkeersgeluid^{77,78} is eveneens in het overzicht door het RIVM opgenomen. De resultaten over gemiddelde motiliteit worden onder een volgend kopje besproken.

3.3.2 *Vliegtuiggeluid: diverse effectparameters*

In een rapport van Passchier-Vermeer¹² zijn relaties gegeven voor effecten van *vliegtuiggeluid* op de slaap gedurende één slaaperiode (zie Figuur 23 in bijlage D). Het betreft de effectvariabelen: voor de leeftijd hoge motiliteit; herinnerd ontwaken door vliegtuiggeluid; ten minste drie maal per nacht gedragsmatig ontwaken; gebruik van slaapmiddelen. Het gebruik van slaap- en kalmeringsmiddelen neemt vooral bij ouderen sterk toe met de nachtelijke geluidsbelasting. Uit het onderzoek bleek geen effect van nachtelijk vliegtuiggeluid op de uitkomsten van de reactietijdtest, die de deelnemers aan het eind van de avond uitvoerden. De in de morgen (om tien uur) door de deelnemers aangegeven mate van slaperigheid bleek wel afhankelijk van de nachtelijke geluidsbelasting: naarmate deze belasting hoger was, voelde men zich in de morgen slaperiger.

In genoemd onderzoek is tevens aangetoond dat de moeite met inslapen en de inslaaptijd in negatieve zin beïnvloed waren door de belasting met vliegtuiggeluid tijdens de inslaaptijd. Naarmate het equivalente geluidniveau tijdens de inslaaptijd hoger was, was de inslaaptijd langer. Personen die zich bij het slapen gaan zorgen maakten over de mogelijke invloed van vliegtuiggeluid op hun slaap bleken een inslaaperiode te hebben die een kwartier langer was dan de personen die zich daarover geen zorgen maakten.

3.3.3 *Weg-, rail- en vliegverkeersgeluid en motorische onrust/motiliteit*

In het eerder genoemde Duitse onderzoek naar *weg- en railverkeersgeluid*^{77,78} waren 188 deelnemers voornamelijk blootgesteld aan wegverkeersgeluid en hetzelfde aantal voornamelijk aan het geluid van passerende treinen. Het aantal deelnemersnachten met informatie over motorische onrust bedroeg voor wegverkeer 1710 en voor railverkeer 1581. Uit de recente analyse⁷⁹ van de gegevens blijkt dat bij blootstelling aan *railverkeersgeluid* de over één slaaperiode gemiddelde motiliteit niet samenhangt met het equivalente geluidniveau van het railverkeer (binnen of buiten bepaald) over die tijd, terwijl *wegverkeersgeluid* een statistisch significante toename veroorzaakt. In het

Nederlandse slaapverstoringsonderzoek is ook aangetoond dat de gemiddelde motiliteit toeneemt met toenemende belasting door *vliegtuiggeluid* gedurende de slaap¹². Daarbij is de toename van de gemiddelde motiliteit per dB(A) toename van de geluidsbelasting door wegverkeer ongeveer 30 procent groter dan door vliegtuiggeluid.

Door Smith en collega's⁸⁰ uit Bristol is gefaseerd het verband tussen vliegtuiggeluid, slaapverstoring, en gezondheid onderzocht. In de laatste fase is onder 90 personen (45 koppels) met actimeters gedurende drie nachten de motiliteit bepaald en zijn er in de slaapkamers van de deelnemers geluidmetingen uitgevoerd. De bronnen van de geluiden in de slaapkamer zijn niet objectief vastgesteld, noch is er een buitenmeter gebruikt. Het bleek dat er geen samenhang bestond tussen de geluidsbelasting en over een nacht gemiddelde actimetriscie uitkomsten. Volgens de onderzoekers is dit vooral het gevolg van de geringe geluidsbelasting van de deelnemers.

3.3.4 *Wegverkeers- en vliegtuiggeluid: stresshormoonconcentraties*

Babisch⁸¹ heeft een overzicht gegeven van onderzoek naar effecten van *wegverkeers- en vliegtuiggeluid* op hormoonconcentraties (adrenaline, noradrenaline, cortisol) vastgesteld op basis van over een nacht verzamelde urine en in één onderzoek met behulp van speeksel na het ontwaken (alleen voor de bepaling van cortisol). Het betreft acht veldonderzoeken (zie Tabel 16 en Tabel 17 van bijlage D).

In zeven onderzoeken waren de proefpersonen kinderen: vijf onderzoeken met vliegtuiggeluid en twee met wegverkeersgeluid. Vliegtuiggeluid bleek niet samen te hangen met de cortisolconcentraties, terwijl in geval van de hogere belastingen met wegverkeersgeluid er sprake was van een statistisch significante verhoging. De adrenaline- en noradrenalineconcentraties bleken in twee van de vier onderzoeken met vliegtuiggeluid bij hogere belastingen statistisch significant verhoogd en in één onderzoek met wegverkeersgeluid niet samen te hangen met het geluidniveau (niet alle drie de genoemde hormoonconcentraties waren in alle onderzoeken bepaald). Of de verhoogde hormoonconcentraties een gevolg waren van het aanwezige nachtelijke wegverkeersgeluid is niet zeker; het zou ook een na-effect van de geluidsbelasting overdag kunnen zijn geweest.

Het enige veldonderzoek onder volwassenen richtte zich op het effect van wegverkeersgeluid op de hoeveelheid adrenaline- en noradrenaline in de nachtelijke urine van 234 vrouwen (30 tot 45 jaar)⁸². Er bleek bij de vrouwen die hun slaapkamer aan de straatkant hadden een statistisch significante toename van de noradrenalineconcentratie met verkeersvolume (en daarmee met het equivalente geluidniveau) en geen effect van het verkeersvolume op de adrenalineconcentratie. Bij de vrouwen met de woonkamer aan de straatkant bleek noch een effect op de adrenalineconcentratie, noch op de noradrenalineconcentratie. Het feit dat met name de noradrenalineconcentratie verhoogd

was is in overeenstemming met het model van Ising, waarin met name de noradrenalineconcentratie verhoogd is bij geluid waaraan men 'gewend' is⁸³. Het effect van het wegverkeersgeluid op de noradrenalineconcentratie trad in het bijzonder op bij de vrouwen die aangaven bij gesloten slaapkamerraam slaapverstoring door het wegverkeersgeluid te ondervinden. Bij de vrouwen die geen geluidhinder ondervonden bij gesloten slaapkamerraam, waren de noradrenalineconcentraties niet statistisch significant verhoogd.

De commissie vindt het moeilijk om bij de geringe hoeveelheid onderzoeksresultaten tot een oordeel te komen. Zij is niettemin van mening dat er aanwijzingen zijn dat geluid onder bepaalde omstandigheden de stresshormoonniveaus van volwassenen tijdens de slaap verhoogt en dat het niet uit te sluiten is dat dat eveneens bij kinderen gebeurt. Voor een beter gefundeerd oordeel zijn echter meer gegevens noodzakelijk.

3.3.5 *Diverse geluiden in laboratoriumonderzoek: immuunfunctie*

Veranderingen van immunologische parameters door blootstelling aan geluid zijn in de periode van 1968 tot 1974 onderzocht door Osada en collega's⁸⁴⁻⁸⁷. De in de vier laboratorium-experimenten met 21 proefpersonen geconstateerde grote veranderingen hebben vrijwel zeker te maken hebben met onvolkomenheden in de proefopzet*. Verder is de commissie geen onderzoek bekend naar de invloed van nachtelijke geluidsbelasting op immuunfuncties.

Born en Fehm wijden in hun overzichtsartikel 'The Neuroendocrine Recovery Function of Sleep' een paragraaf aan de mogelijkheid dat nachtelijke geluidsblootstelling effect heeft op het immuunsysteem⁸⁸. Op basis van twee door hen uitgevoerde experimenten waarbij proefpersonen hetzij uit de slaap gehouden werden (slaapdeprivatie), hetzij 'normaal' mochten slapen postuleren Born en Fehm dat nachtelijke geluidsbelasting een negatieve invloed op het immuunsysteem zou kunnen hebben. Zij voegen daar aan toe dat nog veel onderzoek nodig zal zijn om een dergelijke veronderstelling te onderbouwen.

3.3.6 *Gevolgtrekkingen*

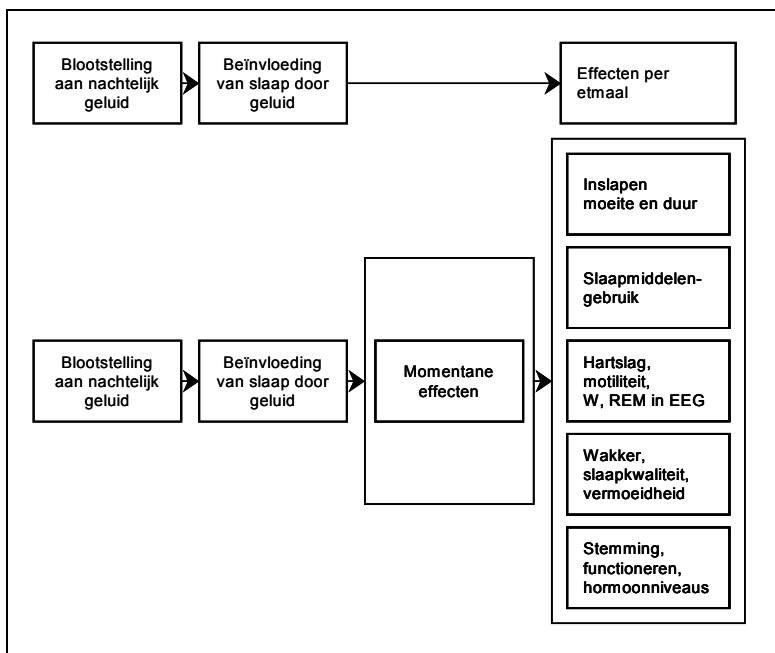
De commissie trekt op basis van het bovenstaande de volgende conclusies over de biologische effecten over één nacht (voor, tijdens, en na het slapen):

- Er is voldoende bewijs dat weg- en vliegverkeersgeluid gedurende de slaap vanaf een bepaalde geluidsbelasting tot gevolg hebben:
 - Meer moeite met inslapen
 - Verlenging van de inslaaptijd

* Marth, persoonlijke communicatie.

- Gebruik van slaap- en kalmeringsmiddelen, vooral bij ouderen
- Vermindering van REM-slaap en verlenging van de tijd in het stadium wakker (W) volgens het EEG
- Verhoging van de gemiddelde hartslag
- Verhoging van de gemiddelde motiliteit/motorische onrust
- Vaker gedragsmatig ontwaken
- Vaker de herinnering wakker te zijn geworden door geluid
- Vermindering van de zelf-gerapporteerde slaapkwaliteit
- Verhoging van de slaperigheid, vermoeidheid en geïrriteerdheid
- Er is beperkt bewijs dat weg- en vliegverkeersgeluid gedurende de slaap tot gevolg hebben:
 - Verslechtering van de stemming overdag
 - Minder goed cognitief functioneren overdag
- Naar railverkeersgeluid is incidenteel onderzoek gedaan: de gemiddelde motiliteit tijdens een slaaperiode bleek niet statistisch significant verhoogd door de blootstelling. Er is geen onderzoek verricht naar de gevolgen van industriegeluid
- Over de invloed van nachtelijk geluid op immuunfuncties is weinig bekend
- Er is beperkt direct bewijs dat onder bepaalde omstandigheden nachtelijk geluid de niveaus van (stress)hormonen tijdens de slaap beïnvloedt: dit effect werd waargenomen bij vrouwen die in de nacht gehinderd werden door geluid en geen maatregelen wisten te nemen om die hinder weg te nemen. De commissie vermoedt dat er geen uniform effect van geluid op stresshormonen optreedt, maar een effect dat afhangt van persoonlijke en situationele factoren. Om een beter gefundeerd oordeel te kunnen geven zouden meer onderzoeksgegevens beschikbaar moeten zijn.

In Figuur 11 is aangegeven welke effectparameters een effect door weg- en vliegtuiggeluid tijdens de slaap te zien hebben gegeven. Voor de parameters in de bovenste vier effecthokjes is voldoende bewijs, voor de parameters in het onderste effecthokje is beperkt bewijs.



Figuur 11 Resultaat van onderzoek naar beïnvloeding door nachtelijk weg- en vliegtuiggeluid van biologische parameters over een nacht (voor, tijdens, en na het slapen). Voor de parameters in de bovenste vier effecthokjes is voldoende bewijs, voor de parameters in het onderste effecthokje is beperkt bewijs.

3.3.7 *Biologische effecten als voorbode voor invloed op gezondheid en welbevinden*

Soms zijn er empirische gegevens dat een biologische effect door nachtelijk geluid op de lange duur, na herhaalde blootstelling, en onder bepaalde omstandigheden, gevolgen heeft voor gezondheid en welbevinden. Voor andere biologische effecten kan het bij het ontbreken van deze gegevens plausibel zijn dat chronische blootstelling aan geluid in de nacht tijdens de slaap leidt tot reacties in het lichaam die een aanwijzing vormen voor een negatieve invloed op gezondheid en welbevinden. In Tabel 6 geeft de commissie hierover haar mening.

Tabel 6 Biologische (fysiologische en psycho-fysiologische) effecten waarvoor voldoende en beperkt bewijs is dat ze door nachtelijk geluid optreden en de plausibiliteit dat het effect bij chronische blootstelling bijdraagt aan een negatieve invloed op gezondheid en welbevinden^a.

Variabele	Kans op negatief gevolg voor gezondheid en welbevinden
Moeite met inslapen, moeite met doorslapen	Empirische gegevens
Verandering in cardiovasculaire activiteit	Plausibel
Verhoogde motorische onrust (motiliteit)	Plausibel
Veranderingen in duur van diverse slaapstadia, in de slaapstructuur, fragmentatie van de slaap	Empirische gegevens
Veranderingen in (stress)hormoonconcentraties	Plausibel
Tussentijds en/of voortijdig ontwaken	Empirische gegevens
Slaperigheid/Vermoeidheid overdag en 's avonds	Plausibel
Verslechtering cognitieve taakuitvoering	Plausibel
Verslechtering stemming	Plausibel

^a Deze effecten treden ook op na één nacht. Er is geen empirisch bewijs en geen plausibiliteit dat het optreden van een effect gedurende één nacht leidt tot een effect op gezondheid en welbevinden. Deze effecten vallen alle in de categorie geen empirisch bewijs en geen plausibiliteit voor een effect op gezondheid en welbevinden.

3.4 Langetermijneffecten

Bij veldonderzoek onder mensen die elke nacht weer worden blootgesteld aan geluid, laten de effecten van één verstoorde nacht zich moeilijk scheiden van de langetermijneffecten. Veelal hangt het van de kennis van de geluidsbelasting af, welke relatie er wordt gelegd. Als er geluidsmetingen voor specifieke nachten voorhanden zijn, wordt het effect veelal gerelateerd aan die gegevens, als er alleen schattingen van de geluidsbelasting over langere termijn zijn, wordt de effectparameter beschouwd als representatief voor een langere periode. Het onderscheid is dan ook vooral uit het oogpunt van structurering van de onderzoeksgegevens van belang. De in 3.3 besproken gevolgen van beïnvloeding van de slaap door geluid kunnen dus ook gezien worden als langetermijn effecten, omdat de resultaten berusten op gegevens van personen met een chronische blootstelling aan omgevingsgeluid. Dat betekent dat de commissie de in Figuur 11 genoemde effecten ook als langetermijn effecten ziet.

3.4.1 Slapeloosheid

Een groep Japanse onderzoekers heeft onder 3600 volwassen Japanse vrouwen (20 tot 80 jaar) een vragenlijstonderzoek uitgevoerd naar de factoren die bijdragen aan slapeloosheid⁸⁹. Bij 11 procent van de onderzochte vrouwen kwam slapeloosheid voor. Slapeloosheid is in dit onderzoek gedefinieerd aan de hand van de ICD10-classificatie

van de WHO⁹⁰. Er is in de analyses rekening gehouden met diverse versturende variabelen, zoals leeftijd, aantal (jonge) kinderen in het gezin, sociale status, het onder medische behandeling zijn, regelmatige bedtijden, apneu-achtige klachten, en een ingrijpende negatieve gebeurtenis die de betrokkene minder dan een half jaar vóór het invullen van de vragenlijst was overkomen. De verhouding tussen het percentage slapeloze vrouwen in de drie meest belaste gebieden en het percentage in de minder belaste gebieden was respectievelijk 1,4 (2100 voertuigen per uur, *Lnight* in de ordegrootte van 65 dB(A)), 2,1 (2400 voertuigen per uur, *Lnight* in de ordegrootte van 67 dB(A)) en 2,8 (6000 voertuigen per uur, *Lnight* in de ordegrootte van 70 dB(A)). De meest frequente slaapklacht was moeite met inslapen.

Dat door slapeloosheid het verlies aan kwaliteit van leven substantieel kan zijn blijkt uit de kwaliteit van leven gewichten die geschat zijn door Stolk en van Busschbach^{91,92}. Zij geven slapeloosheid een kwaliteit van leven gewicht van 0,83. Dat betekent dat een jaar lijden aan slapeloosheid 0,17 DALY vergt.

Uit onderzoek naar het effect van vliegtuig- en wegverkeersgeluid op het inslapen en de duur van de inslaaptijd bleek dat deze aspecten statistisch significant verslechteren als de nachtelijke geluidsbelasting of de geluidsbelasting tijdens de periode van het inslapen toeneemt^{12,13,93,94}.

3.4.2 Hoge bloeddruk

In een longitudinaal onderzoek (Spandauer Gesundheits Survey)⁹⁵ wordt sinds 1982 om de twee jaar de gezondheidstoestand van volwassenen in de Berlijnse wijk Spandau onderzocht. Aan de negende ronde namen 2015 personen deel. Naast de gebruikelijke testen en vragen beantwoordden 1718 personen (85 procent) in deze ronde vragen over geluidhinder van weg-, rail-, en vliegverkeer, en van de industrie (zie bijlage D). Het gedeelte over het geluidsonderzoek betreft dus een cross-sectionele studie. De geluidsbelasting werd met behulp van geluidsmodellen geschat. De voor vliegtuiggeluid verrichte schattingen acht de commissie niet betrouwbaar; de schattingen voor wegverkeersgeluid wel. Ook werd incidenteel de belasting aan wegverkeersgeluid overdag en 's nachts bepaald. De behandeling van ziekten en aandoeningen in de periode van twee jaar sinds het voorgaande bezoek en in de gehele onderzoeksperiode werd op basis van een vraaggesprek met de deelnemers aan het onderzoek geïnventariseerd. Uit het onderzoek bleek dat, als rekening gehouden werd met andere factoren die een samenhang tussen aandoening en geluidsbelasting zouden kunnen verklaren, de prevalentie van hoge bloeddruk statistisch significant hoger lag bij bewoners met een *Lnight* door *wegverkeer* van meer dan 55 dB(A) dan bij bewoners met een *Lnight* door *wegverkeer* van minder dan 50 dB(A) (odds-ratio 1,9). De uitkomsten voor personen met een *Lnight*

van 50 tot 55 dB(A) bleken te liggen tussen die voor personen met een *Lnight* van meer dan 55 dB(A) en minder dan 50 dB(A). Er bleek geen statistisch significante samenhang tussen de prevalentie van hypertensie en wegverkeersgeluid *overdag*. De onderzoekers verklaren het verschil in samenhang tussen hypertensie en wegverkeersgeluid *overdag* en 's nachts uit het feit dat men zich overdag vaak elders bevindt en dat men 's nachts gevoeliger is voor geluid dan overdag.

De commissie acht bij de beoordeling van het resultaat van dit onderzoek met name de volgende aspecten van belang:

- De onderzochte eindpunten: de opgave van de deelnemers of ze onder behandeling waren in verband met aandoeningen en ziekten, zoals hoge bloeddruk. Dit kan een aanmerkelijke vertekening van de onderzoeksresultaten hebben gegeven. Hoewel in het rapport uitvoerig wordt ingegaan op het meten van onder meer de bloeddruk en het registreren van het gebruik van medicijnen, wordt daar bij de analyses geen gebruik van gemaakt. De commissie is van mening dat als dat wel was gebeurd, en te meer als de analyses alleen op gemeten bloeddruk en medicijngebruik zouden zijn gebaseerd, de zeggingskracht van het onderzoek veel beter zou kunnen zijn geweest
- De onderzoekers wezen er op dat de onderzochte populatie overwegend personen bevatte die zich zeer bewust waren van hun gezondheidssituatie. Het betreft dus een geselecteerde populatie; het is niet uit te sluiten dat ook daardoor vertekening is opgetreden. Immers, als er wel degelijk een effect door nachtelijk geluid op gezondheid en welbevinden is, waardoor de mensen niet goed in hun vel zitten, hebben ze de neiging om zichzelf allerlei kwalen toe te dichten die ze niet hebben. Dit zou dus een overschatting met betrekking tot het hebben van hoge bloeddruk onder de meest belaste groep gegeven kunnen hebben
- De ruwe uitkomsten voordat er rekening mee is gehouden dat andere factoren een vertekening hebben gegeven van de relatie tussen nachtelijke geluidsbelasting en de kans op een aandoening (confounding) staan niet in het rapport; het is dus moeilijk in te schatten wat het belang van deze factoren is geweest en of ze op een plausibele manier invloed hadden op de relatie tussen kans op hoge bloeddruk en nachtelijke geluidsbelasting.

Op basis van het bovenstaande is de commissie tot de conclusie gekomen dat, hoewel een relatie tussen nachtelijk geluid en verhoogde kans op hypertensie plausibel is, er voor een causaal verband op basis van de resultaten uit het bovenbesproken onderzoek onvoldoende bewijs is.

De commissie wijst er in dit verband op dat een internationale commissie van de Gezondheidsraad uit 1994 in haar rapport *Geluid en Gezondheid*² op basis van diverse, veelal Duitse, onderzoeken een causaal verband tussen de kans op hoge bloeddruk en een maat voor de geluidsbelasting *overdag* aannemelijk vond. Als waarnemingsniveau

werd een equivalent geluidniveau over de dag van 70 dB(A) genoemd. Er werd niet nagegaan of de nachtelijke geluidsbelasting wellicht (mede) verantwoordelijk was voor de verhoogde kans op hypertensie door de overigens zeer hoge geluidsbelastingen. De commissie acht het belangrijk dat nagegaan wordt of een nieuwe analyse van de gegevens, waarin de nachtelijke geluidsbelasting betrokken wordt, mogelijk is.

3.4.3 *Motorische onrust*

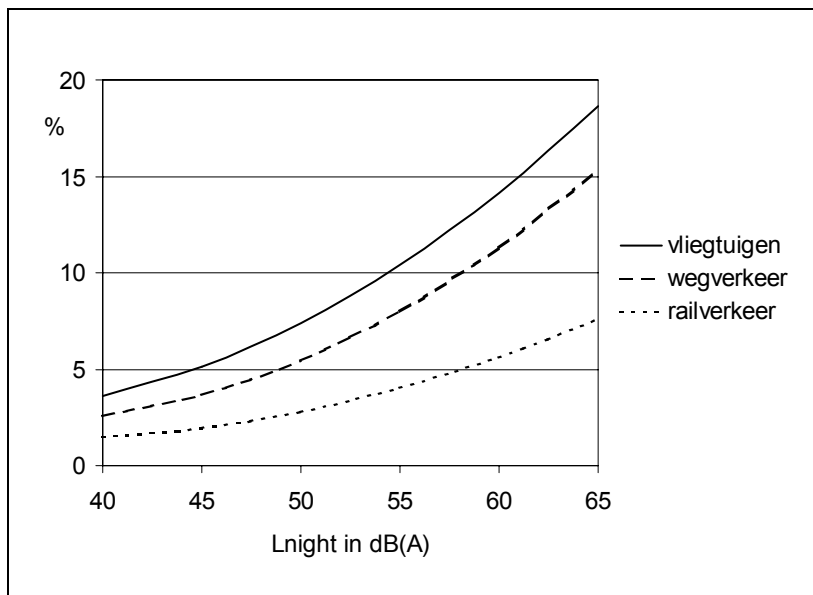
Uit Engels veldonderzoek naar het effect van vliegtuiggeluid op de slaap is gebleken dat de over de slaaperiodes gemiddelde kans op motiliteit (motorische onrust) toeneemt met de blootstelling aan vliegtuiggeluid⁹⁶. Horne vermeldt daarbij dat er een sterke samenhang is tussen de gemiddelde motiliteit en de ervaren slaapkwaliteit. Ook in het Nederlandse veldonderzoek naar het effect van vliegtuiggeluid op de slaap en in het Duitse onderzoek met betrekking tot het effect van wegverkeersgeluid is vastgesteld dat de gemiddelde motiliteit (motorische onrust) toenam met de geluidsbelasting tijdens de slaap^{12,13,79}. Er bleek geen samenhang tussen motorische onrust en railverkeersgeluid. De toename van de motorische onrust met *Li* van vliegtuig- en wegverkeersgeluid bleek ook veel groter dan verwacht moet worden op basis van de gecumuleerde momentane motiliteit door het geluid. De commissie acht dit verschijnsel verklaarbaar als zij aanneemt dat het fysiologische arousalniveau tijdens de slaap, ook in de perioden van de nacht dat er geen wegverkeers- of vliegtuigpassages zijn, verhoogd is door de chronische blootstelling. In het Nederlandse veldonderzoek naar het effect van vliegtuiggeluid op de slaap is vastgesteld dat de over nachten gemiddelde motorische onrust een sterke samenhang heeft met het aantal maal dat een deelnemer zich herinnert wakker te zijn geweest gedurende de slaaptijd, het aantal maal dat de deelnemer tijdens de slaaptijd gedragsmatig wakker was, en met een serie variabelen uit de door een deelnemer aan het begin van het onderzoek ingevulde vragenlijst. Die variabelen waren: het al dan niet gebruiken van een slaapmiddel; slaapkwaliteit; aantal slaapklachten; aantal maal ontwakken door vliegtuiggeluid; aantal maal per week een negatief effect van vliegtuiggeluid op de slaap; gezondheidsklachten volgens de verkorte VOEG-lijst.

De gevonden samenhang tussen motorische onrust en diverse negatieve gevolgen van nachtelijk geluid beschouwt de commissie als een sterke aanwijzing dat ook motorische onrust beschouwd moet worden als een negatief gevolg van blootstelling aan geluid tijdens de slaap.

3.4.4 *Zelfgerapporteerde slaapverstoring*

Op basis van het Kennis Bestand Verstoringen van TNO zijn blootstelling-responsrelaties opgesteld voor zelfgerapporteerde slaapverstoring door weg-, rail- en

vliegverkeer^{97,98}. In de betreffende TNO-rapporten zijn diverse beoordelingen van aspecten van de slaap verwerkt (last van tussentijds wakker worden, 's morgens te vroeg wakker worden, gehinderd door nachtelijk geluid). In analogie met hinder is volgens internationale afspraken iemand erg verstoord in de slaap als die op een schaal van 0 (helemaal geen slaapverstoring) tot 100 (extreme slaapverstoring) ten minste 72 scoort. De relaties zijn voor zelfgerapporteerde erge slaapverstoring gegeven in Figuur 12.



Figuur 12 Het percentage personen met erge hinder door vliegtuiggeluid, wegverkeersgeluid, en railverkeersgeluid als functie van L_{night} ^{97,98}.

Uit Figuur 12 blijkt dat vliegtuiggeluid iets meer zelfgerapporteerde erge slaapverstoring veroorzaakt dan wegverkeersgeluid bij eenzelfde L_{night} , en dat railverkeersgeluid van de drie verkeersbronnen de minste zelfgerapporteerde erge slaapverstoring geeft. De relaties stemmen zeer goed overeen met de voorlopige curven die in het advies van de Gezondheidsraad 'Omgevingslawaai beoordelen'⁸ zijn opgenomen.

Als gekeken wordt naar de relaties tussen L_{night} en het percentage personen met 'ten minste slaapverstoring' en 'ten minste enige slaapverstoring', dan is de onderlinge positie van wegverkeersgeluid en vliegtuiggeluid omgekeerd. De relatie voor vliegtuiggeluid is overigens een stuk onzekerder dan die voor weg- en railverkeersgeluid.

In het eerder genoemde RIVM-rapport⁶⁹ is nagegaan of het mogelijk was een kwantitatieve samenvatting (meta-analyse) te geven van de resultaten van vragenlijstonderzoek naar de invloed van wegverkeersgeluid op ervaren slaapkwaliteit en ontwaken. Hoewel de kwaliteit van diverse onderzoeken door het RIVM als goed werd omschreven, acht-

ten de onderzoekers het niet mogelijk om ze samen te voegen vanwege het uiteenlopen van definities, methoden, bepaling van de blootstelling, en het feit dat verstorende variabelen niet steeds volledig in aanmerking zijn genomen. Ze concluderen dat er wel aanwijzingen zijn dat wegverkeer leidt tot een slechtere ervaren slaapkwaliteit en in de nacht meer (of langer) wakker zijn.

Door Leidelmeier en Marsman⁹⁹ is een onderzoek gedaan naar het horen en de hinder van geluid van burens overdag en 's nachts op basis van interviews onder 1242 huishoudens in Nederland. Er is onderscheid gemaakt naar de plaats in het huis waar het geluid gehoord en er eventueel hinder van ondervonden werd. De ondervraagden bleken het minst tolerant te zijn over geluid van burens dat in de ouderslaapkamer gehoord wordt. De onderzoekers onderscheidden vijf soorten geluid. In het onderstaande tabelletje is opgenomen hoeveel procent van de ondervraagden het soort geluid 's nachts vanuit de buurwoning in de ouderslaapkamer hoorde:

- contactgeluid 22 procent
- sanitair- en installatiegeluiden 19 procent
- geluid van radio, tv en stereo 12 procent
- doe-het-zelf-geluiden 8 procent
- huisdieren 6 procent

Voor elk van de vijf typen geluid vond verder globaal 10 tot 15 procent van de ondervraagden het horen overdag niet acceptabel. Globaal vond bijna 30 procent van de ondervraagden dat 's nachts sanitair niet hoorbaar mag zijn, en voor elk van de overige vier typen geluiden gold een percentage van ongeveer 50.

In 1993 gaven Kranendonk en collega's een synthese van het tot dan verrichte onderzoek naar hinder door burengeluid¹⁰⁰ en in 1998 brachten Van Dongen en collega's¹⁰¹ een rapport uit over de relatie tussen het geluid uit buurwoningen en de lucht- en contactgeluidsisolatie-indices I_{lu} , $I_{lu;k}$, en I_{co} , op basis van een vragenlijstonderzoek onder de bewoners van 600 woningen, waarbij van 202 woningen tevens de akoestische kwaliteit is vastgesteld. De resultaten van beide onderzoeken stemmen redelijk goed met elkaar overeen (zie bijlage D). In beide onderzoeken werd de meeste hinder veroorzaakt door het hard aanstaan van radio, stereo, en tv, het horen en soms verstaan van stemmen, het slaan van deuren, loopgeluiden op vloeren en trappen. Uit beide onderzoeken bleek dat bij I_{lu} gelijk aan 0 (de eis waaraan nieuwbouwwoningen ten minste moeten voldoen) 10 procent van de ondervraagden ernstig gehinderd en 15 procent gehinderd werd door geluid uit buurwoningen. Deze cijfers hebben niet alleen betrekking op nachtelijk geluid, het gaat om hinder over het etmaal.

De commissie trekt op basis van de onderzoeksresultaten de conclusie dat de bestaande geluidsisolatie tussen woningen niet voldoende bescherming biedt om hinder door buurgeluiden te voorkomen. Aangezien de tolerantie voor buurgeluiden 's nachts veel geringer is dan 's avonds en overdag, mag aangenomen worden dat een substantieel deel van de hinder door buurgeluiden verklaard wordt door invloed op de slaap. De commissie komt hier bij de beantwoording van de vragen op terug.

3.4.5 *Gezondheidsklachten*

In het Nederlandse veldonderzoek naar het effect van vliegtuiggeluid op de slaap is een relatie vastgesteld tussen de individuele geluidsbelasting tijdens de slaap *Li* en het aantal gezondheidsklachten, die zijn bepaald met de zogenoemde verkorte VOEG-lijst^{12,13}. De VOEG-lijst is een uit stressonderzoek afgeleide lijst met dertien klachten over aspecten van gezondheid, zoals hoofdpijn, maagpijn, vermoeidheid, last van de maag. Het is dus niet een lijst waarmee levensbedreigende ziekten worden geïnterpreteerd. Als *Li* door vliegtuiggeluid toeneemt van 0 tot 35 dB(A) neemt het aantal klachten met 2 toe.

Diverse factoren die mogelijk een effect op de relatie zouden kunnen hebben, zoals tijdstip van ontwaken en stand van het slaapkamerraam, bleken niet met de relatie samen te hangen. De commissie beschouwt dit resultaat als een sterke aanwijzing dat nachtelijk vliegtuiggeluid het aantal gezondheidsklachten doet toenemen.

3.4.6 *Indienen van een klacht over nachtelijk geluid*

De commissie beschouwt het indienen van een klacht over omgevingsgeluiden ook als een symptoom van verminderd welbevinden. Het hangt van een veelheid van factoren af of mensen in een bepaalde situatie 'officieel' klagen over hinder en last van geluiden.

Daarom is het niet mogelijk om algemene uitspraken te doen op basis van bevindingen in bepaalde situaties. In Nederland kunnen onder meer klachten worden ingediend over geluid van vliegtuigen van en naar *Schiphol*, en over geluiden in de Rijnmond door onder meer weg-, rail- en vliegverkeer, evenementen, en de industrie. Daaruit blijkt dat geluidsgebeurtenissen gedurende de nacht relatief veel meer aanleiding geven tot het indienen van een klacht dan geluidsgebeurtenissen overdag (zie bijlage D).

3.4.7 *Gevolgtrekkingen*

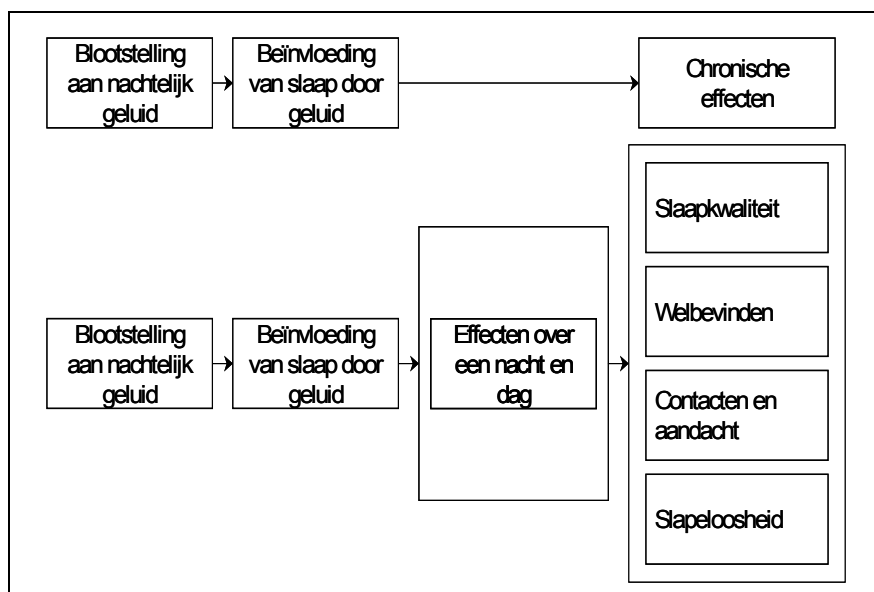
De commissie komt tot de volgende conclusies:

- Weg- en vliegverkeersgeluid gedurende de slaap hebben vanaf een bepaald niveau de volgende chronische gevolgen (de bewijskracht is tussen haakjes toegevoegd):
 - Slapeloosheid (voldoende bewijs)

- Toename motorische onrust (voldoende bewijs)
- Zelfgerapporteerde slaapverstoring (voldoende bewijs)
- Toename zelfgerapporteerde gezondheidsklachten (voldoende bewijs)
- Indienen van een klacht (voldoende bewijs)
- Verminderde slaapkwaliteit (voldoende bewijs)
- Toename van het gebruik van slaap- en kalmeringsmiddelen en van een beroep op de gezondheidszorg (voldoende bewijs)
- Verslechtering stemming overdag (beperkt bewijs)
- Verslechtering cognitieve prestaties (beperkt bewijs)
- Verslechtering sociale contacten (beperkt bewijs)
- Naar railverkeersgeluid is incidenteel onderzoek gedaan. De motorische onrust tijdens de slaap bleek niet waarneembaar verhoogd door dergelijke blootstelling. Het percentage personen met enige slaapverstoring, slaapverstoring, en zelfgerapporteerde erge slaapverstoring bleek bij eenzelfde *Lnight* iets geringer dan voor wegverkeersgeluid en vliegtuiggeluid
- Er is geen informatie over industriegeluid.

In Figuur 13 is het resultaat samengevat. Daarbij zijn de volgende samenvoegingen toegepast:

- Sociale contacten en concentratie: verslechtering sociale contacten en verslechtering uitvoering cognitieve taken
- Welbevinden: zelfgerapporteerde slaapverstoring, zelfgerapporteerde gezondheidsklachten, gebruik slaap- en kalmeringsmiddelen, stemming overdag
- Slaapkwaliteit: verminderde ervaren slaapkwaliteit, moeite met inslapen en doorslapen, ontwaken, verkorte slaaptijd, verhoogde motorische onrust tijdens de slaap.



Figuur 13 Resultaat van onderzoek naar beïnvloeding door nachtelijk weg- en vliegtuig-geluid van langetermijnparameters van gezondheid en welbevinden.

3.4.8 *Beïnvloeding van de slaap door geluid: overeenkomsten met slaapstoornissen en slaapproblemen*

In de voorgaande paragrafen werden onderzoeken naar de relatie tussen nachtelijke geluidsbelasting en kenmerken van slaap, gezondheid en welbevinden besproken. Deze kenmerken kunnen objectief gemeten (slaaplatentietijd; parameters van het EEG; motorische onrust; fysiologische en endocriene functies; verminderde taakuitvoering) of zelfgerapporteerd zijn (moeite met inslapen; moeite met doorslapen; verminderde slaapkwaliteit; tussentijds ontwaken; vermoeidheid/slaperigheid overdag; hinder door nachtelijk geluid; gezondheidsklachten; slapeloosheid). Een aantal van deze kenmerken is zeer verwant aan die van slaapproblemen en van slapeloosheid in de algemene bevolking (zie bijlage E). Hoewel de commissie zich realiseert dat het bij langdurige beïnvloeding van de slaap door nachtelijk geluid gaat om een omgevingsfactor die de slaap beïnvloed en bij slapeloosheid en andere slaapproblemen in de algemene bevolking wellicht vooral om persoonskenmerken, acht zij het aannemelijk dat dezelfde lichamelijke en geestelijke processen een rol spelen. Dat betekent dat het plausibel is dat verstoring van de slaap door omgevingsgeluid kan bijdragen tot het optreden van depressie bij vrouwen, hypertensie, hartziekten, en ongevallen tijdens het werk. Deze gevolgen zijn namelijk aangetoond bij mensen met slaapproblemen en slapeloosheid. In welke mate

omgevingsgeluid bijdraagt is niet bekend. Er is sprake van indirecte evidentie met beperkte bewijskracht.

Het is plausibel dat mensen die aan slapeloosheid lijden of een andere slaapstoornis hebben waardoor ze veelvuldig wakker liggen, een verhoogde kans hebben op hinder van nachtelijk geluid. Slapeloosheid komt in verhoogde mate voor bij mensen met lichamelijke pijn, dementie, depressie, hypertensie, hart- en longziekten, bij ouderen en bij vrouwen die zwanger zijn of die dat korter dan een jaar geleden geweest zijn. Leeftijd als zodanig is niet een bepalende factor voor het optreden van slapeloosheid en slaapproblemen, maar veel meer de cumulatie van een aantal met leeftijd samenhangende factoren, zoals gebrek aan fysieke activiteit, verandering van eet- en drinkgewoonten, ontevredenheid over de sociale omgeving, ziekten en aandoeningen (zie ook bijlage E).

Mensen die in ploegendienst werken slapen een deel van hun leven overdag. Omdat het overdag zowel in huis als buitenshuis over het algemeen veel lawaaiiger is dan 's nachts slapen mensen met wisselende diensten veelal onder slechtere omstandigheden dan anderen. Daar komt bij dat door de wisselende diensten het slaap-waakritme van mensen in ploegendienst in meer of mindere mate verstoord is, waardoor veelal ook hun slaapkwaliteit in de nachten dat ze niet werken, en dus wel kunnen slapen, verminderd is. Dat maakt mensen in ploegendienst extra gevoelig voor effecten van nachtelijk geluid.

De commissie meent dat er rekening mee moet worden gehouden dat de volgende groepen mensen een verhoogde kans hebben op nadelige gevolgen door nachtelijk geluid: ouderen; vrouwen die zwanger zijn of die dat korter dan een jaar geleden geweest zijn; mensen met nachtdiensten; mensen die lijden aan slaapstoornissen, lichamelijke pijn, dementie, depressie, hypertensie, hart- of longziekten.

3.4.9 *Bewijskracht*

In Tabel 7 vat de commissie haar bevindingen over de relaties tussen nachtelijk geluid tijdens de slaap en gezondheid en welbevinden samen. De effectparameters die de commissie heeft samengevoegd tot de vijf genoemde categorieën zijn apart benoemd en voor elke effectparameter is de bewijskracht gegeven voor een oorzakelijk verband met nachtelijke blootstelling aan geluid tijdens de slaap. De commissie vat de langetermijn gevolgen van blootstelling aan nachtelijk geluid tijdens de slaaperiode op gezondheid en welbevinden als volgt samen: er is voldoende bewijs voor een vermindering van slaapkwaliteit en van algemeen welbevinden, en beperkt bewijs voor verslechtering van sociale contacten en aandacht, verhoging van de kans op aandoeningen, en verlies van levensjaren door blootstelling aan nachtelijk geluid.

Tabel 7 Effecten op gezondheid en welbevinden door vele nachten blootstelling aan geluid tijdens de slaaperiode.

	Effectparameters	Evidentie
Slaapkwaliteit	Verminderde ervaren slaapkwaliteit	Voldoende bewijs
	Moeite met inslapen, moeite met doorslapen	Voldoende bewijs
	Slaapfragmentatie, verkorte slaaptijd	Voldoende bewijs
	Verhoogde motorische onrust tijdens de slaap	Voldoende bewijs
Welbevinden	Slaapverstoring	Voldoende bewijs
	Gezondheidsklachten	Voldoende bewijs
	Gebruik slaap- en kalmeringsmiddelen	Voldoende bewijs
	Stemming overdag	Beperkt bewijs, plausibel
Sociale contacten en concentratie	Verslechtering sociale contacten	Beperkt bewijs, plausibel
	Verslechtering uitvoering cognitieve taken	Beperkt bewijs, plausibel
Aandoeningen	Slapeloosheid	Voldoende bewijs
	Hoge bloeddruk	Beperkt, indirect bewijs, plausibel
	Depressie (bij vrouwen)	Beperkt, indirect bewijs, plausibel
	Hartziekten	Beperkt, indirect bewijs, plausibel
Verlies van levensjaren (vervroegde sterfte)	Ongevallen tijdens het werk	Beperkt, indirect bewijs, plausibel

3.5 Prevalentie en ziektelast

3.5.1 Maat en getal

De prevalentie van een effect door nachtelijk geluid in een aan nachtelijk geluid blootgestelde populatie is het verschil in het aantal (of percentage) mensen met dat effect in die populatie en het overeenkomstige aantal in een niet aan nachtelijk geluid blootgestelde populatie met verder overeenkomstige (persoons- en demografische) kenmerken.

Op basis van de omvang en de ernst van een effect wordt de ziektelast in een populatie vastgesteld. De ziektelast van een effect is een maat voor de vermindering door dit effect van het aantal gezonde levensjaren in een populatie, bijvoorbeeld uitgedrukt in DALY's (*Disability Adjusted Life Years*)^{33,102}.

Om een zeer globale schatting te maken van de prevalentie van effecten van nachtelijk verkeersgeluid op de slaap en gezondheid en welbevinden zijn allereerst gegevens nodig over de verdeling van de nachtelijke geluidsblootstelling in de Nederlandse bevolking. Die gegevens zijn, althans in de vorm van ruwe schattingen, bij het RIVM beschikbaar; zie bijlage G. Vervolgens kan met behulp van de in dit advies gegeven blootstelling-effectrelaties de prevalentie van een effect in de Nederlandse bevolking becijferd worden.

Voor het bepalen van de ziektelast van een effect is het nodig de gewichtsfactor voor het berekenen van de er mee samenhangende DALY's te kennen^{91,92}. Voor sommige effecten bestaat over deze gewichtsfactor nog geen wetenschappelijke consensus³².

3.5.2 *Biologische effecten*

De commissie heeft de biologische effecten ingedeeld in momentane effecten en effecten over één nacht (voor, tijdens en na het slapen).

Om de prevalentie van momentane effecten, zoals wakker worden door nachtelijk geluid tijdens het slapen, te schatten is het noodzakelijk om op landelijk niveau inzicht te hebben in de verdelingen van *SEL* of *LAm_{max}* van de verkeersgeluiden. Omdat de slaaptijden van de Nederlanders sterk variëren en het de voorkeur verdient om deze slaaptijden in de berekeningen te betrekken, zouden de verdelingen van de waarden van *SEL* of *LAm_{max}* bekend moeten zijn voor diverse perioden (bijvoorbeeld per uur) waarin de Nederlander slaapt (dat is dus veel langer dan van 23 uur 's avonds tot 7 uur 's morgens). Voor een enigermate betrouwbare schatting zou ook de verdeling van de gevelgeluidwering, waarbij rekening gehouden is met de raamstand van het slaapkamerraam, op nationaal niveau in rekening gebracht moeten worden. In een vereenvoudigd model zouden voor de slaaptijd en de gevelwering bepaalde gemiddelde waarden gehanteerd kunnen worden en zou een puntschatting van de prevalentie van een effect berekend kunnen worden, evenals puntschattingen bij iets andere gevelweringen en slaaptijden, om zodoende enig zicht te krijgen op de variatie die in het resultaat optreedt als deze factoren gewijzigd worden. Hoewel deze exercitie in principe uitvoerbaar lijkt, heeft de commissie niet de mogelijkheden om deze becijferingen uit te voeren.

3.5.3 *Gezondheid en welbevinden*

De commissie heeft geconcludeerd dat er voldoende bewijs is dat blootstelling aan nachtelijk geluid tijdens de slaaperiode de slaapkwaliteit en het algemeen welbevinden vermindert. Voor verslechtering van sociale contacten en aandacht, verhoging van de kans op bepaalde aandoeningen, en vroegtijdige sterfte door fatale ongelukken tijdens het werk is beperkt bewijs. Om tot die conclusie te komen zijn de onderzoeksresultaten van diverse effectparameters beoordeeld. Die effectparameters hangen met elkaar samen. Zo hangen moeite met inslapen en doorslapen sterk samen met ervaren slaapkwaliteit (alle drie effectparameters voor slaapkwaliteit). Zou derhalve de prevalentie van elke effectparameter berekend worden, zo dat al mogelijk zou zijn, en bij elkaar opgeteld, dan zou dat een overschatting van de gevolgen van nachtelijk geluid geven. Daarom kiest de commissie er voor om zich wat slaapkwaliteit en algemeen welbevinden betreft te richten op zelfgerapporteerde erge slaapverstoring. Voor deze parameter

zijn de blootstelling-effectrelaties voor geluid van zowel weg-, als rail- en vliegverkeer bekend. Omdat er voor sociale contacten, concentratie, hoge bloeddruk, en vroegtijdige sterfte door fatale ongelukken tijdens het werk slechts beperkt bewijs en over de mogelijke blootstelling-effectrelaties weinig bekend is, kan zij geen schatting over deze parameters maken. De commissie becijfert wel de prevalentie van slapeloosheid, maar benadrukt dat het, evenals bij zelfgerapporteerde erge slaapverstoring, slechts om een indicatieve schatting gaat. Daarom beperkt ze zich tot het geven van een orde van grootte.

Bij de schattingen is uitgegaan van gegevens van het RIVM over *Lnight* voor het jaar 2003; zie Bijlage G. Daarbij is gebruik gemaakt van de jaarbelastingen op woningen door zowel weg-, rail- als vliegverkeer (cumulatieve geluidsbelasting). Op basis van blootstelling-effectrelaties voor zelfgerapporteerde erge slaapverstoring door wegverkeersgeluid^{97,98} (zie Figuur 12)¹⁰ en slapeloosheid¹⁰³ is vervolgens de toename van de prevalentie door nachtelijk verkeersgeluid van de genoemde twee effecten in de Nederlandse bevolking in 2003 geschat. De resultaten staan in Tabel 8.

Tabel 8 Globale schatting van de prevalentie van erge slaapverstoring en slapeloosheid door nachtelijk verkeersgeluid bij de volwassenen in Nederland in 2003 (12,5 miljoen personen).

Gevolg	Prevalentieklasse*
Zelfgerapporteerde erge slaapverstoring	6
Slapeloosheid	5
Verhouding slapeloosheid en zelfgerapporteerde erge slaapverstoring	2%

* klasse 0: 0-1 persoon, klasse 1: 1-10 personen, klasse 2: 10-100 personen, klasse 3: 100-1000 personen, klasse 4: 1000-10 000 personen, klasse 5: 10 000-100 000 personen, klasse 6: 100 000-1 000 000 personen

Tabel 8 laat zien dat het aantal volwassenen in Nederland met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring in klasse 6 (100 duizend tot 1 miljoen volwassenen) valt. Voor slapeloosheid leveren de becijferingen beduidend lagere schattingen.

Voor het jaar 2000 heeft het RIVM schattingen gemaakt voor *Lnight* van de afzonderlijke geluidsbelastingen in Nederland aan weg-,rail- en vliegverkeersgeluid¹⁵. Op basis van deze afzonderlijke geluidsbelastingen aan weg-,rail- en vliegverkeersgeluid lag het geschatte aantal volwassenen met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring in Nederland in 2000 voor elk van deze drie verkeersbronnen in klasse 6 (meer dan 100 duizend volwassenen). Het aantal volwassenen met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring door het wegverkeer lag daarbij een factor 2 tot 4 hoger dan de aantallen voor rail- en vliegverkeer. De toename van het aantal personen dat aan slapeloosheid leed, lag naar schatting voor weg- en railverkeersgeluid in beide gevallen in klasse 4 (tussen de 1000 en

10000 personen) en voor vliegtuiggeluid (alleen berekend op basis van gegevens over de geluidsbelasting in de wijde omgeving rond Schiphol) in klasse 3 (tussen 100 en 1000 personen).

3.5.4 Ziekte­last

De laatste jaren zijn pogingen aangewend om de collectieve ziekte­last door omgevings­factoren in maat en getal uit te drukken, onder andere in zogeheten *disability adjusted life years* of DALY's^{32,34}; zie 2.3.3. Over haken en ogen die hieraan kleven zal de Gezondheidsraad naar aanleiding van vragen van de staatssecretaris van VROM een afzonderlijk advies wijden³⁸.

Om de ziekte­last te becijferen is het nodig te weten gedurende welke periode hoeveel mensen een bepaald effect ondervinden en hoe de ernst van die effecten moet worden beoordeeld. In de prevalentie­cijferingen hierboven heeft de commissie zich geconcentreerd op zelfgerapporteerde erge slaap­verstoring en slapeloosheid; daarmee heeft ze voor deze twee effecten het aantal personen en de duur geschat. Om de ziekte­last te berekenen betreft ze het 'gewicht' voor slapeloosheid (0,17) uit de publicatie van Stolk en collega's³⁷, hoewel ze beseft dat dat getal voor een ander doel is afgeleid. De Hollander heeft gepoogd de ziekte­last van slaap­verstoring te berekenen³². Deze auteur noemt gewichts­factoren tussen 0,01 en 0,1, maar geeft tevens aan dat nadere studie gewenst is.

Op basis van deze gegevens concludeert de commissie dat erge slaap­verstoring door nachtelijk verkeers­geluid in Nederland thans naar beste schatting tot een ziekte­last van verscheidene tienduizenden DALY's leidt. Het overeenkomstige getal voor slapeloosheid ligt zeker een orde van grootte lager. Daarmee vertegenwoordigt nachtelijk verkeers­geluid via beïnvloeding van de slaap een belangrijke factor binnen het geheel van de invloed van de fysieke omgeving op de gezondheid^{32,104}. De effecten van nachtelijk verkeers­geluid op gezondheid en welbevinden kunnen met andere gezondheidseffecten worden vergeleken op basis van dit soort ziekte­last­berekeningen. De commissie benadrukt dat een dergelijke vergelijking met grote omzichtigheid dient te gebeuren, gezien de onzekerheden die aan de schattingen kleven.

Akoestische overwegingen

Nachtelijk geluid in de woonomgeving bestaat vrijwel altijd uit een samenstel van afzonderlijke geluidsgebeurtenissen met uitzondering van bepaalde vormen van industriegeluid. In 4.1 gaat de commissie in op de wijze waarop het geluid van zulke geluidsgebeurtenissen gecombineerd wordt tot een totale geluidsbelasting over een nacht.

Geluiden zijn er in allerlei vorm: van laag gebrom tot de hoge C van een sopraan, van voortdurend geruis tot harde knallen, van kabbelen tot piepen en knarsen. Dat het karakter van het geluid de effecten ervan beïnvloedt, lijkt een redelijke vooronderstelling. De vraag is of het mogelijk is die karakteristieken in blootstelling-effectrelaties te verdisconteren, bijvoorbeeld door aanpassingsfactoren op de blootstellings- of geluidsmaat toe te passen. In het advies *Omgevingslawaaï beoordelen* (1997) is een commissie van de Gezondheidsraad uitgebreid op die vraag ingegaan (zie bijlage F voor een samenvatting)⁸. In 4.2 grijpt de commissie op dat eerdere advies terug.

In het slot van het hoofdstuk (4.3) komt de doelmatigheid en doeltreffendheid van woningisolatie voor het beperken van de invloed van geluid op de slaap aan bod.

4.1 Combinatie van geluidsgebeurtenissen en momentane effecten

4.1.1 Combinatie van geluidsgebeurtenissen

Voor nachtelijk omgevingsgeluid met apart te onderscheiden geluidsgebeurtenissen is *Lnight* een zogenoemde exponentiële sommatie van de *SEL*-waarden van die gebeurtenissen*.

Een bepaalde waarde van *Lnight* kan alleen door bepaalde combinaties van *aantal* geluidsgebeurtenissen en hun *SEL-waarde* tot stand komen. Omdat er voor een bepaald soort geluid, zoals een trein- of een vliegtuigpassage, een zeer hoge correlatie is tussen *SEL* en het maximale geluidniveau van een geluidsgebeurtenis (*LAmix*), liggen dus voor een gegeven waarde van *Lnight* ook de mogelijke combinaties van *aantal* en *LAmix* van die geluidsgebeurtenissen vast. Bijvoorbeeld, een *Lnight* van 35 dB(A) wordt bereikt door *één geluidsgebeurtenis per jaar* met *SEL* gelijk aan ongeveer 105 dB(A), door *één geluidsgebeurtenis per nacht* (nacht in nacht uit) met *SEL* gelijk aan ongeveer 80 dB(A) en *100 geluidsgebeurtenissen per nacht* (nacht in nacht uit) met *SEL* gelijk aan ongeveer 60 dB(A).

4.1.2 *Lnight* en effecten

Uit het voorgaande volgt dat, althans voor de eerder genoemde momentane effecten van nachtelijk geluid, de gevolgen bij een gegeven waarde van *Lnight* niet zonder meer vaststaan. Algemeen geldt dat in een situatie met minder gebeurtenissen met hogere niveaus de som van alle momentane effecten (over een jaar, want *Lnight* is een jaargemiddelde) minder is dan in een situatie met veel geluidsgebeurtenissen met lagere niveaus (maar wel boven de drempel van een effect). De meest ongunstige situatie (de meeste momentane effecten per jaar) wordt bereikt als we te maken hebben met een reeks gebeurtenissen met *SEL*-waarden die 4 à 5 dB(A) boven het waarnemingsniveau van het effect in kwestie liggen^{97,105,106}. Voor gedragsmatig ontwaken door het geluid van, bijvoorbeeld, vliegtuigen is dat dus het geval als alle vliegtuigen een *SEL binnen* (*SEL_i*) van ongeveer 60 dB(A) hebben, voor de kans op momentane motiliteit door het geluid van vliegtuigen als alle vliegtuigen een *SEL_i* van ongeveer 45 dB(A) hebben. Dat betekent dat bij een bepaalde *Lnight_i* de meest ongunstige situatie afhankelijk is van het beschouwde momentane effect.

* Het gestelde in deze paragraaf geldt zowel voor de buitenniveaus als de binnenniveaus (de grootheden met de toevoeging 'i'). Voor definities van de akoestische grootheden, zie tabel 1.

In Tabel 6 heeft de commissie aangegeven dat voortdurende blootstelling aan geluid in de nacht tijdens de slaap leidt tot een cumulatie van momentane effecten die een aanwijzing vormen voor een negatieve invloed op gezondheid en welbevinden. De commissie acht het plausibel dat voor de gevolgen van nachtelijk geluid die niet een optelsom zijn van momentane effecten, zoals vaak wakker door geluid, slaapverstoring en zelfgerapporteerde slaapkwaliteit, van twee reeksen geluidsgebeurtenissen die elk optellen tot een zelfde waarde van *Lnight*, de reeks met de meeste gebeurtenissen met een lager geluidniveau per gebeurtenis ook het grootste effect heeft.

4.1.3 *Gevolgen voor normering*

In het Gezondheidsraadadvies *Omgevingsgeluid beoordelen* van 1997 is *Lnight* voorgesteld als maat om blootstelling aan nachtelijk omgevingsgeluid te reguleren. In welke mate normering van *Lnight* bescherming biedt tegen de effecten van nachtelijke geluid tijdens de slaap hangt uiteraard af van de hoogte van de norm. Uit het voorgaande volgt echter dat er diverse situaties zijn die met de norm kunnen overeenkomen, maar dat uit oogpunt van effect op gezondheid en welbevinden de situatie met relatief veel gebeurtenissen van een relatief laag niveau het meest ongunstig is.

Meent men dat verdere inperking van de blootstelling nodig is en dat dat niet door een strengere norm voor *Lnight* is te bereiken, dan is beperking van het aantal geluidsgebeurtenissen het meest aangewezen. Beperking van *SEL* of *LAm_{ax}* van een geluidsgebeurtenis zal immers tot minder gunstige situaties kunnen leiden, tenzij men die grootheden tot in de praktijk onhaalbaar lage waarden limiteert. Voor nadere inperking komt dus in de eerste plaats limitering van het aantal gebeurtenissen in aanmerking.

Een extra reden om het aantal geluidsgebeurtenissen te beperking is gelegen in het volgende. Hoe *meer* geluidsgebeurtenissen (boven het waarnemingsniveau) per nacht des te groter is de kans dat men tijdens het ‘spontaan’ wakker zijn het geluid hoort, er eventueel door geërgerd wordt en niet meer kan inslapen. In 3.2 heeft de commissie aangegeven dat als alle perioden van ‘spontaan’ wakker zijn zouden overlappen met de tijd dat een geluidsgebeurtenis in de slaapkamer hoorbaar is, men in een extreem geval ongeveer tien maal een geluidsgebeurtenis zou horen, maar er niet wakker door geworden zijn.

4.1.4 *Conclusie*

Bij een gegeven *Lnight*, (of *Lnight_i*) treedt een momentaan effect door nachtelijk geluid het meest op als van de afzonderlijke geluidsgebeurtenissen *LAm_{ax_i}* of *SEL_i* ongeveer 5 dB(A) boven het waarnemingsniveau van dat effect ligt. Om deze slechtste situatie bij een gegeven *Lnight* te voorkomen zou overwogen kunnen worden om additi-

oneel aan normering van *Lnight* een grens te stellen aan het aantal geluidsgebeurtenissen. Beperking van het aantal geluidsgebeurtenissen heeft mede tot gevolg dat het horen van geluidsgebeurtenissen gedurende het ‘spontaan’ wakker zijn, en daarmee de slaapverstoring, wordt beperkt.

Of naast normering van *Lnight* een verdere inperking van het aantal geluidsgebeurtenissen nodig of wenselijk is, hangt af van de hoogte van de norm en het wenselijk geachte beschermingsniveau. De relaties voor momentane effecten en *SEL_i* die in dit advies zijn gegeven, maken het mogelijk hierover uitspraken te doen.

4.2 Geluidskarakteristieken

De commissie onderscheidt de volgende vormen van geluid die mogelijk een extra invloed op de effecten van geluidsblootstelling hebben:

- geluid met componenten met lage toonhoogte (gebrom)
- geluid dat uitsluitend uit één of meer lage bromtonen bestaat (laagfrequent geluid)
- geluid dat tonen bevat
- geluidsgebeurtenissen met een snelle toename van het geluidniveau aan het begin van de gebeurtenis (impulsgeluid)
- geluid van industriële activiteit
- geluid met sporadisch voorkomende, hoge waarden van *L_{Amax}* of *SEL*.

4.2.1 Geluid dat componenten met lage toonhoogte bevat

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat bij de bepaling van de geluidsblootstelling in het algemeen een zogeheten A-weging plaatsvindt, waarmee de frequentiegevoeligheid van het oor in rekening wordt gebracht. Er zijn echter aanwijzingen dat op die manier de rol van, in het bijzonder, de laagfrequente geluidscomponenten onvoldoende op waarde worden geschat. De zogeheten C-weging, waarbij, in tegenstelling tot de A-weging, de componenten met een lage toonhoogte niet veel minder meetellen dan die met een hoge toonhoogte, houdt hier rekening mee.

In Nederland is onderzoek gaande naar het verschil tussen de buitenshuis gemeten A-gewogen en C-gewogen equivalente geluidniveaus bij in de praktijk veel voorkomende situaties¹⁰⁷. De gemeten gemiddelde verschillen zijn voor vliegtuigen, vrachtwagens, goederentreinen, scheepvaart en industriële activiteiten respectievelijk 9, 7, 5, 14, en 13 dB en de *ranges* van de gemeten verschillen zijn respectievelijk 2–13, 2–15, 1–15, 9–21, en 6–24 dB. De geluiden van de scheepvaart en industriële activiteiten bevatten dus meer laagfrequente componenten dan die van weg-, rail- en vliegverkeer. De onderzoekers zijn van mening dat de verschillen binnenshuis veel groter zijn dan buiten de

woning als gevolg van de toonhoogte-afhankelijkheid van de geluidwering van de gevels van woningen.

In hoeverre geluidhinder en slaapverstoring extra beïnvloed worden door de lagerfrequente componenten is nog onderwerp van studie. De commissie verwacht dat de resultaten het inzicht in de bijdrage van lagerfrequent geluid aan hinder en slaapverstoring zullen vergroten, maar dat er geen substantieel effect op de thans vastgestelde blootstelling-responsrelaties zal zijn, omdat een eventueel extra effect van lagerfrequente geluidscomponenten al in die relaties verdisconteerd is. In de tendens van het gebruik van grotere vermogens schuilt het gevaar dat in de toekomst bepaalde geluidsbronnen veel meer laagfrequente geluidscomponenten zullen gaan bevatten, waardoor wellicht toch een aanpassing van de huidige blootstelling-effectrelaties nodig zal zijn.

4.2.2 *Laagfrequent geluid*

In het Gezondheidsraadadvies uit 1997 is na ampele overweging laagfrequent geluid niet in het beoordelingskader geïncorporeerd, omdat er geen betrouwbare schatting gemaakt kon worden van de voor laagfrequent geluid benodigde aanpassingsfactor. De commissie sluit zich daarbij aan, omdat er sindsdien geen nieuwe gegevens ter beschikking zijn gekomen. Dit houdt dus in dat de conclusies in dit advies niet zonder meer gelden voor laagfrequent nachtelijk geluid. Zij tekent daarbij aan dat laagfrequent geluid in de woonomgeving relatief weinig voorkomt, althans zij kent geen overheersende bronnen die veel voorkomen. Wel zal bij aanwezigheid van bronnen van laagfrequent geluid hinder en overlast naar verwachting vooral 's nachts optreden, omdat het laagfrequente geluid dan niet gemaskeerd wordt door hogerfrequente geluiden in de woonomgeving.

4.2.3 *Tonaal geluid*

Ook voor tonaal geluid zijn sinds 1997 geen nieuwe gegevens ter beschikking gekomen. De commissie neemt de aanbeveling uit het eerdere advies over om het equivalente geluidniveau met een waarde tussen 0 en 5 dB(A) te verhogen in geval van blootstelling aan tonaal geluid tijdens de slaap (zie Bijlage F). Overigens komt ook tonaal geluid in de woonomgeving slechts in uitzonderingsgevallen voor.

4.2.4 *Impulsgeluid*

Impulsgeluid is een geluid dat zeer snel aanzwelt, en voor het gehoor vrijwel direct op de maximale sterkte is, zoals bij schietgeluid of een laag overkomende straaljager. In de internationale standaard ISO 1996/01¹⁰⁸ uit 2002 is een beoordelingsschema voor impulsgeluid opgenomen dat goed aansluit bij de denkbeelden in het Gezondheidsraad-

advies van 1997. In het beoordelingsschema van ISO 1996/01 zijn aanpassingsfactoren van respectievelijk 5 en 12 dB(A) genoemd voor benoemde impulsgeluiden (laag overkomende straaljager, dichtslaande autodeur, kerkklok) en benoemde zeer impulsachtige geluiden (schietgeluid, metaalbewerking, pneumatisch hameren, rangeren op spoorwegemplacements). In ISO 1996/01¹⁰⁸ zijn de impulsgeluiden en zeer impulsachtige geluiden expliciet benoemd, aangezien er volgens de werkgroep die ISO 1996/01 voorbereidde te weinig goed interpreteerbare onderzoeksgegevens beschikbaar waren om de aanpassingsfactoren te kwantificeren in audiologische, fysische of akoestische termen. In het ISO-document is niet de in 1996 in de Amerikaanse Standaard ANSI S12.9¹⁰⁹ gegeven beoordelingsmethode, die berust op de stijgsnelheid van het geluidniveau aan het begin van een impulsgeluid, overgenomen. In Nederland is voor spoorwegemplacements wel een voorlopige beoordelingsmethode opgenomen, waarin de beoordeling van de stijgsnelheid van het geluidniveau aan het begin van een geluidsgebeurtenis overeenkomt met de in ANSI S12.9 gegeven methodiek¹¹⁰. De aanpassingsfactor is maximaal de eerder voor sterk impulsachtig geluid genoemde 12 dB(A).

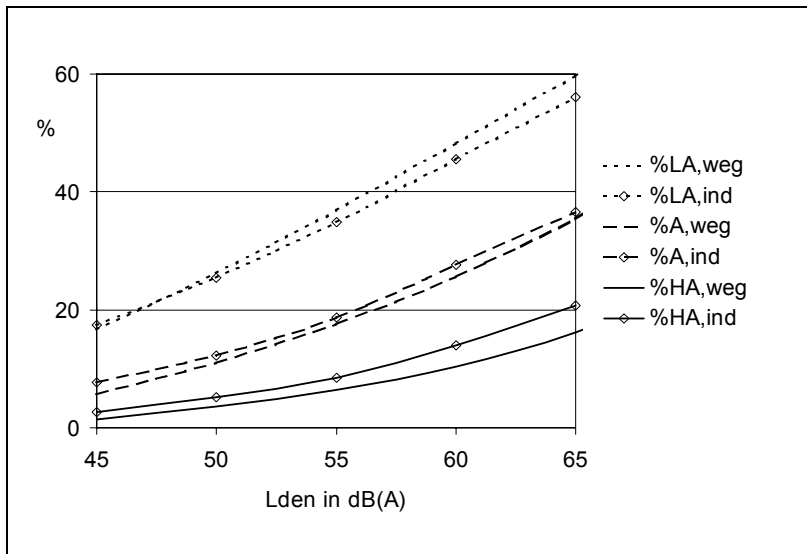
De aanpassingsfactoren van 5 en 12 dB(A) zijn afgeleid uit onderzoek naar hinder. Een verklaring voor de extra hinder door impulsgeluid is vermoedelijk gelegen in het schrikken door impulsgeluid¹⁰⁵. Onderzoek van Griefahn⁶⁵ (effect van schietgeluid in laboratoriumonderzoek), Vos¹¹¹ (effect van schietgeluid in veldonderzoek, zie Figuur 24 in Bijlage D), en Fidell⁴⁹ (militaire straaljagers in veldonderzoek, verwerkt door Paschier-Vermeer⁵², zie Figuur 22 in Bijlage D) laten zien dat geluidsgebeurtenissen die aan het begin snel in geluidniveau toenemen ook aanmerkelijk meer verstoring van de slaap geven dan de 'normale' omgevingsgeluiden.

4.2.5 Industriegeluid

In het Gezondheidsraadadvies van 1997 is met enig voorbehoud voorgesteld de equivalente geluidniveaus in geval van industriegeluid bij lagere geluidsbelastingen aan te passen met waarden tussen 0 en 10 dB(A). Dat voorstel was gebaseerd op overwegingen over geluidhinder in relatie tot de geluidsbelasting over het gehele etmaal. Recent onderzoek laat zien dat hiervoor geen onderbouwing is¹¹².

In Figuur 14 zijn de relaties voor hinder en industriegeluid uit het recente onderzoek van Miedema en collega's¹¹² en de relaties voor hinder en geluid door wegverkeer¹¹³ weergegeven. In de figuur zijn de percentages personen die erg gehinderd zijn door weg- of industriegeluid, de percentages personen die ten minste gehinderd zijn, en de percentages personen die ten minste enigszins gehinderd zijn uitgezet tegen *Lden*. Het blijkt dat de uitkomsten voor industrie- en wegverkeersgeluid vrijwel identiek zijn, en zeker niet de conclusie rechtvaardigen dat industriegeluid bij *Lden* tussen 40 en 60 dB(A) meer hinder veroorzaakt dan wegverkeersgeluid. De commissie meent dat daar-

mee ook de grond tot een aanpassing van het equivalente geluidniveau van *nachtelijk* industriegeluid is vervallen.



Figuur 14 Hinder door wegverkeersgeluid en industrieel geluid als functie van Lden^{112,113}. %HA is het percentage erg gehinderden, %A het percentage personen dat ten minste gehinderd is en %LA het percentage personen dat ten minste enigszins gehinderd is.

4.2.6 Sporadisch voorkomende, hoge waarden van L_{Amax} of SEL

De blootstelling-responsrelaties zijn afgeleid voor situaties waar de nachtelijke geluidsgebeurtenissen geregeld voorkwamen. De vraag laat zich stellen of de relaties nog steeds van toepassing zijn als het gaat om een sporadische geluidsgebeurtenis met een ten opzichte van het doorsnee-omgevingsgeluid hoge waarde van *SEL* en *L_{Amax}*. De commissie verwacht dat de kans op een *momentaan* effect (welk effect dan ook) groter zal zijn dan uit de relaties blijkt, omdat mensen in die situatie aan dergelijke gebeurtenissen niet gewend zijn, en angst hoogstwaarschijnlijk ook een rol speelt. Angst zal een des te grotere rol spelen als iemand het geluid associeert met eerder opgetreden gevaar voor zichzelf of anderen. Eén zo'n gebeurtenis kan ook gevolgen hebben voor het verdere verloop van de slaap in die nacht en in latere nachten. Er staan de commissie echter niet voldoende onderzoeksgegevens ter beschikking om deze veronderstellingen verder uit te werken.

Voor de zelfgerapporteerde effecten op de langere termijn (slaapkwaliteit, nachtelijk geluidhinder) wordt in vragenlijstonderzoek veelal een beoordelingsperiode van een jaar gehanteerd. De commissie kent geen onderzoek naar de specifieke effecten van geluids-

gebeurtenissen met een relatief zeer hoge waarde van *SEL* of *L_{Amax}* op deze zelfgerapporteerde parameters. Daarom kan de commissie geen wetenschappelijk verantwoorde uitspraak doen over een dergelijk effect.

4.2.7 *Conclusie*

Hoewel informatie over de invloed van blootstelling aan geluid met bijzondere eigenschappen op de slaap schaars is, meent de commissie dat er reden is te veronderstellen dat in sommige gevallen de effecten groter zijn dan bij blootstelling aan ‘regulier’ verkeersgeluid. Voor geluid met laagfrequente componenten, laagfrequent geluid, tonaal geluid, en impulsgeluid meent de commissie dat de conclusies in het Gezondheidsraadadvies *Omgevingslawaaï beoordelen* uit 1997 nog steeds hout snijden. De benodigde aanpassingsfactoren van de blootstellingsmaten staan in Bijlage F. Voor geluid van industriële activiteiten meent de commissie dat later onderzoek heeft aangetoond dat een aanpassingsfactor niet nodig is. Over de mogelijk extra gevolgen van zeldzaam voorkomende, zeer luide geluidsgebeurtenissen kan de commissie geen uitspraak doen.

4.3 **Doelmatigheid en doeltreffendheid van woningisolatie**

4.3.1 *Gegevens*

Naar de doelmatigheid en doeltreffendheid van geluidwerende voorzieningen op de beleving van wegverkeers- en vliegtuiggeluid en naar de beleving van geluidwerende voorzieningen is in Nederland slechts incidenteel onderzoek gedaan¹¹⁴⁻¹¹⁹.

Bitter en collega's onderzochten het effect van het aanbrengen van extra geluidwering aan flatwoningen langs drukke snelwegen in Dordrecht¹¹⁴ en Amsterdam¹¹⁵. Uit een beoordeling van bewoners 2,5 jaar na het aanbrengen van de extra isolatie bleek dat bij de helft van de bewoners de hinder door nachtelijk wegverkeersgeluid was weggenomen.

Van Dongen en collega's¹¹⁶ verrichtten een verkennend onderzoek naar de slaapkwaliteit in woningen met extra geluidwering in de omgeving van Schiphol. Bij vergelijking leken zelfgerapporteerde slaapverstoring en zelfgerapporteerde erge slaapverstoring van de mensen in de extra geïsoleerde woningen iets geringer dan in niet extra geïsoleerde woningen. De opzet van dit onderzoek laat echter geen definitieve conclusies toe.

Met betrekking tot de beleving in het algemeen van geluidwerende voorzieningen die zijn aangebracht aan woningen in de omgeving van Schiphol ter beperking van de geluidsoverlast door vliegtuigen, zijn tussen 1994 en 1999 drie rapporten verschenen¹¹⁷⁻¹¹⁹. Volgens 85 procent van de ondervraagden is door de geluidwerende voorzieningen

de hinder die binnenshuis wordt ervaren afgenomen. Toch bleef men in ruim 55 procent van de woningen ten minste enigszins gehinderd en in 15 procent van de woningen trad na het aanbrengen van de geluidwerende voorzieningen erge hinder op. De geluidhinder, ook de geluidhinder 's nachts, van vliegtuigen bleek duidelijk seizoensgebonden: tijdens een (koude) winter ondervond 10 procent vaak of altijd hinder bij het slapen, in een (warme) zomer 40 procent. Deze verschillen hingen nauw samen met het gebruik van de ramen: het percentage ondervraagden dat in de zomer of winter met een raam op kierstand of verder open sliep was respectievelijk 70 en 25 procent.

Ook in het buitenland heeft vrijwel geen onderzoek plaatsgevonden naar doelmatigheid van woningisolatie, met uitzondering van onderzoek door Fidell en Silvati¹²⁰, Utley¹²¹ en Minoura¹²².

Fidell en Silvati¹²⁰ hebben het effect van isolatiemaatregelen tegen vliegtuiggeluid op hinder onderzocht. Zij vroegen echter niet speciaal naar hinder tijdens de slaaperiode.

In Engeland heeft een uitgebreid onderzoek plaatsgevonden naar het effect van extra geluidsisolatie om de blootstelling aan wegverkeersgeluid te reduceren¹²¹. In de geïsoleerde huizen bleek ongeveer een kwart van de ondervraagden met de slaapkamer aan de straatkant zich “zeer sterk” of “sterk” te ergeren aan het nachtelijk wegverkeersgeluid; ook ongeveer een kwart had door het wegverkeersgeluid moeite met inslapen, en ruim een kwart werd in de nacht wakker door wegverkeersgeluid. Of men van mening was dat de slaapkamer met ongeopend raam in de zomer te heet was bleek een belangrijk effect op deze uitkomsten te hebben: 37 procent en 15 procent van de ondervraagden met de in de zomer te warme respectievelijk niet te warme slaapkamer bleek zich “zeer sterk” of “sterk” te ergeren aan het nachtelijk wegverkeersgeluid.

De door Minouri onderzochte situatie in de omgeving van een Amerikaanse luchtmachtbasis op een Japans eiland behandelt het effect van extra geluidwerende maatregelen in een zo zwaar belaste omgeving, dat de resultaten – die zeer teleurstellend genoemd mogen worden – niet toepasselijk zijn op enige situatie in Nederland.

Leidemeijer en Marsman⁹⁹ hebben het horen en de hinder van geluid van burens overdag en 's nachts onderzocht op basis van interviews onder 1242 huishoudens in Nederland. De onderzoekers onderscheidden vijf soorten geluid: sanitairgeluid, contactgeluid, geluid van audioapparatuur, doe-het-zelf-geluid, en geluid van huisdieren. Er is onderscheid gemaakt naar de plaats in het huis waar en het tijdstip waarop geluid gehoord en er eventueel hinder van ondervonden werd. De ondervraagden bleken het minst tolerant te zijn over geluid van burens dat in de ouderslaapkamer gehoord werd. Voor elk van de vijf typen geluid die onderzocht werden, vindt globaal 10 tot 15 procent van de ondervraagden het horen overdag niet acceptabel. In de avond nemen de percentages ondervraagden die een type geluid niet acceptabel vinden om te horen toe; de percentages zijn 's nachts (tussen 23 en 7 uur) het hoogst. Globaal vond bijna 30 procent

van de ondervraagden dat 's nachts sanitair niet hoorbaar mag zijn, en over elk van de overige vier typen geluiden was ongeveer 50 procent van de ondervraagden die mening toegedaan.

Er is ook gevraagd of men stemgeluid van buren in de woning kon horen. Gemiddeld (het percentage hangt af van het type huis) was gewone spraak in 35 procent van de woningen ten minste enigszins te horen, waarbij in ongeveer 8 procent van de woningen deels tot goed verstaanbaar. Werd met stemverheffing gesproken, dan was het spreken in ongeveer 65 procent van de woningen ten minste enigszins te horen, waaronder in 27 procent van de gevallen deels tot goed verstaanbaar (waaronder goed verstaanbaar in ongeveer 10 procent van de woningen van de ondervraagden).

In 1993 is door Kranendonk en collega's een synthese gegeven van tot dan verricht onderzoek naar hinder door burengeluid¹⁰⁰. Door TNO¹⁰¹ is een rapport uitgebracht over het geluid van buren en de geluidsisolatie op basis van een vragenlijstonderzoek onder de bewoners van 600 woningen. Zij stelden vast dat bijna de helft van de respondenten dagelijks geluiden uit buurwoningen hoorde. Ongeveer 10 procent van de ondervraagden ondervond erge hinder hierdoor. De meeste hinder werd veroorzaakt door het hard aanstaan van radio, stereo, en tv, het slaan van deuren, loopgeluiden op vloeren en trappen.

In beide onderzoeken komt men tot de conclusie dat bij een luchtgeluidsisolatie die in het Bouwbesluit¹⁴ als minimum voor nieuwe woningen geldt ($I_{lu,k}$ gelijk aan 0 dB(A)) 10 procent van de ondervraagden ernstig gehinderd en 25 procent gehinderd is door buurgeluid.

4.3.2 Conclusie

De commissie concludeert uit de schaarse gegevens dat het aanbrengen van extra geluidwering aan de woning enige invloed heeft om hinder door nachtelijk verkeersgeluid te verminderen. Zij is echter niet in staat dit positieve effect te kwantificeren. Wel is duidelijk dat extra geluidwering zonder een oplossing voor de temperatuurregeling in de slaapkamer, 's zomers weinig effect sorteert.

Bij het beoordelen van de doeltreffendheid en doelmatigheid van akoestische woningisolatie en dus ook bij onderzoek daarnaar acht de commissie nog de volgende overwegingen van belang:

- Bij een hoge geluidwering van de gevel en hoge buitenniveaus van de te bestrijden bron, dat wil zeggen een bron die veel luider is dan andere geluiden, is het enige dat men vanuit de buitenomgeving binnen nog hoort het geluid dat men bestrijdt
- De hoge isolatie voor buitengeluiden stelt ook eisen aan de geluidwering tussen woningen. Bij een matige geluidwering tussen woningen, hetgeen in Nederlandse

woningen frequent voorkomt, neemt maskering van geluiden uit buurwoningen (sanitaire voorzieningen, TV, radio, keukengeluiden, traplopen, feestjes, ruzie, stemmen) aanzienlijk af en het geluid uit buurwoningen kan dan gemakkelijker tot sociale spanningen leiden

- Veel mensen slapen graag met enigszins geopend raam. Het open laten van het raam doet het effect van de geluidwering van de gevel voor een deel teniet. Hoewel hiervoor wel technische oplossingen zijn, bijvoorbeeld een variabel ventilatiesysteem waarbij de grootte van de ventilatieopening gestuurd wordt door het (aan- en afzwelende) buitengeluid, worden deze oplossingen niet algemeen toegepast
- Zeer hoge gevelreducties kunnen leiden tot 'akoestische vervreemding'. Gewenste geluiden van buiten, zoals van spelende kinderen en het zingen van vogels, kunnen daardoor onhoorbaar worden. 'Akoestische vervreemding' lijkt de commissie voor nachtelijke buitengeluiden minder een probleem dan voor geluiden overdag.

De commissie is van mening dat de bestaande geluidsisolatie tussen woningen niet voldoende bescherming biedt om hinder door buurgeluiden te voorkomen. Aangezien de tolerantie voor buurgeluiden 's nachts veel geringer is dan 's avonds en overdag, mag aangenomen worden dat een substantieel deel van de hinder door buurgeluiden verklaard wordt door invloed op de slaap.

Beantwoording van de vragen

In dit hoofdstuk beantwoordt de commissie de vragen van de staatssecretaris. Zij baseert zich daarbij op de informatie uit hoofdstuk 3 en 4 en vat daarbij haar conclusies samen. Eerst wordt het antwoord in het in de in 2.4 geschetste kader geplaatst.

5.1 Algemene uitgangspunten

5.1.1 *Effecten van blootstelling aan geluid tijdens de slaap*

Bij het bestuderen van de gevolgen van blootstelling aan geluid tijdens de slaap hanteert de commissie het model van Figuur 3. Daarin treden biologische reacties op omgevingsgeluid op omdat het organisme, ook als het slaapt, ‘prikkel’ uit de omgeving beoordeelt en verwerkt. Voorbeelden zijn: wakker worden, moeilijker inslapen en toename van de motorische onrust tijdens het slapen. Het zijn effecten die zich direct, tijdens de blootstelling aan een geluid voordoen of die zich manifesteren op de tijdschaal van een nacht (voor, tijdens, en na het slapen). Zo’n biologisch effect kan een voorbode zijn van een effect op gezondheid en welbevinden op de lange termijn, al dan niet afhankelijk van aard en duur van de blootstelling. Op voorhand is dus niet zeker of biologische effecten door nachtelijk geluid leiden tot aantasting van gezondheid en welbevinden.

5.1.2 *Bewijskracht*

Om de (on)zekerheid in het verband tussen blootstelling en een aspect van gezondheid en welbevinden in kaart te brengen heeft de commissie drie categorieën van bewijs of evidentie gebruikt: voldoende, beperkt en onvoldoende bewijs; zie Tabel 2. Bij beperkt bewijs onderscheidt zij twee vormen:

- het verband is plausibel, en is in beperkte mate in epidemiologisch onderzoek waargenomen
- een direct verband tussen blootstelling en effect is in epidemiologisch onderzoek niet waargenomen, maar er is wel indirecte empirische evidentie van goede kwaliteit, terwijl een verband plausibel is. Er is sprake van indirecte evidentie als is waargenomen dat de blootstelling tot een intermediair effect leidt en in ander onderzoek is waargenomen dat het intermediaire effect tot het beschouwde effect leidt.

5.2 **Effecten van geluid tijdens de slaap**

Vraag 1: Wat zijn de optredende effecten van blootstelling aan geluid tijdens de slaap (zoveel mogelijk in kwantitatieve zin)?

Omgevingsgeluid kan worden onderverdeeld in geluid van verkeersbronnen (zoals vlieg-, weg-, en railverkeer), geluid van plaatsgebonden activiteiten (zoals van fabrieken en rangeerterreinen), buurtgeluid (vanuit een stadion, racecircuit, of evenementen in de open lucht) en burengeluid (contactgeluid, geluid van audioapparatuur, stemmen). Onderzoek naar de samenhang tussen kenmerken van slaap en gezondheid enerzijds en blootstelling aan nachtelijk geluid anderzijds is vooral gericht geweest op weg- en luchtverkeersgeluid. Dat wordt hierna eerst behandeld. Op geluid van railverkeer en van plaatsgebonden omgevingsbronnen, en op buurt- en burengeluid gaat de commissie verderop in.

De commissie onderscheidt biologische effecten en de gecumuleerde effecten op gezondheid en welbevinden van blootstelling door het slapen in een omgeving met nachtelijke geluiden. De laatste heeft de commissie in vijf categorieën ingedeeld: slaapkwaliteit, algemeen welbevinden, sociale contacten en concentratie, aandoeningen, en verlies van levensjaren.

5.2.1 *Biologische effecten van wegverkeersgeluid en vliegtuiggeluid*

Biologische effecten worden ingedeeld in effecten die momentaan (direct) optreden en effecten die betrekking hebben op een nacht (voor, tijdens en na het slapen).

Directe biologische effecten

Geluid tijdens de slaaperiode doet het lichaam direct reageren. Tabel 9 benoemt de effecten die zijn waargenomen als directe reactie op een geluidsgebeurtenis tijdens de slaap. Voor elk van deze effecten is er voldoende bewijs dat ze door nachtelijke geluidsgebeurtenissen optreden.

Tabel 9 Biologische directe effecten. Voor deze effecten is voldoende bewijs. In Tabel 1 is een omschrijving van de gebruikte termen opgenomen.

Effect

Cardiovasculaire veranderingen^a

Verandering slaapstadium van diepere naar minder diepe slaap

EEG-ontwaken

Motorische onrust

Begin van motorische onrust

Gedragsmatig ontwaken

^a In het advies wordt voornamelijk gesproken over hartslagversnelling. Ook voor vasoconstrictie en momentane toename in bloeddruk is voldoende evidentie.

De meeste van deze effecten zijn voldoende onderzocht om blootstelling-effectrelaties af te leiden. Die geven aan dat effecten als EEG-ontwaken en meer motorische onrust zich beginnen te manifesteren bij *SEL*-waarden in de slaapkamer van ongeveer 40 dB(A). Aan geluid gerelateerd bewust ontwaken treedt op bij *SEL*-waarden van 55 dB(A) en hoger. Deze waarden gelden voor volwassenen. Voor het afleiden van relaties voor kinderen zijn te weinig gegevens. Er wordt wel verondersteld dat een nachtelijk geluid tijdens de slaap ook een directe verandering geeft van (stress)hormoonconcentraties in het bloed, maar bewezen is dat niet. Dit is ook niet goed in een veldsituatie te onderzoeken, gezien het invasief karakter van de meetmethode.

Effecten voor, tijdens en na het slapen

Er is in epidemiologisch onderzoek een veelheid aan biologische effecten met betrekking tot één slaaperiode (voor, tijdens en na het slapen) waargenomen. Een deel ervan is rechtstreeks uit de directe reacties af te leiden: verhoging van de gemiddelde hartslag, verhoging van de motorische onrust, vaker gedragsmatig ontwaken, en langer tussentijds wakker volgens het slaap-EEG. De motorische onrust van mensen die aan nachtelijk weg- en vliegverkeersgeluid zijn blootgesteld, blijkt daarbij groter te zijn dan op basis van die directe reacties alleen zou worden verwacht. Ze hangt sterk samen met vaker wakker worden, slechtere ervaren slaapkwaliteit, en grotere slaperigheid overdag. Daarnaast hebben mensen die tijdens het inslapen aan weg- of vliegverkeersgeluid zijn

blootgesteld, of die een lawaaiige nacht vrezen meer moeite met inslapen. De effecten die zich na de slaaperperiode voordoen zijn vermindering van de ervaren slaapkwaliteit, verslechtering van de stemming (geïrriteerdheid) en verhoging van slaperigheid en vermoeidheid overdag. Voor al deze effecten is dus ‘voldoende bewijs’.

Er is beperkt direct bewijs dat onder bepaalde omstandigheden nachtelijk geluid de niveaus van (stress)hormonen tijdens de slaap beïnvloedt: dit effect werd waargenomen bij vrouwen die in de nacht gehinderd werden door geluid en die geen maatregelen wisten te nemen om die hinder weg te nemen. Om een beter gefundeerd oordeel over de invloed van geluid op (stress)hormoonniveaus te kunnen geven, moeten echter meer onderzoeksgegevens beschikbaar zijn.

In Tabel 10 geeft de commissie een overzicht van de onderzochte biologische effecten die samenhangen met blootstelling aan geluid gedurende een slaaperperiode en de mate van onzekerheid over het verband tussen blootstelling en effect. Ook is in de tabel aangegeven of de effecten een aanwijzing vormen voor een negatieve invloed op gezondheid en welbevinden.

Tabel 10 Onderzochte biologische (fysiologische en psycho-fysiologische) effecten na vele nachten chronische blootstelling, evidentie of een verband aangetoond is met blootstelling aan weg- en vliegverkeersgeluid en mate waarin er een aanwijzing is dat het biologische effect een aanwijzing vormt voor invloed op gezondheid en welbevinden.

Variabele	Evidentie van het effect	Aanwijzing voor invloed op gezondheid en welbevinden
Verandering in cardiovasculaire activiteit	Voldoende bewijs	Plausibel
Verhoogde motorische onrust (motiliteit)	Voldoende bewijs	Plausibel
Veranderingen in duur van diverse slaapstadia, in de slaapstructuur, fragmentatie van de slaap	Voldoende bewijs	Empirische gegevens
Verlenging van de inslaaptijd, moeite met inslapen	Voldoende bewijs	Plausibel
Veranderingen in (stress)hormoonniveaus	Beperkt bewijs, plausibel	Plausibel
Immuunfuncties	Onvoldoende bewijs	-
Tussentijds en/of voortijdig ontwaken	Voldoende bewijs	Empirische gegevens
Slaperigheid/Vermoeidheid overdag en ‘s avonds	Voldoende bewijs	Empirische gegevens
Verslechtering cognitieve taakuitvoering	Beperkt bewijs, plausibel	Plausibel
Verslechtering stemming	Beperkt bewijs, plausibel	Plausibel
Ergernis	Beperkt bewijs, plausibel	Plausibel

5.2.2 Gevolgen op gezondheid en welbevinden

Weg- en vliegverkeersgeluid

In Tabel 11 vat de commissie haar bevindingen samen voor het verband tussen nachtelijk weg- en vliegverkeersgeluid tijdens de slaap en gezondheid en welbevinden. De effectparameters die de commissie heeft samengevoegd tot de in de eerste kolom genoemde vijf categorieën zijn apart benoemd en voor elk van deze effectparameters is de bewijskracht gegeven voor een oorzakelijk verband met nachtelijke blootstelling aan geluid tijdens de slaap.

Tabel 11 Effecten op gezondheid en welbevinden door vele nachten blootstelling aan geluid tijdens de slaaperiode.

	Effectparameter	Evidentie
Slaapkwaliteit	Verminderde ervaren slaapkwaliteit	Voldoende bewijs
	Moeite met inslapen, moeite met doorslapen	Voldoende bewijs
	Slaapfragmentatie, verkorte slaaptijd	Voldoende bewijs
	Verhoogde motorische onrust tijdens de slaap	Voldoende bewijs
Welbevinden	Slaapverstoring	Voldoende bewijs
	Gezondheidsklachten	Voldoende bewijs
	Gebruik slaap- en kalmeringsmiddelen	Voldoende bewijs
	Stemming overdag	Beperkt bewijs; plausibel
Sociale contacten en concentratie	Verslechtering sociale contacten	Beperkt bewijs; plausibel
	Verslechtering uitvoering cognitieve taken	Beperkt bewijs; plausibel
Aandoeningen	Slapeloosheid	Voldoende bewijs
	Hoge bloeddruk	Beperkt, indirect, bewijs; plausibel
	Depressie bij vrouwen	Beperkt, indirect bewijs; plausibel
	Hartziekten	Beperkt, indirect bewijs; plausibel
Verlies van levensjaren (vervroegde sterfte) ^a	Ongevallen tijdens het werk	Beperkt, indirect bewijs; plausibel

^a Bij hartziekten is er ook verlies aan gezonde levensjaren. Daarmee is hier geen rekening gehouden omdat de evidentie voor hartziekten door nachtelijk geluid beperkt is.

De commissie vat de langetermijngevolgen van blootstelling aan nachtelijk geluid tijdens de slaaperiode op gezondheid en welbevinden als volgt samen. Er is voldoende bewijs voor een vermindering van slaapkwaliteit en van algemeen welbevinden. Beperkt bewijs is er voor verslechtering van sociale contacten en aandacht, verhoging van de kans op bepaalde aandoeningen, en verlies van levensjaren door fatale ongevallen op het werk.

Railverkeer en plaatsgebonden omgevingsbronnen

Epidemiologisch onderzoek naar effecten van railverkeersgeluid is beperkt tot zelfgerapporteerde slaapverstoring, veranderingen in het slaap-EEG en motorische onrust. In deze gevallen is bij dezelfde geluidsbelasting het effect van railverkeersgeluid iets geringer dan van wegverkeers- en vliegtuiggeluid. Hoewel voor een direct bewijs van andere effecten geen gegevens aanwezig zijn, acht de commissie het plausibel dat andere effecten eveneens door railverkeersgeluid kunnen optreden, maar mogelijk een andere relatie met de geluidsbelasting en andere waarnemingsniveaus hebben dan voor weg- en luchtverkeersgeluid is aangetoond.

Er is geen epidemiologisch onderzoek uitgevoerd naar gevolgen van nachtelijk geluid van plaatsgebonden omgevingsbronnen. Laboratoriumonderzoek geeft wel aanwijzingen dat de effecten van afzonderlijke geluidsgebeurtenissen, afkomstig van plaatsgebonden omgevingsbronnen, niet essentieel afwijken van die van weg- en luchtverkeersgeluid. Door de afwezigheid van epidemiologische onderzoeksresultaten kan de commissie geen uitspraak doen over effecten van continu geluid door plaatsgebonden omgevingsbronnen.

Buurt- en burengeluid

Inventarisatie-onderzoek in Nederland laat zien dat slaapverstoring door de meest hinderlijke vormen van buurt- en burengeluid (contactgeluid, menselijke geluiden in de omgeving) van dezelfde grootte is als die door de meest hinderlijke bronnen van wegverkeersgeluid (bromfietsen en personenauto's). Het is aannemelijk dat bij mensen die lange tijd in hun slaap gestoord worden op de lange duur ook andere effecten op gezondheid en welbevinden gaan optreden. Het geluidniveau (en andere geluidskarakteristieken) zal bij deze invloed een rol spelen, maar meer dan bij verkeersgeluid zijn andere factoren belangrijk. Tot die factoren zullen de appreciatie van het geluid en van de veroorzaker van het geluid behoren, naast de persoonlijke omstandigheden van de blootgestelde. De kennis over het relatieve belang en de wisselwerking van akoestische en niet-akoestische aspecten is echter onvoldoende om onderbouwde uitspraken te doen over de relatie van nachtelijk buurt- en burengeluid met gezondheid en welbevinden.

5.3 Gezondheidskundig perspectief

Vraag 2: Hoe verhouden deze effecten zich met andere gezondheidseffecten, zowel in ernst als in omvang van de effecten?

De commissie gaat er van uit dat de staatssecretaris bij de omvang van de effecten doelt op de omvang van de effecten in de Nederlandse bevolking. De omvang van de gevolgen van nachtelijk verkeersgeluid op gezondheid en welbevinden van de Nederlander heeft de commissie geschat voor zelfgerapporteerde erge slaapverstoring en slapeloosheid. De resultaten zijn gebaseerd op de cumulatieve geluidsbelasting door weg-, rail-, en vliegverkeersgeluid in 2003 (Bijlage G). Deze berekeningen zijn onvermijdelijk behept met grote onzekerheden. Daarom zijn de resultaten dan ook slechts als een indicatie te beschouwen.

Het aantal volwassenen in Nederland met erge slaapverstoring door verkeersgeluid ligt naar schatting tussen 100 duizend en 1 miljoen (volgens cijfers over 2003). De toename van het aantal volwassenen dat aan slapeloosheid lijdt door blootstelling aan nachtelijk verkeersgeluid is naar schatting tussen 10 duizend en 100 duizend. Het aantal personen dat door verkeersgeluid aan slapeloosheid lijdt, belooft 2 procent van de mensen met erge slaapverstoring.

Voor het jaar 2000 heeft het RIVM schattingen gemaakt voor *Lnight* van de afzonderlijke geluidsbelastingen aan weg-, rail- en vliegverkeersgeluid¹⁵. Op basis van die gegevens heeft de commissie becijferd dat voor elk van deze drie verkeersbronnen het aantal volwassenen met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring door verkeersgeluid in Nederland in dat jaar meer dan 100 duizend volwassenen bedroeg, en zeker niet meer dan 1 miljoen. De toename van het aantal personen dat aan slapeloosheid leed, lag naar schatting voor weg- en railverkeersgeluid in beide gevallen tussen de duizend en 10 duizend personen en voor vliegtuiggeluid in de wijde omgeving rond Schiphol tussen honderd en duizend personen.

De laatste jaren zijn pogingen aangewend om de collectieve ziektelast door omgevingsfactoren in maat en getal uit te drukken, onder andere in zogeheten DALY's. Over haken en ogen die hieraan kleven zal de Gezondheidsraad naar aanleiding van vragen van de staatssecretaris van VROM een afzonderlijk advies wijden. Op basis van informatie uit het proefschrift van de Hollander en door RIVM verstrekte geluidgegevens (Bijlage G) concludeert de commissie dat erge slaapverstoring door verkeersgeluid leidt tot een ziektelast van verscheidene tienduizenden DALY's. Het overeenkomstige getal voor slapeloosheid ligt zeker een orde van grootte lager. Ondanks alle onzekerheden die aan een dergelijke schatting kleven, lijkt ze wel uit te wijzen dat nachtelijk verkeersgeluid via beïnvloeding van de slaap een belangrijke factor vertegenwoordigt binnen het geheel van de invloed van de fysieke omgeving op de gezondheid.

De effecten van nachtelijk verkeersgeluid op gezondheid en welbevinden kunnen ook op basis van DALY's met andere gezondheidseffecten dan die door de fysieke omgeving worden vergeleken. De commissie benadrukt nogmaals dat een dergelijke

vergelijking met grote omzichtigheid dient te gebeuren, gezien de onzekerheden die aan de schattingen kleven.

5.4 Risicogroepen

Vraag 3: Zijn er specifieke risicogroepen waarmee rekening gehouden moet worden?

Zoals de commissie in Hoofdstuk 3 aangaf ondervindt niet iedereen bij dezelfde geluidsbelasting dezelfde gevolgen van blootstelling aan nachtelijk geluid tijdens de slaap. De vraag is dan of er bepaalde groepen te identificeren zijn die een verhoogd risico lopen. De commissie meent dat dat zo is, waarbij ze voor een verhoogde kans op effecten op gezondheid en welbevinden een beroep doet op vertaling van kennis uit het domein van slaapstoornissen en slaapproblemen in de algemene bevolking. Er is namelijk zeer weinig onderzoek naar effecten van nachtelijke geluidsbelasting dat directe gegevens heeft opgeleverd over risicofactoren bij bepaalde bevolkingsgroepen.

Hoewel de commissie het bewijs beperkt acht, wijst zij op de mogelijkheid dat personen met cardiovasculaire problemen, personen die zichzelf gevoelig voor geluid vinden, en kinderen, in het bijzonder gevoelig kunnen zijn voor het optreden van momentane cardiovasculaire effecten door nachtelijk geluid. Door de schaarste aan onderzoeksgegevens over kinderen kan de commissie geen uitspraak doen over hun eventuele gevoeligheid voor andere momentane biologische effecten.

Voor de effecten die over een nacht optreden, vormen mensen die lijden aan slapeloosheid een risicogroep. Mensen die zich bij het inslapen zorgen maken, hebben door omgevingsgeluid tijdens het inslapen nog langer nodig om in slaap te raken. Ook ervaren ze hun slaap als minder goed.

De commissie vindt het aannemelijk, hoewel hiervoor geen direct bewijs is, dat volwassenen die aan slapeloosheid lijden of een andere slaapproblemen hebben waardoor ze in de nacht veelvuldig wakker liggen, ten opzichte van goede slapers een verhoogde kans hebben op last van nachtelijk geluid in hun slaapkamer. De commissie acht het verder plausibel dat de volgende groepen volwassenen een verhoogde kans hebben op nadelige gevolgen van nachtelijk geluid op gezondheid en welbevinden: ouderen; zwangere vrouwen en vrouwen in de periode tot ongeveer een jaar na de zwangerschap; mensen met nachtdiensten; mensen met lichamelijke pijn, dementie, depressie, hypertensie, en hart- of longziekten. Naar een verhoogde kans op nadelige gevolgen van nachtelijk geluid op gezondheid en welbevinden van kinderen is geen onderzoek gedaan.

5.5 Bescherming tegen nachtelijk geluid

Vraag 4: Verdient het aanbeveling met het oog op effecten - in navolging van Richtlijn 2002/49 en de Luchtvaartwet- ook voor andere bronnen een aparte nachtbescherming in te voeren?

De commissie heeft aangegeven dat ze de vragen 1 tot met 3 naar de invloed van geluid op de gezondheid kon beantwoorden voor weg- en luchtverkeersgeluid, in zeer beperkte mate voor railverkeersgeluid en industriële activiteiten, en niet voor plaatsgebonden geluidsbronnen, buurt- en burengeluid. Ook bij de beantwoording van vraag 4 moet ze deze laatste geluidsbronnen buiten beschouwing laten.

5.5.1 Twee geluidsmaten

Er is geen doorslaggevende gezondheidkundige reden te bedenken waarom wegverkeer, railverkeer en industriële activiteiten anders zouden moeten worden behandeld dan luchtverkeer als bron van nachtelijk geluid. In het advies *Omgevingslawaai beoordelen* uit 1997 koos de Gezondheidsraad voor een stelsel van twee geluidsmaten ter bescherming van de bevolking tegen verkeers- en industriegeluid in de woonomgeving⁸. De commissie ziet geen reden van die eerdere aanbeveling af te wijken. Volgens de eerdere voorstellen moet een maat die de geluidblootstelling over een etmaal beschrijft representatief zijn voor algemene geluidhinder, terwijl de maat voor nachtelijk geluid een relatie moet hebben met slaapverstoring. Dat zo'n tweedeling zinvol is volgt ook uit het in Hoofdstuk 3 gegeven overzicht: de werkingsmechanismen en gevolgen van nachtelijk geluid komen niet of slechts in beperkte mate overeen met die van algemene geluidhinder.

Het thans door de Europese Unie aanbevolen stelsel van geluidsmaten bestaat uit *Lden* en *Lnight* (zie 2.2). Deze grootheden komen conceptueel vrijwel geheel overeen met de voorstellen in het Gezondheidsraadadvies⁸ uit 1997 overeen. Men zou zich opnieuw de vraag kunnen stellen of men (voor alle bronnen van geluid) niet met *Lden* kan volstaan. In *Lden* wordt immers nachtelijk geluid ook verdisconteerd, zelfs met een 'verzwarende' weegfactor. Ook geeft limitering van geluidsniveaus met behulp van *Lden* een limitering van *Lnight* tot een 5 dB(A) of meer lagere waarde dan *Lden**. Door het stelsel van twee maten kan men echter algemene geluidhinder en slaapverstoring met afzonderlijke criteria, toegesneden op de effecten in kwestie, adresseren. Dit leidt tot

* In het extreme geval, als al het geluid alleen tussen 23 en 7 uur zou opteden, is *Lden* 5 dB(A) hoger dan *Lnight*. ($Lnight = x$, $Lden = 10 \cdot \lg[8/24 \cdot 10^{0.25 \cdot (x+10)/10}] = x + 5$ (dB(A))). In de overige gevallen is *Lnight* meer dan 5 dB(A) lager dan *Lden*.

transparantere regelgeving en, vooral in situaties waar hoge waarden van *Lden* worden toegelaten, tot adequatere* beschermingsmaatregelen.

5.5.2 De beperkingen van de maat voor nachtelijk geluid

Hoewel de commissie hiervoor *Lnight* noemde als maat voor nachtelijk geluid, wil ze toch nog enkele opmerkingen maken over de beperkingen van deze grootheid.

Indien de geluidsblootstelling de bepalende factor is bij beïnvloeding van de slaap, dan is de geluidsbelasting die in de slaapkamer van de burgers is bepaald de grootheid die het meest direct in verband staat met de effecten. In Hoofdstuk 3 zijn daar voorbeelden van gegeven. Hoewel er voor nieuwbouwwoningen in het Bouwbesluit¹⁴ bepaalde eisen aan de geluidwering van de gevel worden gesteld, en daardoor indirect eisen aan de geluidsbelasting binnen (in de slaapkamer), gelden deze eisen niet voor oudere woningen. Daardoor is er bij dezelfde buitenbelasting over het algemeen een aanmerkelijke spreiding in de geluidsbelasting in de slaapkamer. Deze spreiding wordt nog aanmerkelijk vergroot door verschillen in ventilatiegedrag van de bewoners. Die spreiding in geluidsbelasting draagt bij aan het uiteenlopen van effecten in omvang en ernst bij een gegeven waarde van *Lnight*.

De slaaptijden van de Nederlandse burgers lopen sterk uiteen en er is een verschil in de slaaptijden gedurende het weekend en op werkdagen, in het bijzonder bij jongeren. Naar schatting slaapt ongeveer 15 procent van de volwassen Nederlanders al vóór 23 uur 's avonds en 50 procent nog na 7 uur 's morgens. *Lnight* is gedefinieerd voor de periode van 23 tot 7 uur en dekt daarmee zeker niet in alle gevallen en voor alle individuen de slaaperiode. Eisen aan *Lnight* bieden dus nooit een volledige bescherming tegen slaapverstoring.

Ondanks deze kanttekeningen stelt de commissie geen alternatief voor *Lnight* voor, omdat zij beseft dat het ondoenlijk is om alle denkbare factoren in regelgeving te adresseren. Daarbij meent de commissie dat regelgeving over nachtelijk geluid bij gebruik van *Lnight* (naast *Lden*) wel een grote mate van bescherming tegen geluid tijdens de slaap kan bieden. Of dit gebeurt hangt uiteraard af van normen en grenswaarden die in termen van *Lnight* geformuleerd en geïmplementeerd worden.

5.6 Maten voor nachtelijk geluid

Vraag 5: Zo ja, kan dan volstaan worden met *Lnight* of zijn aanvullende blootstellingsmaten nodig? Hierbij wordt in ieder geval gedacht aan impulsachtige geluiden en aan situaties met betrekkelijk zeldzaam voorkomende gebeurtenissen met een hoog niveau.

* Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan extra geluidwering voor de slaapkamer

Deze vraag valt uiteen in twee onderdelen:

- Is *Lnight* voor geluid zonder bijzondere kenmerken als enige blootstellingsmaat voldoende?
- Moet *Lnight* worden aangevuld met andere maten als het geluid betreft met bijzondere eigenschappen of in bijzondere situaties?

De basis voor het beantwoorden van deze vraag heeft de commissie besproken in respectievelijk, 4.1 en 4.2.

5.6.1 *Lnight als blootstellingsmaat*

De vraag is of naast regelgeving voor *Lnight* grenzen aan de individuele geluidsgebeurtenissen extra bescherming zouden geven. In eerste instantie kan daarbij gedacht worden aan beperking van het *maximale geluidniveau* van de geluidsgebeurtenissen en aan beperking van het *aantal* geluidsgebeurtenissen per nacht. In 4.1 beredeneert de commissie dat het niet realistisch is om een grenswaarde aan het maximale geluidniveau te stellen. Bij een gegeven waarde van *Lnight* zijn situaties met veel gebeurtenissen met een relatief lage *SEL* of *LAmx* in het algemeen ongunstiger is dan die met weinig gebeurtenissen met een hogere *SEL* of *LAmx*.

Hoe *meer* geluidsgebeurtenissen per nacht, des te groter is de kans dat men tijdens het ‘spontaan’ wakker zijn het geluid hoort, er door geërgerd wordt, en niet meer gemakkelijk inslaapt. Dat is wellicht mede een verklaring van de omvang van slaapverstoring, en zou een reden kunnen zijn om het aantal nachtelijke geluidsgebeurtenissen te begrenzen. In 3.2.4 heeft de commissie aangegeven dat het in een extreem geval zou kunnen voorkomen dat iemand zo’n tien maal per nacht een geluidsgebeurtenis hoort zonder dat het geluid de oorzaak van het wakker zijn is geweest. De commissie meent dat over dit onderwerp wel berekeningen mogelijk zijn, maar verwacht dat er teveel detailgegevens ontbreken om tot meer dan een ruwe inschatting te komen.

5.6.2 *Aanpassing Lnight in geval van speciale geluiden*

In 4.2 achtte de commissie de volgende ‘speciale’ geluiden relevant voor de nachtelijke woonomgeving:

- lagerfrequente geluidscomponenten (bijvoorbeeld het gebrom in het geluid van motoren)
- laagfrequent geluid (bijvoorbeeld van transformatoren)
- tonaal geluid (bijvoorbeeld van sirenes)
- impulsgeluid (bijvoorbeeld van laag overkomende straaljagers, schietgeluid)
- industriegeluid

- geluid met sporadisch voorkomende, hoge waarden van *L_{Amax}* of *SEL*.

Er is weinig informatie over de invloed op de slaap van blootstelling aan geluid met bijzondere eigenschappen. Toch veronderstelt de commissie dat in sommige gevallen de effecten groter zijn dan bij blootstelling aan ‘regulier’ verkeersgeluid. Voor geluid met laagfrequente componenten, laagfrequent geluid, tonaal geluid, en impulsgeluid sluit de commissie zich aan bij de conclusies in het Gezondheidsraadadvies *Omgevingslawaaï beoordelen* uit 1997. Dat houdt in dat zij voor geluid met laagfrequente componenten, tonaal geluid, en impulsgeluid aanpassingsfactoren voorstelt, en voor laagfrequent geluid geen aanpassingsfactor voor *L_{night}* kan afleiden. De benodigde waarden zijn gegeven in Bijlage F. Voor geluid van industriële activiteiten meent de commissie dat onderzoek uitgevoerd na 1997 heeft aangetoond dat aanpassingsfactoren, anders dan de hiervoor genoemden, niet nodig zijn.

Of sporadisch voorkomende, zeer luide geluidsgebeurtenissen bijzondere gevolgen hebben op de slaap is niet bekend. De commissie verwacht dat de kans op een direct effect (welk effect dan ook) groter zal zijn dan uit extrapolatie van de in dit advies gegeven relaties blijkt, omdat mensen aan dergelijke gebeurtenissen niet gewend zijn, en angst hoogstwaarschijnlijk ook een rol speelt. Eén zo’n gebeurtenis kan ook gevolgen hebben voor het verdere verloop van de slaap in die nacht en in latere nachten. Er staan de commissie echter niet voldoende onderzoeksgegevens ter beschikking om deze veronderstellingen verder uit te werken. Voor de zelfgerapporteerde effecten op de langere termijn (ontwaken, slaapkwaliteit, nachtelijke geluidhinder) wordt in vragenlijstonderzoek veelal een beoordelingsperiode van een jaar gehanteerd. De commissie kent geen onderzoek naar de specifieke effecten van geluidsgebeurtenissen met een relatief zeer hoge waarde van *SEL* of *L_{Amax}* op deze zelfgerapporteerde parameters. Daarom kan de commissie ook geen wetenschappelijk verantwoorde uitspraak doen over een dergelijk effect.

5.7 Beschermingsmaatregelen

Vraag 6: Kan de bescherming van de bevolking bereikt worden middels (prestatie- of ontwerp-)eisen aan woningen, middels persoonlijke beschermingsmiddelen, middels eisen aan niveaus buiten de woning, middels eisen aan voertuigen en andere apparaten, of een combinatie hiervan?

Het valt de commissie op dat de staatssecretaris voorlichting en communicatie niet noemt als beschermingsinstrumenten. Niettemin zullen die aspecten hier ook besproken worden, naast de in de vraag opgesomde instrumenten. Bij het beantwoorden van de vraag sluit de commissie aan bij de gebruikelijke milieuhygiënische en arbeidshygiënische strategie. Dat betekent dat allereerst geluidsvermindering aan de bron aan de orde

is (inclusief vermindering van het aantal bronnen), gevolgd door maatregelen in de overdracht van bron naar ‘ontvanger’ en dat ten slotte maatregelen aan de ‘ontvanger’ overwogen kunnen worden.

5.7.1 *Maatregelen aan de bron*

Het stellen van eisen aan geluidemissie veroorzakende onderdelen van vervoersystemen en industriële activiteit is in toenemende mate een internationale zaak. Zo geeft het ICAO-verdrag* voorschriften voor de geluidsproductie van vliegtuigen^{123,124}. De nieuwere vliegtuigen die voldoen aan de voorschriften voor *Chapter 3*, zijn bijvoorbeeld aanmerkelijk stiller dan de *Chapter 2*-vliegtuigen.** Het verminderen van het geluid van auto's en vliegtuigen kan soms ongunstig uitwerken op de wens de luchtverontreiniging door uitlaatgassen terug te dringen³⁸. Het stellen van ontwerpeisen aan voertuigen en andere apparaten op zich is niet voldoende: onderhoud en controle zijn noodzakelijk om te garanderen dat de geluidemissies in de praktijk aan de eisen blijven voldoen (denk aan bussen die na verloop van tijd meer geluid gaan produceren of aan het probleem van opgevoerde brommers en scooters). Overigens is technisch soms nog veel meer mogelijk dan wordt geëist en wordt door maatschappelijke voorkeuren (zoals *4-wheel drive*, brede banden) de ‘winst’ door technologische verbetering voor een deel te niet gedaan.

5.7.2 *Maatregelen in de overdrachtsweg*

Maatregelen om de overdracht van geluid van bron naar slapende burger te beperken zijn stedenbouwkundige uitwerkingen (oriëntatie gebouwen en slaapkamers, afstand houden tussen bron en woning), geluidsschermen en geluidswallen, overkappingen (tunnels) en woningisolatie. De commissie bespreekt alleen de laatste in meer detail.

In 4.3 vatte de commissie het onderzoek naar de effectiviteit van geluidsisolatie van woningen op de invloed van nachtelijk geluid samen. Gegeven de grote bedragen die aan extra akoestische isolatie van woningen worden besteed, acht ze het verbazingwekkend dat er zo weinig onderzoek is verricht naar de doeltreffendheid en doelmatigheid van de isolatieprogramma's. Nu valt er niet meer te zeggen dan dat het aanbrengen van geluidwering slaapverstoring door nachtelijk geluid vermindert. Ook is duidelijk dat extra beglazing van de slaapkamer zonder een oplossing voor de temperatuurregeling in de slaapkamer, 's zomers weinig effect sorteert, omdat mensen dan met geopend raam slapen.

* ICAO staat voor *International Civil Aviation Organization*

** verwijst naar Chapter 2 en naar Chapter 3 van Annex 16, Volume I van de ICAO-conventie

Uit inventarisatieonderzoek is gebleken dat veel Nederlanders last hebben van buurgeluiden. Dat wijt de commissie aan tekortkomingen in de bestaande geluidwering tussen woningen. Aangezien de tolerantie voor buurgeluiden 's nachts veel geringer is dan 's avonds en overdag, verwacht de commissie dat een substantieel deel van de hinder door buurgeluiden verklaard wordt door invloed op de slaap.

5.7.3 *Maatregelen bij de ontvanger*

Persoonlijke beschermingsmiddelen tegen nachtelijke geluiden zijn in de gehoorgang in te brengen middelen zoals oordoppen van schuimplastic, otoplastieken, voorgevormde oordoppen in diverse maten, en oorwatten*. Deze middelen kunnen in het geval van de lagere frequente verkeersgeluidsbronnen, mits goed aangebracht, 15 dB(A) of meer bescherming bieden. Sommige beschermingsmiddelen zijn zacht en hebben daardoor geen effect op het nachtelijke comfort van de drager.

Persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen kunnen alleen in een individueel geval soelaas bieden. De commissie acht ze niet geschikt als collectieve beschermingsmaatregel voor de algemene bevolking. Het gebruik ervan is in de privé-sfeer niet afdwingbaar via regelgeving. Het nadeel van het dragen van persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen is dat geluiden die men wel wenst te horen (partner, kinderen, wekker, inbrekers, sirenes) in voorkomende gevallen niet of minder goed kunnen worden waargenomen.

5.7.4 *Voorlichting en communicatie*

Zeker in geval van milieufactoren die de kwaliteit van de leefomgeving aantoonbaar nadelig beïnvloeden, zijn voorlichting en communicatie noodzakelijk om te komen tot doeltreffende en doelmatige inspanningen om de nadelige gevolgen binnen aanvaarde perken te houden. Voorlichting heeft een eenzijdig karakter van overheid of veroorzaker van het nadeel naar de getroffen burger. Communicatie is een tweezijdig proces dat veelal begint met luisteren naar de burger^{38,125,126}.

Op het gebied van de beïnvloeding van de slaap door geluid hebben de voorlichtings- en communicatie-inspanningen twee aspecten: informatie over de gevolgen en het wederzijds in overeenstemming trachten te brengen van de wetenschappelijke gegevens met de ervaringen van de burger, en informatie over de voor- en nadelen van maatregelen bij de bron, in de overdrachtsweg en bij de ontvanger.

* Oorkappen zijn in de praktijk 's nachts niet bruikbaar. Gewone verbandwatten geven geen enkele bescherming¹²³.

5.7.5 *Combinatie van maatregelen*

Uit het voorgaande blijkt dat onderzoeksgegevens naar doeltreffendheid en doelmatigheid van maatregelen schaars zijn, waardoor wetenschappelijk gefundeerde uitspraken over de uitwerking van een beschermingsregiem niet mogelijk zijn. Wel is het naar het inzicht van de commissie onvermijdelijk om zowel bij de bron als in de overdracht als in sommige gevallen bij de ontvanger te trachten te komen tot geluidsvermindering. De reden is immers dat elk van de maatregelen niet eenvoudig te realiseren is, nog los van de vraag over de doeltreffendheid en doelmatigheid. Ook spelen in de praktijk kostenvragen ('wie betaalt?' en 'wie is in staat om de prijs te betalen?') en discussies over de kwaliteit van de inrichting van de leefomgeving een voorname rol. Daarbij komt de groeiende mobiliteitsvraag, die een deel van de door de voortschrijdende technologie geboekte winst weer te niet doet.

Tot slot wijst de commissie er nog op dat beïnvloeding van de slaap door geluid geen geïsoleerd vraagstuk is. Geluid 's nachts gaat immers vrijwel altijd gepaard met geluid overdag. Niet alleen slapen sommige mensen overdag, al dan niet noodgedwongen, maar ook als men niet in slaap is, heeft geluid invloed op de gezondheid. Het vraagstuk van geluid in de leefomgeving is onderdeel van het meeromvattend probleem van de kwaliteit van de leefomgeving. Bij het oordeel over die kwaliteit en over de (positieve en negatieve) gevolgen voor gezondheid en welbevinden speelt een veelheid van factoren (zie Hoofdstuk 2). Het gaat dan zowel om kenmerken van de fysieke omgeving als om sociale factoren en gedrag. Hoe gecompliceerd dat ook is, het is wenselijk daarmee rekening te houden, hetgeen eens te meer het belang van 'communicatie' benadrukt.

5.8 **Aanbevelingen voor nader onderzoek**

De staatssecretaris vraagt niet naar knelpunten in het onderzoek naar slaap, gezondheid, en geluid. De commissie ziet het ook niet als haar taak om een programma van onderzoek voor te stellen, maar sluit dit advies af met een samenvatting van de belangrijkste hiaten in kennis, die zij hiervoor signaleerde.

In het *Actieprogramma gezondheid en milieu, uitwerking van een beleidsversterking*¹²⁷, dat in 2002 verscheen, wordt onder andere geconcludeerd dat ook in Nederland het onderzoek naar de relatie tussen milieu en gezondheid een nieuwe impuls nodig heeft. Het identificeert thema's waarvoor lacunes in kennis bestaan en geeft daarin globaal een rangorde aan. Over de uitwerking van een onderzoeksprogramma 'Milieu en Gezondheid' is aan de Gezondheidsraad advies gevraagd³⁸. In dat advies gaat de raad in op de hiaten in kennis over de invloed van milieufactoren op de

gezondheid en op onderzoek en advies om die hiaten te dichten. Eén van de besproken thema's is blootstelling aan geluid. Het advies komt tot de conclusie dat als gekeken wordt naar de mate van aantasting van de gezondheid de thema's buitenlucht, geluid en binnenmilieu bijzonder relevant zijn. Als hiaten in kennis over de gevolgen van blootstelling aan nachtelijk geluid worden genoemd het effect van de mate van isolatie en oriëntatie van de slaapkamer op de relatie tussen nachtelijke geluidsbelasting en gevolgen op gezondheid en welbevinden, de effectiviteit van geluidwerende maatregelen op de geluidsbelasting en slaapverstoring, de relatie tussen nachtelijke geluidsbelasting aan wegverkeer en effecten op slaap en gezondheid. Meer specifiek voegt de commissie daaraan toe:

- Onderzoek naar de langetermijngevolgen voor gezondheid en welbevinden waarin onderscheid gemaakt wordt tussen effecten door geluid tijdens de slaap en die door de geluidsbelasting overdag en 's avonds. Het meeste onderzoek naar bijvoorbeeld hoge bloeddruk, ischemische hart- en vaatziekten bij volwassenen en verminderde cognitieve prestaties door kinderen richtte zich uitsluitend op relaties met geluidsbelasting overdag (en 's avonds). Recent onderzoek geeft aanleiding te veronderstellen dat nachtelijk geluid en de effecten op en tijdens de slaap een veel prominere rol spelen^{82,95,128}. Kennis hierover is vooral belangrijk in verband met interventie maatregelen
- Onderzoek naar de effecten van nachtelijk geluid op kinderen. Er is nauwelijks kennis over dit onderwerp. Op korte termijn (medio 2004) komen de resultaten beschikbaar van het Europese project *Road traffic and Aircraft Noise exposure and children's Cognition and Health* (RANCH), een veldonderzoek naar het verband tussen blootstelling aan weg- en vliegverkeersgeluid in de woonomgeving en op school en effecten op de cognitieve prestatie, bloeddruk, algemene gezondheid, hinder en slaapverstoring. Dit onderzoek is echter niet ingericht om de biologische gevolgen van geluid tijdens de slaap van kinderen in kaart te brengen. Wel zal het informatie opleveren over de zelfgerapporteerde aspecten van nachtelijke geluids-blootstelling van kinderen
- Inventarisatie via vragenlijsten of veldonderzoek van slapeloosheid door blootstelling aan nachtelijk geluid, waarbij gebruik gemaakt wordt van het klinische begripkader. Hierdoor kan een noodzakelijke brug worden geslagen tussen het medische expertiseterrein van slapeloosheid en het milieugezondheidskundige.
- Onderzoek naar de doelmatigheid en doeltreffendheid van geluidwerende voorzieningen tussen woningen en van gevels. Van belang is tevens de oriëntatie van de slaapkamer ten opzichte van de geluidsbron en de invloed van het gedrag van bewoners op de doelmatigheid en doeltreffendheid van genoemde voorzieningen

- Onderzoek naar de effecten van buurt- en burengeluid. Dergelijk onderzoek zou in het bredere kader van onderzoek naar de kwaliteit van de leefomgeving geplaatst kunnen worden.

Bij het ontamen van onderzoek is het wenselijk aan te sluiten bij internationale kaders, zoals de Gezondheidsraad in het advies *Gezondheid en milieu: Kennis voor beleid* bepleitte.

Literatuur

-
- 1 Gezondheidsraad. Grote luchthavens en Gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad; 1999; Rapport 1999/14.
 - 2 Gezondheidsraad Commissie Noise and Health. Geluid en Gezondheid. Rijswijk: Gezondheidsraad; 1994; Rapport 1994/15.
 - 3 EU. Directive of the European Parliament and of the Council relating to the assessment and management of environmental noise. Joint text approved by the Conciliation Committee provided for in Article 251(4) of the EC Treaty. Brussel: The European Parliament, The Council; 8-4-2002; Document 2000/0194 (COD), PE-CONS 3611/02.
 - 4 EU WG2. Position Paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. 20-2-2002. Internet: www.europe.eu.int/com/environment/noise/noise_expert_network.pdf.
 - 5 Europese Commissie. Advies van de Commissie overeenkomstig artikel 251, lid 2, derde alinea, onder c) van het EG-Verdrag, over de amendementen van het Europees Parlement op het gemeenschappelijke standpunt van de Raad inzake het voorstel voor een Richtlijn van het Europees Parlement en de Raad inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai, houdende Wijziging van het Voorstel van de Commissie, overeenkomstig artikel 250, lid 2, van het EG-Verdrag. Brussel: Europese Commissie; 24-10-2001; Document COM(2001) 621 definitief. Internet: http://europa.eu.int/eur-lex/nl/com/pdf/2001/nl_501PC0621.pdf.
 - 6 Gezondheidsraad: Commissie Vliegtuiglawaai en slaap. Vliegtuiglawaai en slaap. Den Haag: Gezondheidsraad; 1991; Rapport 1991/05.
 - 7 Gezondheidsraad: Geluidhinder. Rapport Gezondheidsraad Commissie Geluidhinder en Lawaaaibestrijding. Den Haag: Gezondheidsraad; 1971; Rapport 1971/24.
 - 8 Gezondheidsraad: Uniforme geluiddosismaat. Omgevingslawaai beoordelen. Rijswijk: Gezondheidsraad; 1997; Rapport 1997/23.
-

- 9 Jong de RG, Steenbekkers JHM, Vos H. Hinder en andere zelf-gerapporteerde effecten van milieuverontreiniging in Nederland. Inventarisatie verstoringen 1998. Leiden: TNO-PG; 2000; Rapport PG/VGZ/2000.012.
- 10 Matser JJ, Eisses AR, Minnen E. Akoestisch onderzoek vrachtwagenbewegingen. Delft: TNO TPD, TU Delft; 1995; TPD-HAG-RPT-950085.
- 11 Jong RGd. Beoordeling van piekniveaus met betrekking tot vrachtverkeer. Leiden: TNO Preventie en Gezondheid; 1996.
- 12 Passchier-Vermeer W, Vos H, Steenbekkers JHM, van der Ploeg FD, Groothuis-Oudshoorn K. Sleep disturbance and aircraft noise. Exposure-effect relationships. Leiden: TNO-PG; 2002; Report nr 2002.027.
- 13 Passchier-Vermeer W, Miedema HME, Vos H, Steenbekkers JHM, Houthuijs D, Reijneveld SA. Slaapverstoring door vliegtuiggeluid. Delft: TNO-Inro; 2002; TNO Report nr 2002.028, RIVM report nr 441520019, 2002.
- 14 Ministerie van VROM. Bouwbesluit. 2004; <http://www.vrom.nl/Docs/wonen/bouwbesluitSTB.pdf>; geraadpleegd 04-01-2004.
- 15 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Ontwikkelingen Nachtelijke Geluidsbelastingen in Nederland, herziene versie 24-05-2004. Bilthoven: RIVM; 8-4-2002; RIVM briefrapport M/715120/01/BB-3 van 8 April 2002.
- 16 Goossen CM, Langers F. Alterra, eds. Geluidbelasting in het Centraal Veluws Natuurgebied; Een quick scan van de geluidbelasting in het Centraal Veluws Natuurgebied in zijn geheel en in afzonderlijke delen die belangrijk zijn voor recreatie. Wageningen: 2003; 798/JATW/08-2003. Internet: <http://www.alterra.nl>.
- 17 Hofman WF. Vliegtuiglawaai, slaap en gezondheid. Achtergrondstudie in opdracht van de Gezondheidsraad. Den Haag: Gezondheidsraad; 1991; Report A91/1.
- 18 Principles and Practise of Sleep Medicine. Kryger M, Roth T, Dement WC, editors, eds. Principles and Practise of Sleep Medicine. Philadelphia: W.B.SaundersCO, 2000.
- 19 Visser P, Hofman WF. Slapen en dromen, theorie en klinische praktijk. Alphen aan den Rijn: Samson Stafleu, 1986.
- 20 Hennevin E, Hars B, Maho C, Bloch V. Processing of leraned information in paradoxical sleep: relevance for memory. Behavioural Brain Research 1995; 96:125-135.
- 21 Karni A, Sagi D. The time course of learning a visual skill. Nature 1993; 365:250-252.
- 22 Karni A, Tanne D, Rubenstein BS, Askenasy JJM, Sagi D. Dependence on REM-sleep of overnight improvement of a perceptual skill. Science 1994; 265:679-682.
- 23 Stickgold R, James L, Hobson JA. Visual discrimination learning requires sleep after training. Nat Neurosci 2000; 3(12):1237-1238.
- 24 Stickgold R, Whidbee D, Schirmer B, Patel V, Hobson JA. Visual discrimination task improvement: A multi-step process occurring during sleep. J Cogn Neurosci 2000; 12(2):246-254.
- 25 Stickgold R. Watching the sleeping brain watch us - sensory processing during sleep. Trends Neurosci 2001; 24(6):307-309.
- 26 Stickgold R, Malia A, Fosse R, Propper R, Hobson JA. Brain-mind states: I. Longitudinal field study of sleep/wake factors influencing mentation report length. Sleep 2001; 24(2):171-179.
-

- 27 Stickgold R, Hobson JA, Fosse R, Fosse M. Sleep, learning, and dreams: off-line memory reprocessing. *Science* 2001; 294(5544):1052-1057.
- 28 Stickgold R. Finding the Stuff that Dreams are Made Of. *ScientificWorldJournal* 2001; 1(5):211-212.
- 29 Stickgold R. Toward a cognitive neuroscience of sleep. *Sleep Med Rev* 2001; 5(6):417-421.
- 30 Stickgold R, Fosse R, Walker MP. Linking brain and behavior in sleep-dependent learning and memory consolidation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2002; 99(26):16519-16521.
- 31 Stickgold R. EMDR: a putative neurobiological mechanism of action. *J Clin Psychol* 2002; 58(1):61-75.
- 32 Hollander de AEM. Assessing and evaluating the health impact of environmental exposures. Deaths, DALY's or Dollars. Universiteit van Utrecht, 2004.
- 33 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. van Oers JAM, eds. *Gezondheid op koers? Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2002*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu; 2002; RIVM-rapportnummer 270551001. Internet: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/270551001.pdf>, geraadpleegd op 19-6-2003.
- 34 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. *Milieubalans 2003*. Het Nederlandse milieu verklaard. Alphen aan de Rijn: Samson H.D. Tjeenk Willink bv; 2003., geraadpleegd op 18-4-2003.
- 35 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. *Milieubalans 2004*. Alphen aan de Rijn: Samson H.D. Tjeenk Willink bv; 2004.
- 36 Murray JC. Quantifying the burden of disease: the technical basis for disability-adjusted life years. *Bull World Health Organ* 1994; 72(3):429-445.
- 37 Stolk E, Poley M, Brouwer W, van Busschbach J. Proeftoetsing van het iMTA-model. Identificatie van aandoeningen met minimale ziektelast en proeftoetsing van de voor ziektelast gecorrigeerde doelmatigheidstoets. In: Toenders WGM, editor. *Vervolgonderzoek breedte geneesmiddelenpakket*. Amstelveen: College voor zorgverzekeringen, 2002.
- 38 Gezondheidsraad. *Gezondheid en milieu: Kennis voor beleid*. Den Haag: Gezondheidsraad; 14-10-2003; Publicatie nr 2003/20.
- 39 Campen van C, Hessing-Wagner J. *Gezondheid en zorg*. In: Roes T, editor. *De sociale staat van Nederland 2003*. Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau, 2003: 107-128.
- 40 Gezondheidsraad: Commissie Risicomaten en risicobeoordeling. *Niet alle risico's zijn gelijk*. Den Haag: Gezondheidsraad; 1995; Rapport 1995/06.
- 41 IARC IAfRoC, 12-6-1997. Preamble to the IARC Monographs. Internet: <http://193.51.164.11/monoeval/preamble.html>, geraadpleegd op 1-11-2003 2004.
- 42 Wiedemann PM, Mertens J, Schütz H, Hennings W, Kallfass M. *Risikopotenziale elektromagnetischer Felder: Bewertungsansätze und Vorsorgeoptionen*. Band 1. Endbericht für das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik; 2001; D 52425 2001-5. Internet: http://www.emf-risiko.de/pdf/heft_81.pdf, geraadpleegd op 3-3-2004.
- 43 Hill AB. The environment and disease: association or causation? *Proceedings R Soc Med* 1965; 58:295-300.
-

- 44 Weed DL. Interpreting epidemiological evidence: how meta-analysis and causal inference methods are related. *Int J Epidemiol* 2000; 29(3):387-390.
- 45 Weed DL. Underdetermination and Incommensurability in Contemporary Epidemiology. *Kennedy Institute of Ethics Journal* 2004; 7(2):107-127.
- 46 Thiessen GJ. Habituation of behavioural awakening and EEG measures of response to noise. In: *Proceedings ICBEN 1980*. 10. Rockville, Maryland: 1980: 397-400.
- 47 Maschke C, Harder J, Ising H, Hecht K, Thierfelder W. Stress hormone changes in persons exposed to simulated night noise. *Noise & Health* 2002; 5(17):35-45.
- 48 Pearsons KS, Barber DS, Tabachnick BG, Fidell S. Predicting noise-induced sleep disturbance. *J Acoust Soc Am* 1995; 97:331-338.
- 49 Fidell S, Pearsons K, Tabachnick B, Howe R, Silvati L, Barber DS. Field study of noise-induced sleep disturbance. *J Acoust Soc Am* 1995; 98(2 Pt 1):1025-1033.
- 50 Fidell S, Pearsons K, Tabachnick BG, Hower R. Effects of sleep disturbance of changes in aircraft noise near three airports. *J Acoust Soc Am* 2000; 107(5:1):2535-2547.
- 51 Ollerhead JB, Jones CJ, Cadoux RE. Report of field study on aircraft noise and sleep disturbance. London: Civil Aviation Authority; 1992.
- 52 Passchier-Vermeer W. Night-time noise events and awakening. Delft: TNO Inro; 2003; 2003.023.
- 53 Carter NL, Job RFS, editors. Awakening and motility effects of aircraft noise. *Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem*; Sydney: University of Sydney, 1998.
- 54 Horne JA, Pankhurst FL, Reyner LA, Hume KI, Diamond ID. A field of sleep disturbance: effects of aircraft noise and other factors on 5.742 nights of actimetrically monitored sleep in a large subject sample. *Sleep* 1994; 17:146-159.
- 55 Busby K, Pivik RT. Auditory arousal thresholds during sleep in hyperkinetic children. *Sleep* 1985; 8(4):332-341.
- 56 Eberhardt JL, Berglund B, Lindvall L, eds. The disturbance by road traffic noise on the sleep of prepubertal children as studied in the home. Stockholm: Building Research Sweden; 1988; *Proceedings of Noise as a public health problem*.
- 57 Lukas JS. Effects of aircraft noise on human sleep. *Am Ind Hyg Assoc J* 1972; 33(5):298-303.
- 58 Hofman WF, Kumar A, Tulen JHM. Cardiac reactivity to traffic noise during sleep in man. *J Sound Vib* 1995; 179(4):577-589.
- 59 Griefahn B, Gros E. Noise and sleep at home, a field study on primary and after-effects. *J Sound Vib* 1986; 105(3):373-383.
- 60 Griefahn B, Schuemer-Kohrs A, Schuemer R, Moehler U, Mehnert P. Physiological, subjective, and behavioural responses during sleep to noise from rail and road traffic. *Noise Health* 2000; 3(9):59-71.
- 61 Relationship between subjective and physiological assessments of noise-disturbed sleep.: 1973.
- 62 Muzet A. Habituation and age differences of cardiovascular responses to noise during sleep. *Sleep* 1981;212-215.
- 63 Spreng M. Central nervous system activation by noise. *Noise & Health* 2000;49-57.
-

- 64 Di Nisi J, Muzet A, Ehrhart J, Libert JP. Comparison of cardiovascular responses to noise during waking and sleeping in humans. *Sleep* 1990; 13(2):108-120.
- 65 Griefahn B. Die Wirkung von Schiessgeräuschen auf die Herzfrequenz im Schlaf. *Z Lärmbekämpfung* 1989; 36:61-65.
- 66 Öhrström E, Rylander R, Björkman M. Effects of night time road traffic noise - An overview of laboratory and field studies on noise dose and subjective sensitivity. *J Sound Vib* 1988; 127(3):441-448.
- 67 Carter NL, Henderson R, Lal S, Hart M, Booth S, Hunyor S. Cardiovascular and Autonomic responses to environmental noise during sleep in night shift workers. *Sleep* 2002; 25(4):457-464.
- 68 Smezcuk B. Studies on the influence of acoustic stimuli on respiratory movements. *Polish Med J* 1967; 7:1090-1100.
- 69 Franssen EAM, Kwekkeboom JMI. Effecten van geluid door wegverkeer op de slaap. Een systematisch review van studies in de woonomgeving. Bilthoven: RIVM; 2003; Report 715120010/2003.
- 70 Jurriëns AA, Griefahn B, Kumar A, Vallet M, Wilkinson RT. An essay in european research collaboration: common results from the project on traffic noise and sleep in the home. In: *Proceedings of the 4th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Torino: 1983: 929-937.
- 71 Kumar A, Tulen JHM, Hofman WF, van Diest R, Jurriëns AA. Does double-glazing reduce sleep disturbance during sleep? In: *Proceedings of the 4th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Torino: 1983: 939-949.
- 72 Vallet M, Gagneux JM, Blanchet V. Long term sleep disturbance due to traffic noise. *J Sound Vib* 1983; 90:173-191.
- 73 Wilkinson RT, Campbell KT. Effects of traffic noise on quality of sleep: assessment by EEG, subjective report, or performance next day. *J Acoust Soc Am* 1983; 75(2):468-475.
- 74 Öhrström E. Sleep disturbance, psycho-social and medical symptoms - a pilot survey among persons exposed to high levels of road traffic noise. *J Sound Vib* 1989; 133(1):117-128.
- 75 Öhrström E, Agge A, Björkman M. Sleep disturbances before and after reduction of road traffic noise. In: Carter NL, Job RFS, editors. *Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Sydney: University of Sydney, 1998: 451-454.
- 76 Öhrström E, Svensson H. Effects of road traffic noise on sleep. In: *Proceedings of the 8th International Congress on the Biological Effects of Noise ICBEN2003*, 2003.
- 77 Griefahn B, Möhler U, Schümer R.(Hrsg). *Vergleichende Untersuchung über die Lärmwirkung bei Strassen- und Schienenverkehr (Hauptbericht-Textteil, Kurzfassung, Abbildungen und Tabellen,Dokumentationsanhang)*. München: SGS; 1999.
- 78 Moehler U, Liepert M, Schümer R.(Hrsg), Griefahn B. Differences between Railway and Road Traffic Noise. *J Sound Vib* 2000; 231(3):853-864.
- 79 Passchier-Vermeer W, Vos H, Griefahn B, Moehler U. *Motility and road and rail traffic noise*. Delft: TNO-Intro; 2004; TNO Report nr 2004.xxx.
- 80 Smith AP, Nutt D, Wilson S. *Noise and insomnia: a study of community noise, sleep disturbance, noise sensitivity and subjective reports of health*. Cardiff: Centre for Occupational and Health Psychology, Cardiff University; 2001. Internet: <http://www.doh.gov.uk/hef/airpol/insomnia.pdf> (217 pag).
-

- 81 Babisch W. Stress Hormones in the Research on Cardiovascular Effects of Noise. *Noise Health* 2003; 5(18):1-11.
- 82 Babisch W, Fromme H, Beyer A, Ising H. Increased catecholamine levels in urine in subjects exposed to road traffic noise: the role of stress hormones in noise research. *Environ Int* 2001; 26(7-8):475-481.
- 83 Ising H, Braun C. Acute and chronic endocrine effects of noise: Reviw of the research conducted at the Institute for Water, Soil, and Air Hygiene. *Noise & Health* 2000; 7:7-24.
- 84 Osada Y, Tsunashima S, Yoshida K, Asano M, Ogawa S, et al. Experimental study on the influence of noise on sleep. *Bull Inst Public Health (Tokyo)* 1968; 17(3):208-217.
- 85 Osada Y, Tsunashima S, Yoshida K, Asano M, Ogawa S, et al. Sleep impairment caused by short time exposure to continuous and intermittent noise. *Bull Inst Public Health (Tokyo)* 1969; 18:1-9.
- 86 Osada Y, Tsunashima S, Yoshida K, Asano M, Ohokubo C. Effects of train and jet aircraft noise on sleep. *Bull Inst Public Health (Tokyo)* 1972; 21(3):133-138.
- 87 Osada Y, Ogawa S, Ohokubo C, Mizunami S. Experimental study on the sleep interference by train noise. *Bull Inst Public Health (Tokyo)* 1974; 23(3):171-177.
- 88 Born J, Fehm HL. The Neuroendocrine Recovery Function of Sleep. *Noise & Health* 2000; 7:25-37.
- 89 Kageyama T, Kabuto M, Nitta H, Kurokawa Y, Taira K, Suzuki S et al. A population study on risk factors for insomnia among adult Japanese women: a possible effect of road traffic volume. *Sleep* 1997; 20(11):963-971.
- 90 WHO. The ICD-10 classification of mental and behavioral disorders: clinical description and diagnostic guidelines. Geneva: World Healt Organization; 1992.
- 91 Stolk EA, Poley M, Brouwer W, Busschbach JJV, WGM.Toenders, eds. Proeftoetsing van het iMTA-model. Identificatie van aandoeningen met minimale ziektelast en proeftoetsing van de voor ziektelast gecorrigeerde doelmatigheidstoets. In *Vervolgonderzoek breedte geneesmiddelenpakket*. Amstelveen: College voor Zorgverzekeringen; 2002.
- 92 Stolk EA, Busschbach JJV. Economics and ethics in health care. Where can they meet?. In: C.Gastmans, editor. *Between Technology and Humanity*. Leuven: University Press, 2002: 49-66.
- 93 Langdon FJ, Buller IB. Road traffic noise and disturbance to sleep. *J Sound Vib* 1977; 50(1):13-28.
- 94 Belojevic G, Jakov, Jakovljevic B. Traffic noise and sleep disturbances with regard to age. In: Carter NL, Job RFS, editors. *Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem*. Sydney: University of Sydney, 1998: 451-454.
- 95 Maschke C, Wolf U, Leitmann T. Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose. Berlin: Umweltbundesamt; 2003; Forschungsbericht 298 62 515 UBA-FB 000387.
- 96 Horne JA, Reyner LA, Pankhurst FL, Hume KI. Patterns of spontaneous and evoked body movements during sleep. *Sleep* 1995; 18(3):209-211.
- 97 Miedema HME, Passchier-Vermeer W, Vos H. Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. Delft: TNO Inro; 2003; 2002.59.
- 98 Miedema HME. Self-reported sleep disturbance caused by aircraft noise. Delft: TNO Inro; 2004; 2004-15.
-

- 99 Leidelmeijer K, Marsman G. Geluid van buren. Horen, hinder en sociale normen. Amsterdam: RIGO; 1997; 97/65.
- 100 Kranendonk F, Gerretsen E, Luxemburg van LCJ. Akoestische kwaliteit van woningen versus de beleving van burengeluid. TNO-BOUW, TUE-Bouwkunde; 1993; 93-CBO-R3185.
- 101 Dongen JEFv, Vos H, Luxemburg LCJv, Raijmakers TMJ. TNO PG, eds. Dosis-effect relaties voor geluid van buren. Leiden: 3-1998; 98.002.
- 102 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Nationale Milieuverkenning 5: 2000 - 2030. Alphen aan de Rijn: Samson H.D. Tjeenk Willink bv; 2000. Internet: http://www.rivm.nl/milieu/milieubalans_verkenning/milieuverkenning/ , geraadpleegd op 18-4-2003.
- 103 Kageyama T, Nishikido N, Kobayashi T, Oga J, Kawashima M. Cross-sectional survey on risk factors for insomnia in Japanese female hospital nurses working rapidly rotating shift systems. *J Hum Ergol (Tokyo)* 2001; 30(1-2):149-154.
- 104 Hollander de AEM, Melse JM, Lebrecht E, Kramers PG. An aggregate public health indicator to represent the impact of multiple environmental exposures. *Epidemiology* 1999; 10(5):606-617.
- 105 Miedema HME, Passchier-Vermeer W. Beoordeling van geluidpieken in de woonomgeving. Leiden: TNO-PG; 1999; Report PG/VGZ/99.023.
- 106 Passchier-Vermeer W. Sleep disturbance due to nighttime aircraft noise. Leiden: 1994; Report nr 94.077.
- 107 Peutz & Associates. Eerste fase Inventarisatie Correctiefactor laagfrequent geluid. 2003; R 842-1.
- 108 ISO. Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment. Geneva: International Standards Organization; 2002; ISO/FDIS 1996-1.
- 109 ANSI. Quantities and procedures for the description and measurement of environmental sound - Part 4: Noise assessment and prediction of long-term community response. Washington: ANSI; 1996; Draft 6b ANSI S12.9-1996-Part 4.
- 110 V&W en VROM. Aanpak geluid spoorelementen. Den Haag: V&W en VROM; 22-12-2003.
- 111 Vos J. On the relevance of shooting-noise-induced sleep disturbance to noise zoning. In: Proceedings of the 8th International Congress on the Biological Effects of Noise ICBEN2003, 2003.
- 112 Miedema HME, Jong de RG, Cleij J, Steenbekkers JHM, Vos H, Oudshoorn CG. Relaties tussen geluidbelasting en hinder voor industrie- en rangeerterreinen. Delft: TNO Inro; 2002; 2002.53.
- 113 Miedema HME, Oudshoorn GCM. Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals. *J Acoust Soc Am* 2001; 109(4):409-416.
- 114 Bitter C, Kaper JP, Pinkse WAH. Beleving geluidwerende voorzieningen in de woonsituatie langs Rijksweg 16 in Dordrecht. Leidschendam: Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne; 1978; VL-DR-14-01.
- 115 Bitter C, Holst JHK, Kandelaar HAC, Schoonderbeek W. Beleving geluidwerende voorzieningen in de woonsituatie langs Rijksweg 10 in Amsterdam. Leidschendam: Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne; 1982; VL-DR-14-02.
- 116 Dongen van JEF, Vos H, Miedema HME. De zelf-gerapporteerde slaapkwaliteit in geluid-geïsoleerde woningen rond Schiphol. Leiden: TNO-PG; 1995; Report PG/VGZ/95.018.
-

- 117 Dongen van JEF, Steenbekkers JHM, Miedema HME. Waardering van geluidwerende voorzieningen in woningen rond Schiphol. Evaluatie door bewoners van voorzieningen in de eerste fase van het isolatieplan voor Schiphol. Leiden: TNO-PG; 1994; Report PG/VGZ/94.084.
- 118 Dongen van JEF, Miedema HME. De beleving van geluidwerende voorzieningen aan woningen rond Schiphol vóór en na een beleidswijziging. Leiden: TNO-PG; 1996; Report PG/VGZ/96.026.
- 119 Luxemburg van LCJ. Geluidisolatie woningen nabij Amsterdam Airport Schiphol, fase 3 een "satisfier for all" benadering. Eindhoven: TNO Bouw; 1999; 99-CBO-R037 LGL/DNA.
- 120 Fidell S, Silvati L. An assessment of the effect of residential acoustic insulation on prevalence of annoyance in an airport community. *J Acoust Soc Am* 1991; 89(1):244-247.
- 121 Utley WA, Buller IB, Keighley EC, Sargent JW. The effectiveness and acceptability of measures for insulating dwellings against traffic noise. *J Sound Vib* 1986; 109(1):1-18.
- 122 Carter NL, Job RFS, editors. Sleep disturbance reported around Kaneda U.S. airfield in the Ryukyus. Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem; Sydney: University of Sydney, 1998.
- 123 ICAO. Convention on International Civil Aviation, signed at Chicago, on 7 December 1944 (Chicago Convention). Montreal, Canada; International Civil Aviation Organization; 7-12-1944. Internet: <http://www.iasl.mcgill.ca/airlaw/public.htm#chicago>, geraadpleegd op 29-2-2004.
- 124 ICAO. Convention on International Civil Aviation, signed at Chicago, on 7 December 1944 (Chicago Convention), Annex 16, volumes I and II, Environmental Protection. Montreal, Canada; International Civil Aviation Organization; 1971., geraadpleegd op 29-2-2004.
- 125 Gezondheidsraad. Ongerustheid over lokale milieufactoren; risicocommunicatie, blootstellingsbeoordeling en clusteronderzoek. Den Haag: Gezondheidsraad; 3-4-2001; Publicatie nr 2001/10.
- 126 Minister van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Gezondheid en milieu (Actieprogramma gezondheid en milieu. Uitwerking van een beleidsversterking). Den Haag: SDU Uitgevers; 25-4-2002; Tweede Kamer, Vergaderjaar 2001-2002, 28 089, nr. 2.
- 127 Minister van Volkshuisvesting ROeM. Gezondheid en Milieu (Actieprogramma gezondheid en milieu. Uitwerking van een beleidsversterking). Den Haag: SDU Uitgevers; 2002; Tweede Kamer, Vergaderjaar 2001-2002, 28 089, nr. 2.
- 128 Babisch W. The Noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Noise Health* 2002; 4(16):1-11.
- 129 Carter NL, Inham P, Tran K, Hunyor S. A field study of the effects of traffic noise on heart rate and cardiac arrhythmia during sleep. *J Sound Vib* 1994; 169:211-227.
- 130 Pearsons K, Bennett R, Fidell S. Effects of cessation of late-night landings on behavioral awakening. Canoga Park: BNN Systems and Technologies Corporation; 1973; Report nr 2439.
- 131 Vallet M, Gagneux JM, Simonnet F. Effects of aircraft noise on sleep: an in situ experience. 1983; ASHA Reports (no 10).
- 132 Vernet M. Effects of train noise on sleep for people living in houses bordering the railway line. *J Sound Vib* 1979; 66(3):483-492.

- 133 Fidell S, Howe R, Tabachnick B, Silvati L, Sneddon M, Fletcher E. Field studies of habituation to change in nighttime aircraft noise and of sleep motility measurement methods. California: BBN Technologies; 1998; report no. 8195.
- 134 Fidell S, Howe R, Tabachnick BG, Pearsons K, Silvati L, Sneddon M et al. Field studies of habituation to change in nighttime aircraft noise and of sleep motility measurement methods. Canoga Park California: BBN; 1998; 8195.
- 135 Finegold LS, Elias B. A predictive model of noise induced awakenings from transportation noise sources. Dearborn (MI): 2002.
- 136 Thiessen GJ. Disturbance of sleep by noise. *J Acoust Soc Am* 1978; 64(1):216-222.
- 137 Thiessen GJ. Effect of traffic noise on the cyclical nature of sleep. *J Acoust Soc Am* 1988; 84(5):1741-1743.
- 138 Griefahn B, Jansen G. Disturbance of sleep by sonic booms. *Sci Total Environ* 1975; 4(1):107-112.
- 139 Griefahn B, Jansen G. EEG-responses caused by environmental noise during sleep their relationships to exogenic and endogenic influences. *Sci Total Environ* 1978; 10(2):187-199.
- 140 Carter NL, Inham P. A laboratory study of the effects of background noise level and number of truck noise events on sleep. Sydney National Acoustic Laboratories; 1995; Report 124.
- 141 Basner M, Buess H, Luks N, Maass H, Mawet L, et al. Nachtfluglärmwirkungen - eine Teilauswirkung von 64 Versuchspersonen in 832 Schlaflabornächten. Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.v.; 2001; Forschungsbericht 2001-26.
- 142 Bonnet MH. Differentiating sleep continuity effects from sleep stage effects (Letter to the editor). *J Sleep Res* 2001; 9:403-406.
- 143 Kawada T, Kiryu Y, Aoki S, Suzuki S. [Changes in the hypnograms of subjects exposed to repeated truck-passing sounds of 45, 50 and 55 dB (A)]. *Nippon Eiseigaku Zasshi* 1993; 48(5):932-938.
- 144 Kawada T, Suzuki S. Transient and all-night effects of passing truck noise on the number of sleep spindle. *Jpn J Psychiatry Neurol* 1994; 48(3):629-634.
- 145 Kawada T, Suzuki S. Instantaneous change in sleep stage with noise of a passing truck. *Percept Mot Skills* 1995; 80(3 Pt 1):1031-1040.
- 146 Kawada T, Suzuki S. Change in rapid eye movement (REM) sleep in response to exposure to all-night noise and transient noise. *Arch Environ Health* 1999; 54(5):336-340.
- 147 Ising H. Stressreaktionen und Gesundheitsrisiko bei Verkehrslärmbelastung. Berlin: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes; 1983.
- 148 Born J, Kern W, Bieber K, Fehm-Wolfsdorf G, Schiebe M, Fehm HL. Night time plasma cortisol secretion is associated with specific sleep stages. *Biol Psychiatry* 1986;1415-1424.
- 149 Carter NL. Some issues in noise-induced sleep disturbance. *Acoustics Australia* 1998; 26(2):49-52.
- 150 Harder J, Maschke C, Ising H. Längsschnittstudie zum Verlauf von Stressreaktionen unter Einfluss von nächtlichem Fluglärm. Berlin: Umweltbundesamt; 1999.
- 151 Carter NL, Hunyor S, Crawford G, Kelly D, Smith AJM. Environmental noise and sleep - a study of arousals, cardiac arrhythmia and urinary catecholamines. *Sleep* 1994; 17(4):298-307.
- 152 Babisch W, Ising H. Längsschnittstudie zu gesundheitlichen Auswirkungen des Lärms, Caerphilly (Wales)Traffic noise as a risk factor for myocardial infarction. Berlin: Umweltbundesamt; 1986.
-

- 153 Evans GW, Lercher P, Meis M, Ising H, Kofler WW. Community noise exposure and stress in children. *J Acoust Soc Am* 2001; 109(3):1023-1027.
- 154 Ising H, Ising M. Chronic cortisol increase in the first half of the night caused by road traffic noise. *Noise Health* 2002; 4(16):13-21.
- 155 Lercher P, Evans GW, Meis M, Kofler WW. Ambient neighbourhood noise and children's mental health. *Occup Environ Med* 2002; 59(6):380-386.
- 156 Evans A, Hygge S, Bullinger M. Chronic noise exposure and physiological stress. *Psychological Science* 1995; 6:333-338.
- 157 Evans GW, Bullinger M, Hygge S. Chronic noise exposure and physiological response: a prospective study of children living under environmental stress. *Psychological Science* 1998; 9:75-77.
- 158 Haines MM, Stansfeld SA, Head J, Berglund B, Job RF. A follow-up study of effects of chronic aircraft noise exposure on child stress responses and cognition. *Int Epidemiological Association* 2001; 30:839-845.
- 159 Haines MM, Stansfeld SA, Brentnall S, Head J, Berry B, Jiggins M et al. The West London School Study: the effects of chronic aircraft noise exposure on child health. *Psychological Medicine* 2001; 31:1385-1396.
- 160 Kastka J, Faust M, Weber K, Losberg S, Borsch-Galetke E. Cortisolausscheidung als Nachweis einer Stressreaktion von Anwohnern eines Grossflughafens. In: Rettenmeier AW, Feldhau C, editors. *Rindt, Fulda, 1999: 655-657.*
- 161 Schulte W, Otten H. Ergebnisse einer Tieffluglärmstudie in der Bundesrepublik Deutschland: Extraaurale Langzeitwirkungen. In: Ising H, Kruppa B, editors. *Proceedings of the International Symposium Berlin. Stuttgart: Gustav Fisher Verlag, 1993.*
- 162 Stansfeld SA, Brentnall S, Haines MM. Investigating the effects of noise exposure on stress hormone responses in children. In: Boone R, editor. *Proceedings Internoise 2001. The Hague: NAG, 2001.*
- 163 Ising H, Peines F, Meis M. Beeinflussung der Lebensqualität von Kindern durch militärischen Fluglärm. Berlin: Umweltbundesamt; 2002.
- 164 Eberhart JL, Akxelsson KR. The disturbance by road traffic noise on the sleep of young male adults as recorded in the home. *J Sound Vib* 1987; 114(3):417-434.
- 165 Öhrström E, Björkman M. Sleep disturbance before and after traffic noise attenuation in an apartment building. *J Acoust Soc Am* 1983; 73(3):877-879.
- 166 Labiale G, Vallet M. Comparatative study of effeects of noise on sleep in the laboratory and at home. *Travail Humaine* 1984; 47(2):143-154.
- 167 Schnelle JF, Alessi CA, Nahla R, Al-Samarrai MA, Frickler RD, Ouslander JG. The Nursing Home at Night: Effects of an Intervention on Noise, Light, and Sleep. *J Am Geriatrics Soc* 1999; 47:430-438.
- 168 Reyner LA. Sleep disturbance and daytime sleepiness in normal subjects. Loughborough: Loughborough University of Technology; 1995.
- 169 Reyner LA, Horne JA. Gender- and age-related differences in sleep determined by home-recorded sleep logs and actimetry from 400 adults. *Sleep* 1995; 18(2):127-134.
- 170 Maschke C, Wolf U, Leitmann T. Epidemiological examinations to the influence of noise stress on the immune system and the emergence of arteriosclerosis. Berlin: Robert Koch-Institut; 2002.
-

- 171 Carter NL, Job RFS, editors. Cardiovascular response to environmental noise during sleep. Proceedings of
the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem; Sydney: University of Sydney, 1998.
- 172 Rylander R, Berglund K, Sorensen S. [Human reactions after sonic boom exposure--experience from
Swedish field studies]. Nord Hyg Tidskr 1973; 54(1):1-5.
- 173 Flindell IH, Bullmore AJ, Robertson KA. Aircraft Noise and Sleep. 1999 UK Trial Methodology Study.
Southampton: ISVR; 2000; Report 6131 R01.
- 174 Passchier-Vermeer W. Aircraft noise and sleep: study in the Netherlands. In: Proceedings of the 8th
International Congress on the Biological Effects of Noise ICBEN2003, 2003.
- 175 Bullen R, Hede A, Williams T. Sleep disturbance due to environmental noise: a proposed assessment index.
Acoustics Australia 1996; 24(3):91-96.
- 176 Carter NL, Job RFS, editors. A practical index for assessment of sleep disturbance. Proceedings of the 7th
International Congress on Noise as a Public Health Problem; Sydney: University of Sydney, 1998.
- 177 Fican. Effects of Aviation Noise on Awakenings from Sleep. 6-1997. Internet: [http://www.fican.org/pages/
sleepdst.html](http://www.fican.org/pages/sleepdst.html).
- 178 Finegold LS, Harris S, von Gierke HE. Community Annoyance and Sleep Disturbance: Updated Criteria for
Assessing the Impacts of General Transportation Noise on People. Noise Control Eng J 1994; 42(1):25-30.
- 179 Finegold LS. Sleep disturbance due to transportation noise. In: Proceedings of the 8th International
Congress on the Biological Effects of Noise ICBEN2003, 2003.
- 180 Wiechen CMAGv, Franssen EAM, Jong RGd, Lebre E. Aircraft noise exposure from Schiphol Airport: A
relation with complaints. Noise & Health 2002; 5(17):23-34.
- 181 Wiechen CMAGv. Complaining about aircraft noise. State-of-the-art around Amsterdam Airport Schiphol.
In: Proceedings of the 8th International Congress on the Biological Effects of Noise ICBEN2003, 2003.
- 182 TNO-PG en RIVM. Hinder, slaapverstoring, gezondheids- en belevingsaspecten in de regio Schiphol,
resultaten van een vragenlijstonderzoek (Annoyance, sleep disturbance, health and experience aspects in the
Schiphol region: results of a survey). Leiden/Bilthoven: 10-1998; TNO:98.039 RIVM: 441520010.,
geraadpleegd op .
- 183 DGL Milieu. Nachtvluchten en Schiphol. Den Haag: DGL; 2004; [www.luchtvaartbeleid.nl/dgl/milieu/
bkginfo/nachtvluchten1.asp](http://www.luchtvaartbeleid.nl/dgl/milieu/
bkginfo/nachtvluchten1.asp).
- 184 DCMR Milieudienst Rijnmond. Geluidklachten Rijnmond. 2004.
- 185 Miedema HME. Geluidmaten voor vliegverkeer. Leiden: NIPG TNO; 1993; 93.085.
- 186 Kok Md. GGD Noord-Kennemerland, eds. Geluidhinder en slaapverstoring in Noord-Kennemerland;
Omnibusonderzoek 2000. Alkmaar: 10-2000; 2000. Internet: <http://www.ggd-alkmaar.nl>.
- 187 American Psychiatric Association. Quick reference to the diagnostic criteria from DSM-IV. Washington
D.C.: American Psychiatric Association; 1994.
- 188 Nederlandse Vereniging voor Psychiatrie. Beknopte handleiding bij de Diagnostische Criteria van de DSM-
IV. Lisse: Swets & Zeitlinger; 2004.
- 189 Monroe LJ. Psychological and physiological differences between good and poor sleepers. J Abnormal
Psychology 1967; 72(255):264.
- 190 Spielman AJ. Assessment of insomnia. Clinical Psychology Review 1986; 6:11-26.
-

- 191 Vgontzas AN, Bixler EO, Lin HM, Prolo P, Mastorakos G, Vela B et al. Chronic insomnia is associated with nyctohemeral activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis: clinical implications. *J Clin Endocrinol Metab* 2001; 86(8):3787-3794.
- 192 Ohayon MM. Epidemiology of insomnia: what we know and what we still need to learn. *Sleep Med Rev* 2002; 6(2):97-111.
- 193 Léger D. Public Health and Insomnia: Economic Impact. *Sleep* 2000; 23(supplement 3):S69-S76.
- 194 Hajak G. Epidemiology of severe insomnia and its consequences in Germany. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci* 2001; 251(2):49-56.
- 195 Kim K, Uchiyama M, Okawa M, Liu X, Ogihara R. An epidemiological study of insomnia among the Japanese general population. *Sleep* 2000; 23(1):41-47.
- 196 Wilson KG, Eriksson MY, D'Eon JL, Mikail SF, Emery PC. Major depression and insomnia in chronic pain. *Clin J Pain* 2002; 18(2):77-83.
- 197 Tachibana H, Izumi T, Honda S, Takemoto TI. The prevalence and pattern of insomnia in Japanese industrial workers: relationship between psychosocial stress and type of insomnia. *Psychiatry Clin Neurosci* 1998; 52(4):397-402.
- 198 Sukying C, Bhokakul V, Udomsubpayakul U. An epidemiological study on insomnia in an elderly Thai population. *J Med Assoc Thai* 2003; 86(4):316-324.
- 199 Simon GE, VonKorff M. Prevalence, burden, and treatment of insomnia in primary care. *Am J Psychiatry* 1997; 154(10):1417-1423.
- 200 Shochat T, Umphress J, Israel AG, Ancoli-Israel S. Insomnia in primary care patients. *Sleep* 1999; 22 Suppl 2:S359-S365.
- 201 Shaver JL, Johnston SK, Lentz MJ, Landis CA. Stress exposure, psychological distress, and physiological stress activation in midlife women with insomnia. *Psychosom Med* 2002; 64(5):793-802.
- 202 Seppala M, Hyyppa MT, Impivaara O, Knuts LR, Sourander L. Subjective quality of sleep and use of hypnotics in an elderly urban population. *Aging (Milano)* 1997; 9(5):327-334.
- 203 Schubert CR, Cruickshanks KJ, Dalton DS, Klein BE, Klein R, Nondahl DM. Prevalence of sleep problems and quality of life in an older population. *Sleep* 2002; 25(8):889-893.
- 204 Savard J, Simard S, Blanchet J, Ivers H, Morin CM. Prevalence, clinical characteristics, and risk factors for insomnia in the context of breast cancer. *Sleep* 2001; 24(5):583-590.
- 205 Sangi-Haghpeykar H, Poindexter AN, III. Epidemiology of endometriosis among parous women. *Obstet Gynecol* 1995; 85(6):983-992.
- 206 Sales EC, Santana VS. Depressive and anxiety symptoms among housemaids. *Am J Ind Med* 2003; 44(6):685-691.
- 207 Rubinstein ML, Selwyn PA. High prevalence of insomnia in an outpatient population with HIV infection. *J Acquir Immune Defic Syndr Hum Retrovirol* 1998; 19(3):260-265.
- 208 Rocha FL, Uchoa E, Guerra HL, Firmo JO, Vidigal PG, Lima-Costa MF. Prevalence of sleep complaints and associated factors in community-dwelling older people in Brazil: the Bambui Health and Ageing Study (BHAS). *Sleep Med* 2002; 3(3):231-238.
-

- 209 Roberts RE, Shema SJ, Kaplan GA. Prospective data on sleep complaints and associated risk factors in an older cohort. *Psychosom Med* 1999; 61(2):188-196.
- 210 Redondo-Martinez MP, Salcedo-Aguilar F, Garcia-Jimenez MA, Monterde-Aznar ML, Rodriguez-Almonacid FM, Marcos-Navarro AI. [Prevalence of insomnia and use of psychodrugs among elderly in a basic health area in Cuenca]. *Aten Primaria* 2000; 25(6):400-404.
- 211 Redeker NS, Lev EL, Ruggiero J. Insomnia, fatigue, anxiety, depression, and quality of life of cancer patients undergoing chemotherapy. *Sch Inq Nurs Pract* 2000; 14(4):275-290.
- 212 Paivarinta A, Verkkoniemi A, Niinisto L, Kivela SL, Sulkava R. The prevalence and associates of depressive disorders in the oldest-old Finns. *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol* 1999; 34(7):352-359.
- 213 Ohayon MM, Zulley J. Correlates of global sleep dissatisfaction in the German population. *Sleep* 2001; 24(7):780-787.
- 214 Ohayon MM, Morselli PL, Guilleminault C. Prevalence of nightmares and their relationship to psychopathology and daytime functioning in insomnia subjects. *Sleep* 1997; 20(5):340-348.
- 215 Nakata A, Haratani T, Takahashi M, Kawakami N, Arito H, Fujioka Y et al. Job stress, social support at work, and insomnia in Japanese shift workers. *J Hum Ergol (Tokyo)* 2001; 30(1-2):203-209.
- 216 Muscatello DJ, Rissel C, Szonyi G. Urinary symptoms and incontinence in an urban community: prevalence and associated factors in older men and women. *Intern Med J* 2001; 31(3):151-160.
- 217 Menezes AM, Victora CG, Rigatto M. Prevalence and risk factors for chronic bronchitis in Pelotas, RS, Brazil: a population-based study. *Thorax* 1994; 49(12):1217-1221.
- 218 McCall WV, Reboussin BA, Cohen W. Subjective measurement of insomnia and quality of life in depressed inpatients. *J Sleep Res* 2000; 9(1):43-48.
- 219 Martikainen K, Partinen M, Hasan J, Laippala P, Urponen H, Vuori I. The impact of somatic health problems on insomnia in middle age. *Sleep Med* 2003; 4(3):201-206.
- 220 Mallon L, Broman JE, Hetta J. Relationship between insomnia, depression, and mortality: a 12-year follow-up of older adults in the community. *Int Psychogeriatr* 2000; 12(3):295-306.
- 221 Chiu HF, Leung T, Lam LC, Wing YK, Chung DW, Li SW et al. Sleep problems in Chinese elderly in Hong Kong. *Sleep* 1999; 22(6):717-726.
- 222 Moline ML, Broch L, Zak R, Gross V. Sleep in women across the life cycle from adulthood through menopause. *Clinical Review. Sleep Medicine Reviews* 2003; 7(155):177.
- 223 Chevalier H, Los F, Boichut D, Bianchi M, Nutt DJ, Hajak G et al. Evaluation of severe insomnia in the general population: results of a European multinational survey. *J Psychopharmacol* 1999; 13(4 Suppl 1):S21-S24.
- 224 Hatoum HT, Kong SX, Kania CM, Wong JM, Mendelson WB. Insomnia, health-related quality of life and healthcare resource consumption. A study of managed-care organisation enrollees. *Pharmacoeconomics* 1998; 14(6):629-637.
- 225 Katz DA, McHorney CA. The relationship between insomnia and health-related quality of life in patients with chronic illness. *J Fam Pract* 2002; 51(3):229-235.
- 226 Zammit GK, Weiner J, Damato N, Sillup GP, McMillan CA. Quality of life in people with insomnia. *Sleep* 1999; 22 Suppl 2:S379-S385.
-

- 227 Gallup Organization. Sleep in America. Princeton NJ: The Gallup Organization; 1991.
- 228 Schwartz S, McDowell Anderson W, Cole SR, Cornoni-Huntley J, Hays JC, Blazer D. Insomnia and heart disease: A review of epidemiologic studies. *Journal of Psychosomatic Research* 1999; 47 (4):313-333.
- 229 Janson C, Lindberg E, Gislason T, Elmasry A, Boman G. Insomnia in men-a 10-year prospective population based study. *Sleep* 2001; 24(4):425-430.
- 230 Kales A, Bixler EO, Soltados CR, Vela-Bueno A, et al. Biopsychobehavioral correlates of insomnia. Part 1: Role of sleep apnea and nocturnal myoclonus. *Psychosomatics* 1982; 23(589):600.
- 231 Ohayon MM, Zulley J, Guilleminault C, Smirne S, Priest RG. How age and daytime activities are related to insomnia in the general population: consequences for older people. *J Am Geriatr Soc* 2001; 49(4):360-366.
- 232 Suka M, Yoshida K, Sugimori H. Persistent insomnia is a predictor of hypertension in Japanese male workers. *J Occup Health* 2003; 45(6):344-350.
- 233 Barbar SI, Enright PL, Boyle P, Foley D, Sharp DS, Petrovitch H et al. Sleep disturbances and their correlates in elderly Japanese American men residing in Hawaii. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000; 55(7):M406-M411.
- 234 Bardage C, Isacson DG. Self-reported side-effects of antihypertensive drugs: an epidemiological study on prevalence and impact on health-state utility. *Blood Press* 2000; 9(6):328-334.
- 235 Bixler EO, Vgontzas AN, Lin HM, Vela-Bueno A, Kales A. Insomnia in central Pennsylvania. *J Psychosom Res* 2002; 53(1):589-592.
- 236 Blais FC, Morin CM, Boisclair A, Grenier V, Guay B. [Insomnia. Prevalence and treatment of patients in general practice]. *Can Fam Physician* 2001; 47:759-767.
- 237 Brower KJ, Aldrich MS, Robinson EA, Zucker RA, Greden JF. Insomnia, self-medication, and relapse to alcoholism. *Am J Psychiatry* 2001; 158(3):399-404.
- 238 Cricco M, Simonsick EM, Foley DJ. The impact of insomnia on cognitive functioning in older adults. *J Am Geriatr Soc* 2001; 49(9):1185-1189.
- 239 Fichten CS, Creti L, Amsel R, Brender W, Weinstein N, Libman E. Poor sleepers who do not complain of insomnia: myths and realities about psychological and lifestyle characteristics of older good and poor sleepers. *J Behav Med* 1995; 18(2):189-223.
- 240 Foley DJ, Monjan AA, Izmirlian G, Hays JC, Blazer DG. Incidence and remission of insomnia among elderly adults in a biracial cohort. *Sleep* 1999; 22 Suppl 2:S373-S378.
- 241 Han SY, Yoon JW, Jo SK, Shin JH, Shin C, Lee JB et al. Insomnia in diabetic hemodialysis patients. Prevalence and risk factors by a multicenter study. *Nephron* 2002; 92(1):127-132.
- 242 Maggi S, Langlois JA, Minicuci N, Grigoletto F, Pavan M, Foley DJ et al. Sleep complaints in community-dwelling older persons: prevalence, associated factors, and reported causes. *J Am Geriatr Soc* 1998; 46(2):161-168.
- 243 Morin CM, Rodrigue S, Ivers H. Role of stress, arousal, and coping skills in primary insomnia. *Psychosom Med* 2003; 65(2):259-267.
- 244 Ohayon MM, Schatzberg AF. Prevalence of depressive episodes with psychotic features in the general population. *Am J Psychiatry* 2002; 159(11):1855-1861.
-

- 245 Whooley MA, Grady D, Cauley JA. Postmenopausal estrogen therapy and depressive symptoms in older women. *J Gen Intern Med* 2000; 15(8):535-541.
- 246 Ohayon MM, Hong SC. Prevalence of insomnia and associated factors in South Korea. *J Psychosom Res* 2002; 53(1):593-600.
- 247 Ohayon MM, Caulet M, Priest RG, Guilleminault C. DSM-IV and ICSD-90 insomnia symptoms and sleep dissatisfaction. *Br J Psychiatry* 1997; 171:382-388.
- 248 Ohayon MM, Roth T. What are the contributing factors for insomnia in the general population? *J Psychosom Res* 2001; 51(6):745-755.
- 249 Ohayon MM, Priest RG, Zully J, Smirne S, Paiva T. Prevalence of narcolepsy symptomatology and diagnosis in the European general population. *Neurology* 2002; 58(12):1826-1833.
- 250 Ohayon MM, Hong SC. Prevalence of insomnia and associated factors in South Korea. *J Psychosom Res* 2002; 53(1):593-600.
- 251 Ohayon MM, Lemoine P. [A connection between insomnia and psychiatric disorders in the French general population]. *Encephale* 2002; 28(5 Pt 1):420-428.
- 252 Ohayon MM, Roth T. Prevalence of restless legs syndrome and periodic limb movement disorder in the general population. *J Psychosom Res* 2002; 53(1):547-554.
- 253 Ohayon MM, Smirne S. Prevalence and consequences of insomnia disorders in the general population of Italy. *Sleep Med* 2002; 3(2):115-120.
- 254 Ohayon MM, Partinen M. Insomnia and global sleep dissatisfaction in Finland. *J Sleep Res* 2002; 11(4):339-346.
- 255 Ohayon MM, Roth T. Place of chronic insomnia in the course of depressive and anxiety disorders. *J Psychiatr Res* 2003; 37(1):9-15.
- 256 Webb WB. The cost of sleep-related accidents: A reanalysis. *Sleep: J of Sleep Research and Sleep Medicine* 1995; 18(4):276-280.
- 257 Connor J, Whitlock G, Norton R, Jackson R. The role of driver sleepiness in car crashes: a systematic review of epidemiological studies. *Accid Anal Prev* 2001; 33(1):31-41.
- 258 Lloberes P, Levy G, Descals C, Sampol G, Roca A, Sagales T et al. Self-reported sleepiness while driving as a risk factor for traffic accidents in patients with obstructive sleep apnoea syndrome and in non-apnoeic snorers. *Respir Med* 2000; 94(10):971-976.
- 259 Akerstedt T, Fredlund P. A prospective study of fatal occupational accidents - relationship to sleeping difficulties and occupational factors. *J Sleep Res* 2002; 11(1):69-71.
- 260 Chau N, Gauchard GC. Relationships of job, age, and life conditions with the causes and severity of occupational injuries in construction workers. *Int Arch Occup Environ Health* 2004; 77(1):60-66.
- 261 Gauchard GC, Chau N. Individual characteristics in occupational accidents due to imbalance: a case-control study of the employees of a railway company. *Occup Environ Med* 2003; 60(5):330-335.
- 262 Lindberg E, Carter N. Role of snoring and daytime sleepiness in occupational accidents. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164(11):2031-2035.
- 263 Melamed S, Oksenberg A. Excessive daytime sleepiness and risk of occupational injuries in non-shift daytime workers. *Sleep* 2002; 25(3):315-322.
-

-
- A De adviesaanvraag
-
- B De commissie
-
- C Personen en instanties die gereageerd hebben op de oproep om informatie
-
- D Onderzoek naar gevolgen van nachtelijke blootstelling tijdens de slaap aan omgevingsgeluid
-
- E Slaapstoornissen en slaapproblemen
-
- F GR-advies Omgevingslawaai beoordelen (1997/23)
-
- G Verdeling geluidsbelasting door verkeer in Nederland

Bijlagen

De adviesaanvraag

De voorzitter van de Gezondheidsraad ontving onderstaande adviesaanvraag van de Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer d.d. 3 februari 2003, nr LMV 2003003076.

Hierbij verzoek ik de Gezondheidsraad advies uit te brengen over blootstelling aan nachtelijk lawaai. In het volgende schets ik enige achtergronden van deze materie en vervolgens geef ik aan op welke onderwerpen het advies betrekking zou moeten hebben.

Achtergrond

De Raad heeft zich al een aantal malen in diverse adviezen rechtstreeks of zijdelings uitgesproken over nachtelijk lawaai. Deze adviesaanvraag betreft dan ook het betrekken van nieuw verworven inzichten die mogelijk de vorige adviezen in een nieuw daglicht kunnen stellen of kunnen herbevestigen.

Al in het "oeradvies" van 1972 werd onomwonden gesteld dat "Voldoende en ongestoorde slaap van het grootste belang is voor de gezondheid". In 1991 werd dit toegespitst op vliegtuiglawaai in een rapport dat vervaardigd werd naar aanleiding van de hoogoplopende discussie over het voornemen om de luchthaven Maastricht uit te breiden ("Vliegtuiglawaai, slaap en gezondheid; een literatuurstudie"). Conclusie hier is dat "Hoewel niet alle resultaten een eenduidige interpretatie mogelijk maken, wijzen ze erop dat een steeds weer door geluid verstoorde slaap nadelig is voor gezondheid en welbevinden."

Het zeer gedegen advies "Geluid en gezondheid" (1994) constateert dat er voldoende bewijs bestaat voor een aantal effecten van geluid tijdens de slaap. Het gaat om veranderingen in hartslag, slaappatroon, ontwaken, slaapstadia en om subjectieve slaapkwaliteit. Hiervoor worden uit de literatuur ook "waarne-

mingsniveaus” afgeleid: waarden waar vanaf een effect aangetoond kan worden. Voor andere effecten zijn er minder overtuigende bewijzen of kan geen waarnemingsniveau worden afgeleid.

In het advies “Omgevingslawaai beoordelen” (1997) wordt aanbevolen om voor de beoordeling van (de ernst van) nachtelijke geluidblootstelling de LAeq over een nachtperiode van 8 uur te gebruiken. De in het advies gepresenteerde blootstelling-response relaties voor slaaphinder en ontwaken van verkeerslawaai en lawaai van stilstaande bronnen worden echter als voorlopig aangemerkt.

Tot slot wordt in het advies over “Grote luchthavens en Gezondheid” (1999) uitgebreid stilgestaan bij slaapverstoring. Hoewel de raad het bewijs voor een oorzakelijk verband tussen geluidblootstelling in de nacht en stresshormoonspiegels nog beperkt vindt (dit naar aanleiding van recent onderzoek), is er toch voldoende aanleiding om het effect slaapverstoring als een “matig ernstig” gezondheidseffect te beoordelen, op één lijn met toename luchtwegaandoeningen. De omvang wordt geschat op “een aanzienlijk deel van de blootgestelden”.

Recente ontwikkelingen

Een aantal recente ontwikkelingen zijn direct of indirect aanleiding voor deze adviesaanvraag.

- De Europese Richtlijn 2002/49 voor de beheersing en evaluatie van omgevingslawaai (2002)* definieert een aparte geluidmaat voor nachtelijke blootstelling: het LAeq over een periode van 8uur (Lnight). Deze dient in ieder geval gebruikt te worden voor de - verplichte – strategische geluid kaarten;
- De Europese Commissie heeft een studie afgerond naar dosis-effectrelaties voor de Lnight’;
- In het kader van de modernisering van het instrumentarium voor het geluidbeleid is tevens de vraag gerezen hoe met nachtelijke blootstelling omgegaan moet worden;
- In november 2002 is het veldonderzoek naar slaapverstoring door vliegtuigeluid rond Schiphol** gepubliceerd; internationaal zijn een aantal interessante studies gepubliceerd***. ****

Adviesaanvraag

In het licht van het bovenstaande vraag ik de Raad mij advies te geven over de volgende vragen:

- 1 Wat zijn de optredende effecten van blootstelling aan geluid tijdens de slaap (zoveel mogelijk in kwantitatieve zin);
- 2 Hoe verhouden deze effecten zich met andere gezondheidseffecten, zowel in ernst als in omvang van de effecten;
- 3 Zijn er specifieke risicogroepen waarmee rekening gehouden moet worden;

* Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002, ISBN 92-894-3894-0, European Communities, 2002

** Slaapverstoring door vliegtuigeluid, TNO/RIVM, 2002

*** Epidemiological research on stress caused by road traffic noise and its effects on health 1 - Results for hypertension, Maschke, UBA, 2002

**** Nachflughlarmwirkungen, Forschungsbericht 26, DLR, Grezner, 2001

- 4 Verdient het aanbeveling met het oog op effecten - in navolging van Richtlijn 2002/49 en de Luchtvaartwet- ook voor andere bronnen een aparte nachtbescherming in te voeren;
- 5 Zo ja, kan dan volstaan worden met Lnight of zijn aanvullende blootstellingsmaten nodig. Hierbij wordt in ieder geval gedacht aan impulsachtige geluiden en aan situaties met betrekkelijk zeldzaam voorkomende gebeurtenissen met een hoog niveau;
- 6 Kan de bescherming van de bevolking bereikt worden middels (prestatie- of ontwerp-) eisen aan woningen, middels persoonlijke beschermingsmiddelen, middels eisen aan niveaus buiten de woning, middels eisen aan voertuigen en andere apparaten, of een combinatie hiervan.

Planning

Ik zou het bijzonder op prijs stellen indien het advies van de Raad mij rond het najaar van 2003 zou kunnen bereiken.

Hoogachtend,

De Staatssecretaris van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,

(was getekend)

Drs. P.L.B.A. van Geel

De Commissie

-
- Prof dr JJ Heimans, *voorzitter*
VU Medisch Centrum, Afdeling Neurologie, Amsterdam
 - Ir M van den Berg, *adviseur*
Ministerie van VROM, DGM, Den Haag
 - Dr JJ van Busschbach
Erasmus MC, Instituut voor Medische Psychologie en Psychotherapie, Rotterdam
 - Ir JH Granneman
Peutz bv, Zoetermeer
 - Dr HME Miedema
TNO Inro, Afdeling Leefomgeving en Gezondheid, Delft
 - Prof dr FJN Nijhuis
Centrum voor Arbeidsperspectief, Hoensbroek
 - Prof dr WF Passchier, *adviseur*
Gezondheidsraad, Den Haag
 - Dr H Tiemeier
Erasmus MC, Instituut voor Epidemiologie & Biostatistiek, Rotterdam
 - Prof dr AJJM Vingerhoets
Universiteit van Tilburg, Psychologie en Gezondheid, Tilburg
 - Dr AW de Weerd
Medisch Centrum Haaglanden, Locatie Westeinde Ziekenhuis, Centrum voor Slaap-
en Waakstoornissen, Den Haag
-

- Mw drs W Passchier-Vermeer, *secretaris*
TNO Inro, Afdeling Leefomgeving en Gezondheid, Delft, en Gezondheidsraad, Den Haag.

Administratieve ondersteuning: Mw M Bakker, Gezondheidsraad, Den Haag.

Opmaak: Mw M Javarmardi, Gezondheidsraad, Den Haag.

Personen en instanties die gereageerd hebben op de oproep om informatie

Er is een brief gestuurd aan ruim 50 instanties die een zeker belang hebben bij het onderwerp van her advies. Tevens is in de Staatscourant van 22 juli 2003 een advertentie geplaatst met het verzoek om informatie die van belang kon zijn bij het opstellen van het advies.

Van de volgende instellingen is schriftelijk antwoord ontvangen:

- GGD Rotterdam en omstreken, Sector Algemene Gezondheidszorg, Afdeling Milieu & Hygiëne, de heer R van Doorn
- GGD Regio Achterhoek, mw. CH Capel
- De heer JJM Veraart, op persoonlijke titel
- Gewestelijke Gezondheidsdienst Kop van Noord-Holland, de heer JE de Leeuw den Bouter
- GGD Noord-Kennemerland, mw J Paulisse, inclusief rapport Geluidhinder en slaapverstoring in Noord-Kennemerland; OMNIBUSONDERZOEK 2000
- Amsterdam Airport Schiphol, Business Unit Airlines, de heer M Bouwmeester, inclusief rapport final draft non-auditory health effects of aircraft noise with special reference to sleep disturbance.

Van de volgende instellingen is e-mail ontvangen:

- GGD Zuid Holland Noord, mw M Mooij
 - IPO BOAG, hr J Witteman
 - GGD Groningen, mw M Denekamp
-

- DCMR Milieudienst Rijnmond, Bureau Geluid, hr RG de Jong
- ANWB, Afdeling Algemeen Ledenbelang, hr P Clausing, inclusief rapport Geluidbelasting in het Centraal Veluws gebied.

Onderzoek naar gevolgen van nachtelijke blootstelling tijdens de slaap aan omgevingsgeluid

D.1 Inleiding

In deze bijlage worden onderzoeken naar effecten van nachtelijk geluid in meer detail behandeld dan in de hoofdtekst. In de diverse paragrafen is de volgorde uit de hoofdtekst aangehouden. Achtereenvolgens komen aan de orde onderzoek naar momentane biologische effecten door blootstelling aan geluid tijdens de slaap, onderzoek naar biologische effecten op een tijdschaal van een nacht (voor, tijdens, en na het slapen), en onderzoek naar gevolgen van chronische blootstelling aan nachtelijk geluid op gezondheid en welbevinden.

In Tabel 12 tot en met Tabel 14 zijn de effectparameters, hun meetmethode, en een selectie van referenties van onderzoeksrapportages opgenomen. Bij de referenties is over de biologische effecten onderscheid gemaakt tussen veld- en laboratoriumonderzoek.

Tabel 12 Overzicht van biologische momentane effectparameters, hun meetmethode, en een selectie van referenties van veld- en laboratoriumonderzoek.

Variabele	Meetmethode	Referenties veldonderzoek	Referenties laboratorium-onderzoek (selectie)
Kans op momentane cardiovasculaire veranderingen	ECG, plethysmografie	58,129	64-67
Kans op momentane veranderingen van concentraties van stresshormonen in het bloed	Instantane bloedmonsters		
Kans op verandering slaapstadium van diepere naar minder diepe slaap, inclusief EEG-ontwaken	Polygrafie (EEG, EMG, EOG)	48,130-132	48
Kans op (begin van) motiliteit	Actimetrie	12,50,51,77-79,96,133	
Kans op gedragsmatig ontwaken	Indrukken knopje	12,49,50,52,134,135	

Tabel 13 Overzicht van biologische effectparameters, die betrekking hebben op een slaaperiode (vóór, tijdens en na het slapen), hun meetmethode, en een selectie van referenties van veld- en laboratoriumonderzoek.

Variabele	Meetmethode	Referenties veldonderzoek	Referenties laboratorium-onderzoek (selectie)
Verlenging van de inslaaptijd, moeite met inslapen	Polygrafie (EEG, EMG, EOG), actimetrie, logboekje	12,75	136,137
Veranderingen in cardiovasculaire activiteit	ECG, plethysmografie	70,131,132,138-140	141-146
Verandering in gemiddelde motiliteit gedurende de slaap, motorische onrust	Actimetrie	12,66,75,79	
Veranderingen in de duur van de diverse slaapstadia, in de slaapstructuur, fragmentatie van de slaap	Polygrafie (EEG, EMG, EOG), actimetrie	59,70-73	136,137,140,141
Veranderingen in (stress)hormoon-concentraties	Bloed-,speeksel-, urine sample	82,82,140,147-154, 153,155-163	
Veranderingen in immunologische parameters			84-87
Herinnerd aantal maal ontwaken en voortijdig ontwaken door een geluidsbron	Logboekje en actimetrie	12,51,66,75,96	74,129,164-166, 75, 76, 167, 47,150
Zelfgerapporteerde slaapkwaliteit, zelfgerapporteerde slaapverstoring	Logboekje	12,17,147, 168,169	
Slaperigheid/vermoeidheid overdag en 's avonds	Test, logboekje	12,17,147	
Uitvoering cognitieve taak	Test	12,17,147, 70	
Stemming	Test, logboekje	17,147	
Ergernis	Logboekje	12,17,147,	

Tabel 14 Overzicht van parameters, die zijn onderzocht in veld- en vragenlijstonderzoek naar de invloed van chronische blootstelling aan nachtelijk geluid op gezondheid en welbevinden.

Variabele	Meetmethode	Referenties veldonderzoek
<i>Slaapkwaliteit</i> : verminderde ervaren slaapkwaliteit, moeite met inslapen, moeite met doorslapen, slaapfragmentatie, verkorte slaaptijd, verhoogde motorische onrust tijdens de slaap	Vragenlijst, logboekjes, actimetrie	12,12,17,51,66,75,79,80,96,96,147,168,169
<i>Welbevinden</i> : zelfgerapporteerde slaapverstoring, zelfgerapporteerde gezondheidsklachten, gebruik slaap- en kalmeringsmiddelen, stemming overdag	Vragenlijst, test	12,51,66,75,97,168,169
<i>Sociale contacten en concentratie</i> : verslechtering sociale contacten, verslechtering uitvoering cognitieve taken	Vragenlijst, test	12,17,66,70,147
<i>Aandoeningen</i> : slapeloosheid, overige onderzochte ziekten en aandoeningen	Medisch onderzoek, vragenlijst	12,89,170

D.2 Momentane biologische effecten

D.2.1 Autonome cardiovasculaire reacties op geluidsgebeurtenissen

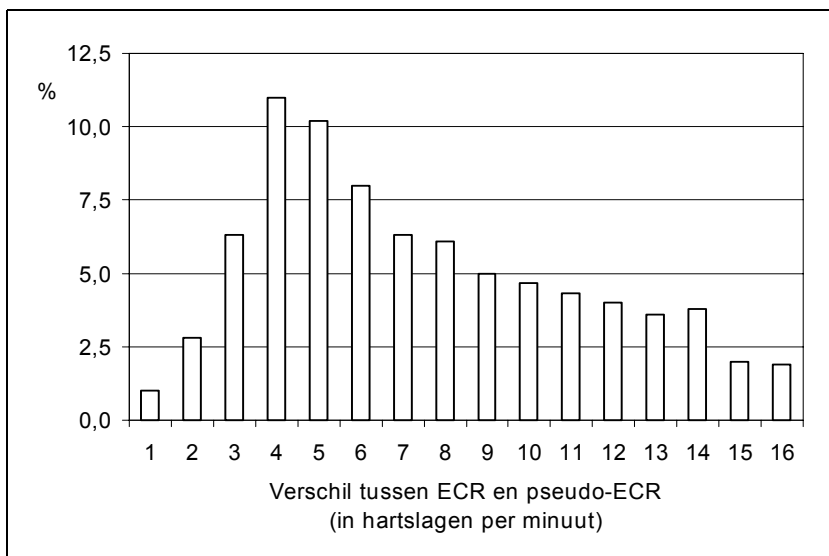
Momentane reacties van het cardiovasculaire systeem bestaan onder meer uit een verhoging van de (systolische) bloeddruk, vernauwing van de bloedvaten van onder meer de ledematen, en verhoging van de hartslag. De commissie beperkt zich in dit overzicht tot verhoging in de momentane hartslag als reactie op een geluid. Er zijn slechts twee veldonderzoeken bekend, in beide gevallen naar wegverkeersgeluid^{58,129}. Aan laboratoriumonderzoek wordt aandacht besteed, omdat het enig inzicht geeft in:

- mogelijke verschillen in effect door andere bronnen dan wegverkeersgeluid
- mogelijke verschillen in effect tijdens de slaap en overdag
- persoonskenmerken die het effect beïnvloeden.

Veldonderzoek

De Nederlandse onderzoekers Hofman en collega's voerden een veldonderzoek uit onder twaalf deelnemers, die langs een snelweg woonden⁵⁸. Zij onderzochten per deelnemer twee situaties gedurende elk tien nachten. De situaties verschilden in de geluidwering van de gevel van de slaapkamer. Om verschillen in geluidwering te realiseren werden de ramen van de slaapkamers van dubbel glas voorzien. Dat leverde een extra geluidwering op van gemiddeld 9 dB(A). Van de deelnemers werd gedurende de 20 nachten een EEG, twee EOG's, het ECG, en de ademhaling opgenomen. De geluidssituatie kenmerkten de onderzoekers als een langzaam variërend achtergrondniveau met

daarop gesuperponeerd geluidpieken (van voorbijkomende lawaaiige voertuigen). Een geluidpiek werd als zodanig geïdentificeerd, als L_{Amax_i} ten minste 10 dB(A) boven het in een interval van 10 minuten heersende achtergrondniveau (L_{90}) uitkwam. Het aantal geluidpieken was in de beide situaties ongeveer 93 per nacht. L_{Amax_i} lag voornamelijk tussen 30 en 65 dB(A). De uitkomsten van het ECG, in termen van hartslagfrequentie, werden in de tijd gekoppeld aan de geluidpieken. Voor elke geluidpiek werd over acht hartslagen (vier vóór en vier na het optreden van de geluidpiek) de maximale verandering in de hartslagfrequentie (ECR: Event-related Cardiac Response) bepaald. Ter vergelijking werd in een vlak voor de geluidpiek liggend interval zonder geluidpiek een pseudo-ECR bepaald. In 80 procent van de gevallen bleek de ECR groter te zijn dan de pseudo-ECR. Uit een analyse bleek dat de ECR niet afhing van de hoogte van L_{Amax_i} , van het slaapstadium van de deelnemer ten tijde van de geluidpiek, en van het wel of niet extra isoleren van de slaapkamer. De stijgsnelheid bleek wel een effect te hebben op ECR: bij hogere stijgsnelheid bleek de ECR hoger te liggen. Een resultaat van het onderzoek is gegeven in Figuur 15 voor die geluidpieken, waarbij een deelnemer zich in slaapstadium 3 of 4 (SWS slaap) bevond. Als aangenomen wordt dat van de 80 procent ECR's met een hogere frequentie dan die van het pseudo-ECR er toevallig 20 procent hoger lag, zoals er ook toevallig 20 procent lager lag, dan is naar schatting het percentage reacties van de hartslag op een geluidpiek 60 procent, onafhankelijk van het slaapstadium en de hoogte van L_{Amax_i} .



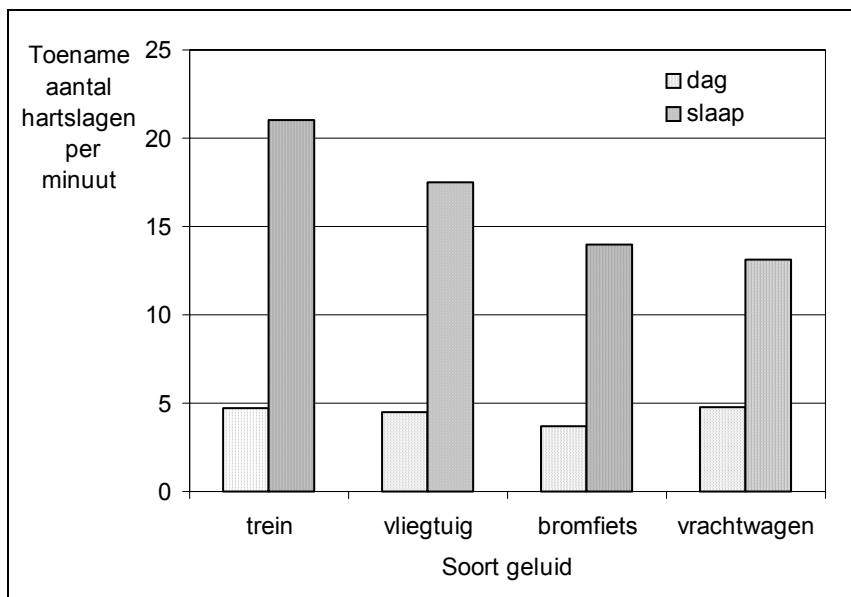
Figuur 15 Het percentage gevallen waarin de hartslag van de ECR (ECR: Event-related Cardiac Response) hoger was dan die van de pseudo-ECR, als functie van het verschil in hartslagfrequentie van de ECR en pseudo-ECR. Het totaal percentage van de kolommen in de figuur is 80. In 20 procent van de gevallen was het verschil tussen ECR en pseudo-ECR 0 of kleiner dan 0⁵⁸.

Carter, een toonaangevend onderzoeker op het gebied van effecten van geluid op de slaap, en collega's bestudeerden het effect van wegverkeersgeluid op zeven oudere mannen, waarvan vier een lichte vorm van onregelmatige hartslag hadden (enkelvoudige vroegtijdige ventriculaire contracties)¹²⁹. Zij constateerden bij twee van deze vier mannen dat de pieken in het geluid (L_{max_i} meer dan 70 dB(A) afkomstig van vrachtwagens) een voortijdige contractie 20 tot 40 s na de geluidpiek teweegbracht, vooral als de mannen zich in slaapstadium 4 bevonden. Zij konden dit effect echter niet repliceren in een laboratoriumonderzoek met wegverkeersgeluid¹⁵¹. In dit verband refereert Carter aan een voorval waarbij het afgaan van een wekker bij een hartpatiënt steeds ventriculaire fibrillatie veroorzaakte¹⁷¹. Carter is daarbij van mening dat het belangrijk is dat meer onderzoek naar het effect van geluid op mensen met hartproblemen wordt gedaan, omdat hij verwacht dat zij speciaal geluidsgevoelige individuen zijn.

Laboratoriumonderzoek

Öhrström en haar collega's onderzochten bij 24 proefpersonen het momentane effect van wegverkeersgeluid op de hartslag. Zij stelden de proefpersonen gedurende 9 nachten 57 maal per nacht bloot aan het geluid van een passerende (vracht)auto met een L_{max_i} van 58 tot 60 dB(A)⁶⁶. De gemiddelde toename van de hartslag tijdens de geluidsgebeurtenissen was 1,5 slag per minuut: bij de proefpersonen die zichzelf gevoelig voor geluid achtten was dit gemiddeld 1,8 slag per minuut en voor de 'ongevoeligen' 1,1 slag per minuut.

Een Franse groep onderzoekers onder leiding van Muzet voerde een onderzoek uit waarin gedurende één van de drie onderzoeksnachten 20 proefpersonen werden blootgesteld aan het geluid van vliegtuigen, vrachtwagens, brommers, en treinen⁶⁴. L_{max_i} en duur van de geluidsgebeurtenissen gedurende de nacht waren respectievelijk voor vliegtuigen 71 dB(A) en 21 s, voor vrachtwagens 66 dB(A) en 20 s, voor bromfietsen 56 dB(A) en 10 s, en voor treinen 62 dB(A) en 17 s. De geluiden werden gedurende de nacht *at random* acht maal per uur aangeboden. Tevens zijn de geluiden overdag aangeboden op een 15 dB(A) hoger niveau. Het resultaat is in Figuur 16 gegeven. De toename in de hartslag is anders berekend dan in de overige in deze bijlage gerefereerde publicaties. In de publicatie van Di Nisi en collega's is het verschil genomen tussen de snelste hartslag en de daaropvolgende langzaamste hartslag tijdens een geluidsgebeurtenis, waarbij de langzaamste hartslag over het algemeen veel lager ligt dan de hartslag gemiddeld over enige tijd vóór of na de geluidsgebeurtenis.



Figuur 16 Vergelijking van de toename van de hartslag tijdens blootstelling aan een geluidsgebeurtenis gedurende de dag en tijdens de slaap. De geluiden zijn overdag aangeboden op een 15 dB(A) hoger niveau dan tijdens de slaap. Laboratoriumexperiment door Franse onderzoekers⁶⁴.

De conclusie die door de onderzoekers is getrokken en die ook uit Figuur 16 blijkt, is dat de reactie 's nachts veel groter is dan overdag. De effecten zijn overdag ook weinig afhankelijk van de bron. Naast de hartslagfrequentie is door de Franse onderzoekers ook met behulp van een vingerplethysmograaf de doorbloeding van een vingertop gemeten. Ook daaruit bleek dat de bij de meeste geluidsgebeurtenissen optredende reactie, namelijk vasoconstrictie, gedurende de slaap veel groter was dan overdag. De score van de proefpersonen op een geluidsgevoeligheidsschaal bleek noch overdag noch 's nachts effect te hebben op de grootte van de hartslagrespons, maar wel op de vasoconstrictie overdag.

Het effect in Figuur 16 op de hartslag tijdens de slaap door vliegtuiggeluid en door vrachtwangeluid is ongeveer gelijk. Doordat het geluid van de trein snel naar een maximum gaat en dit maximum vrijwel de gehele tijdsduur van de treinpassage aanhoudt, is SEL_i van het treingeluid waarschijnlijk ongeveer gelijk aan die van de vliegtuigpassage en van de vrachtwagenpassage. Het is dus niet onwaarschijnlijk dat het effect van treingeluid met een hoge stijgsnelheid aan het begin van de passage bij gelijke SEL_i een iets groter effect heeft dan de passages van vliegtuigen of vrachtwagens. Vergelijkenderwijs kan geconcludeerd worden dat brommers met een 10 tot 15 dB(A) lager maximaal niveau dan de andere geluidsbronnen en de kortste duur opvallend hoog scoren. Of dit te wijten is aan de hogere stijgsnelheid van het bromfietsgeluid of aan de

mogelijke afkeer van de proefpersonen van bromfietsgeluid is door de onderzoekers niet nagegaan.

De onderzoekers menen op basis van de bij dezelfde proefpersonen vastgestelde veel grotere reacties op de hartslag van geluid gedurende de slaap in vergelijking tot overdag dat meer aandacht geschonken zou moeten worden aan het voorkómen van hogere nachtelijke geluidsbelastingen van de bevolking.

Een Australische onderzoeksgroep heeft negen proefpersonen gedurende drie slaaperioden blootgesteld aan het geluid van diverse soorten bronnen: laagvliegende militaire straaljagers, vrachtwagens, landende burgervliegtuigen, en een 5 s durende 1000 Hz toon⁶⁷. De geluidsgebeurtenissen hadden voor elk soort geluid L_{Amax_i} waarden van 55, 65, of 75 dB(A). De duur tot het maximale niveau (stijgduur) en de duur van de gehele geluidsgebeurtenis (van start tot einde) varieerden met de hoogte van L_{Amax_i} ; de waarden zijn gegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Gegevens over de geluidsgebeurtenissen in het onderzoek door Carter en collega's⁶⁷.

Geluidsgebeurtenis	Stijgduur van geluidsgebeurtenis in s			Gehele duur van geluidsgebeurtenis in s			
	L_{Amax_i} in dB(A)	55	65	75	55	65	75
laagvliegende straaljager		1	1	1	1	2	6
burgervliegtuig		13	14	16	8	18	25
vrachtwagen		10	19	20	10	20	27
1000 Hz toon		0	0	0	5	5	5

Het totaal aantal geluidsgebeurtenissen was ongeveer 1300. Met betrekking tot de toename van de hartslag gedurende de geluidsgebeurtenissen bleek er geen verschil te bestaan tussen de vier soorten geluid. Bij L_{Amax_i} van 55 en 65 dB(A) was de hartslagtoename gemiddeld 1,5 slag per minuut, bij 75 dB(A) ongeveer 3 slagen per minuut. Als het geluid van de geluidsgebeurtenissen gegeven zou zijn in SEL_i , dan zouden die waarden bij elk van de drie belastingen voor burgervliegtuigen en vrachtwagens ongeveer gelijk zijn. Voor de toon zou bij de laagste belasting SEL_i ongeveer gelijk zijn aan die van de vrachtwagens en burgervliegtuigen en bij de hogere belastingen daar zo ongeveer 3 tot 5 dB(A) onder liggen. Vanwege de korte duur van de straaljagers zou SEL_i bij de laagste twee belastingen ongeveer 10 dB(A) lager zijn dan die van de vrachtwagens en burgervliegtuigen en bij de hoogste belasting ongeveer 5 dB(A). Hieruit volgt dat bij eenzelfde SEL_i de hartslagverhoging door de tonen en de straaljagers groter is dan die door de vrachtwagens en burgervliegtuigen.

In Duitsland is door Griefahn een experiment uitgevoerd waarbij 20 proefpersonen werden blootgesteld aan gereproduceerd geluid van schoten gelost vanuit een tank, met in de slaapruijme een L_{Amax_i} waarde van 78 tot 82 dB(A)⁶⁵. Het aantal impulsen was

1209, verdeeld over 68 persoonsnachten. Gemiddeld nam de hartslagfrequentie toe van 66 tot 77 slagen per minuut, gemeten drie seconde na het afvuren van de schoten. Deze toename van gemiddeld 11 slagen per minuut ligt hoger dan de verder op dezelfde wijze bepaalde toenames door wegverkeersgeluid, waarbij L_{Amax_i} van de schoten ook hoger was dan van het onderzochte wegverkeersgeluid.

In 1967 heeft Semczuk een onderzoek uitgevoerd naar het effect van geluid tijdens de slaap bij 50 kinderen (5 tot 7 jaar) en 100 volwassenen met behulp van thoraxgrafie, waarmee de ademhaling werd geregistreerd⁶⁸. De veranderingen in de ademhaling als gevolg van een geluidstimulus (een toon) begonnen bij kinderen op een 10 tot 15 dB(A) lager niveau op te treden dan bij de volwassenen. De onderzoeker concludeerde hieruit dat het centrale zenuwstelsel van kinderen tijdens de slaap sneller geactiveerd wordt dan dat van volwassenen, en kinderen daarom fysiologisch gevoeliger zijn voor nachtelijk geluid dan volwassenen.

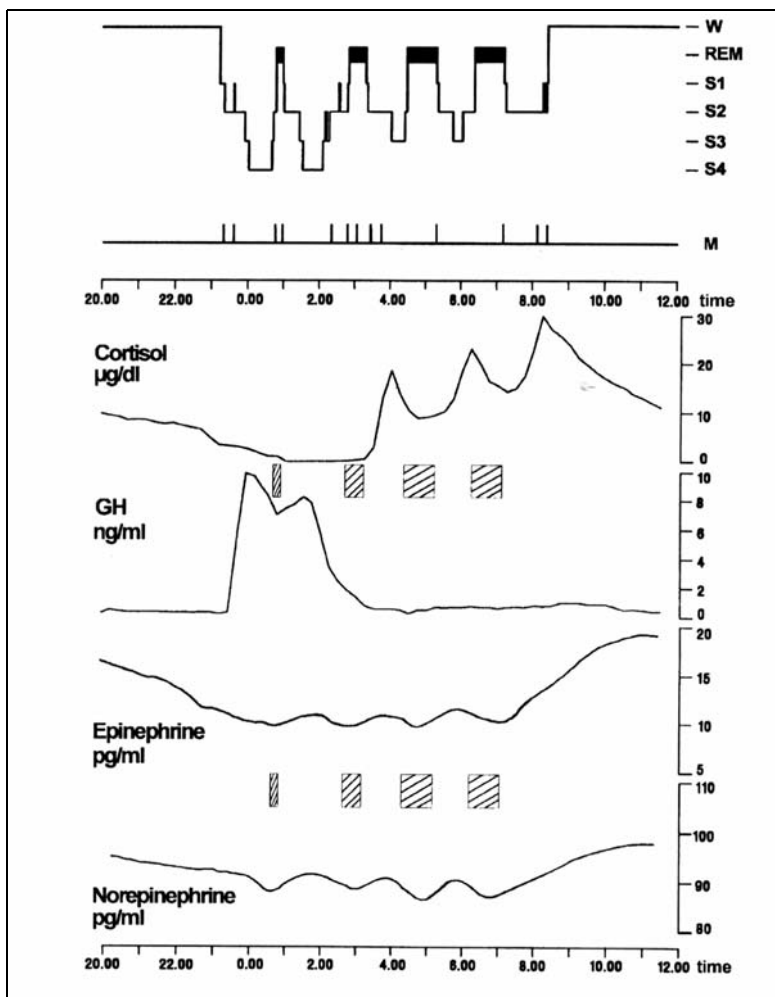
D.2.2 *Momentane veranderingen in hormoonniveaus*

In Figuur 17 zijn in de vier onderste grafieken voorbeelden gegeven van normaal gedurende een nacht optredende veranderingen in concentraties in het bloed van de stresshormonen cortisol, adrenaline, en noradrenaline en van het groeihormoon (GH)⁸⁸.

Er is geen veld- of laboratoriumonderzoek bekend naar de momentane veranderingen in hormoonconcentraties door geluid.

D.2.3 *Verandering van slaapstadium, inclusief EEG-ontwaken*

In de hoofdtekst is reeds de meta-analyse door Pearsons en collega's aan de orde geweest⁴⁸; zie Figuur 7. De relaties tussen de kans op EEG-ontwaken en de kans op slaapstadiumveranderingen zijn door Pearsons gegeven met zowel L_{Amax_i} en SEL_i als geluidblootstellingsmaten. Er zijn in maar drie van de vijf door Pearsons gebruikte veldonderzoeken EEG-metingen gedaan¹³⁰⁻¹³² en in de overige twee onderzoeken betreft het vragenlijstonderzoek⁶⁶ en bewegingen van het bed waarin de deelnemers sliepen¹⁷². In deze laatste twee onderzoeken betrof het zeer weinig waarnemingen, zodat de uitkomsten van deze twee onderzoeken een zeer geringe invloed op het resultaat gepresenteerd door Pearsons hebben gehad. De relaties uit de veldonderzoeken berustten op in totaal 213 deelnemersnachten met EEG-metingen en 2770 geluidsgebeurtenissen. De onderzochte geluidsbronnen in de drie onderzoeken betroffen de burgerluchtvaart en railverkeer.



Figuur 17 Het slaap-EEG en de veranderingen in de concentratie in het bloed van cortisol, groeihormoon (GH), epinephrine (adrenaline), en norepinephrine (noradrenaline) als functie van de tijd vanaf 20.00 uur 's avonds tot 12.00 uur 's middags. Het voorbeeld heeft betrekking op een gezonde jonge volwassene⁸⁸.

Er is slechts in drie publicaties onderzoek gepresenteerd naar het effect van nachtelijk geluid op het slaap-EEG van kinderen⁵⁵⁻⁵⁷. Lukas stelde 22 personen, waaronder 6 kinderen (van 5 tot 7 jaar oud) bloot aan vliegtuiggeluid en geluid van sonic booms als ze volgens het EEG in stadium 3 of 4 verkeerden. Hij constateerde dat in het EEG van kinderen tijdens diepe slaap minder reactie is op geluid dan bij volwassenen. Eberhardt⁵⁶ rapporteerde over het effect van wegverkeersgeluid op 13 kinderen. Acht kinderen woonden in een rustige straat en werden tijdens een aantal nachten gedurende het onderzoek blootgesteld aan gereproduceerd vrachtwagen geluid (68 vrachtwagens per nacht) en vijf kinderen sliepen aan een drukke weg. EEG-ontwaken bij de eerste groep van 8

kinderen trad op in 0,2, 0,8 en 2,1 procent van geluiden met L_{Amax_i} van respectievelijk 45, 55 en 65 dB(A). Verder was het enige statistisch significante verschil in de EEG-uitkomsten een verhoging met 6 minuten van stadium W (wakker) tijdens de nachten met de hogere geluidsbelastingen. De kinderen vonden ook dat ze tijdens de nachten met wegverkeersgeluid minder goed konden inslapen, vaker wakker waren, zich ook vaker herinnerden wakker te zijn geworden door wegverkeersgeluid, overdag minder uitgerust waren, en dat de kwaliteit van hun slaap minder was.

Door het aanbrengen van dubbele beglazing van het slaapkamerraam van de tweede groep van slechts vijf kinderen werd een extra isolatie van gemiddeld 10 dB(A) verkregen. Het enige statistisch significante effect van de interventie bij deze zeer kleine onderzoeksgroep was een verkorting van de inslaaptijd met 7 minuten. Eberhardt is van mening dat de reactie van kinderen op geluid tijdens de slaap minder sterk is dan bij volwassenen en hij verwacht dat een geluid zo'n 10 dB(A) luider moet zijn dan bij volwassenen om dezelfde reactie te weeg te brengen.

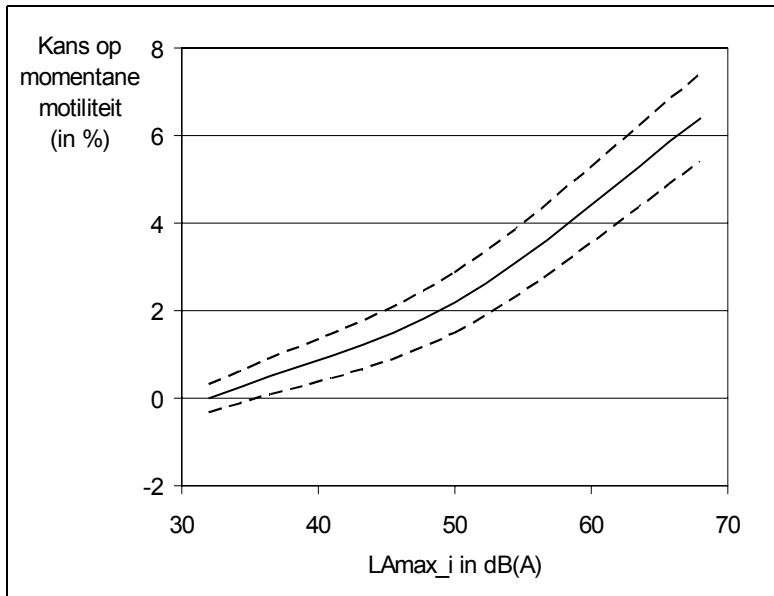
Busby stelde 24 jongens (8 tot 11 jaar) tijdens de slaap in het laboratorium bloot aan tonen van 3 s met een steeds hoger niveau (verschil tussen opeenvolgende tonen 2 tot 5 dB(A)), totdat er een EEG-ontwaken optrad. De toon kon ongeveer op maximaal 95 dB(A) boven de gehoordrempel worden aangeboden. Het percentage EEG-ontwakingen vanuit SWS, stadium 2 en REM was respectievelijk 4,5, 34 en 50 procent. Bezien over drie delen van de nacht was het percentage ontwakingen en het percentage arousals in het eerste gedeelte van de slaap (voornamelijk SWS) respectievelijk 12 en 14 procent, in het tweede gedeelte respectievelijk 30 en 20 procent, en in het derde gedeelte (voornamelijk REM) respectievelijk 50 en 8 procent. Busby vond geen verschil in reactie op geluid tussen hyperactieve kinderen, hyperactieve kinderen die medicijnen gebruikten, en niet hyperactieve kinderen. Op basis van de resultaten is Busby van mening dat kinderen in het laatste gedeelte van hun slaap zeer gevoelig zijn voor geluid en dat er veel meer onderzoek zou moeten gebeuren om de reacties bij kinderen beter in kaart te brengen.

D.2.4 *Motiliteit, motorische onrust*

In de afgelopen tien jaar zijn er diverse (grootschalige) veldonderzoeken verricht, waarbij de deelnemers aan het onderzoek actimeters droegen om de motiliteit tijdens de slaap vast te stellen. Het betreft twee onderzoeken naar vliegtuiggeluid in de Verenigde Staten^{49,50,134}, een onderzoek in Duitsland naar weg- en railverkeersgeluid^{60,77,78}, drie onderzoeken naar vliegtuiggeluid in Engeland^{51,54,80,173}, en een onderzoek naar vliegtuiggeluid in Nederland^{12,13,174}. Door de tijdstippen van geluidsgebeurtenissen te koppelen aan de uitkomsten van de actimeters kon het effect van geluidsgebeurtenissen op de momentane motiliteit worden vastgesteld. In vier van de genoemde onderzoeken is op

deze wijze de relatie vastgesteld tussen L_{Amax_i} of SEL_i en de momentane motiliteit tijdens en door vliegtuiggeluidsgebeurtenissen^{12,49,51,134}. In de andere onderzoeken is de gemiddelde motiliteit gedurende de slaap onderzocht.

In Figuur 18 is de toename van de kans op momentane motiliteit door vliegtuiggeluid in het 15-s interval met L_{Amax_i} uit het Nederlandse onderzoek gegeven. Momentane motiliteit door vliegtuiggeluid treedt op vanaf L_{Amax_i} van 32 dB(A) van de vliegtuigpassage* : L_{Amax_i} van 32 dB(A) is dus het waarnemingsniveau voor het effect motiliteit.



Figuur 18 Kans (in procenten) op momentane motiliteit door een vliegtuigpassage als functie van L_{Amax_i} van de geluidsgebeurtenis, in het 15-s interval met L_{Amax_i} . Tevens zijn de zogenoemde 95 procent predictie-intervallen gegeven^{12,13}).

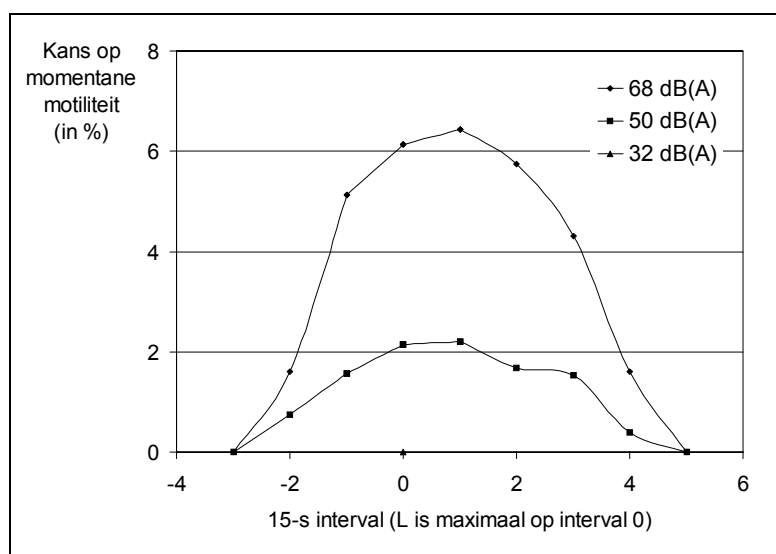
De in Figuur 18 gegeven curve is het gemiddelde effect. Het effect is sterk afhankelijk van L_i : naarmate L_i toeneemt neemt de kans op momentane motiliteit door vliegtuiggeluid af. Dit betekent dat mensen met veel vliegtuigpassages gedurende hun slaap minder op één passage reageren dan mensen met incidentele vliegtuigpassages gedurende hun slaap. Er was geen afhankelijkheid van geslacht en weinig afhankelijkheid van leeftijd op de relatie tussen kans op motiliteit en vliegtuiggeluid. Tevens bleek uit

* In het Nederlandse onderzoek is L_{Amax_i} niet gemeten op stand fast, maar L_{Amax_i} is het maximum tijdens een vliegtuigpassage van de in de slaapkamer gemeten equivalente geluidsniveaus over één seconde. Op grond van theoretische beschouwingen ligt L_{Amax_i} gemeten op stand fast 0,2 tot 1 dB(A) boven het maximum van de in de slaapkamer gemeten equivalente geluidsniveaus over één seconde. Het waarnemingsniveau voor instantane motiliteit wordt daarmee een L_{Amax_i} op stand fast van 33 dB(A).

het onderzoek dat bij eenzelfde L_{Amax_i} het soort vliegtuigbeweging (een landend of opstijgend vliegtuig) niet van invloed is op de kans op motiliteit door vliegtuiggeluid. In het onderzoek is tevens gevraagd naar de houding van de deelnemers ten aanzien van de luchtvaart en met betrekking tot de groei van Schiphol. Het bleek dat deze houdingen geen effect hadden op de kans op momentane motiliteit.

In het Nederlandse onderzoek is tevens de kans op begin van motiliteit door vliegtuiggeluid in het 15-s interval met L_{Amax_i} gegeven. Het waarnemingsniveau ligt ook voor begin van motiliteit op een L_{Amax_i} van 32 dB(A) van de vliegtuigpassage.

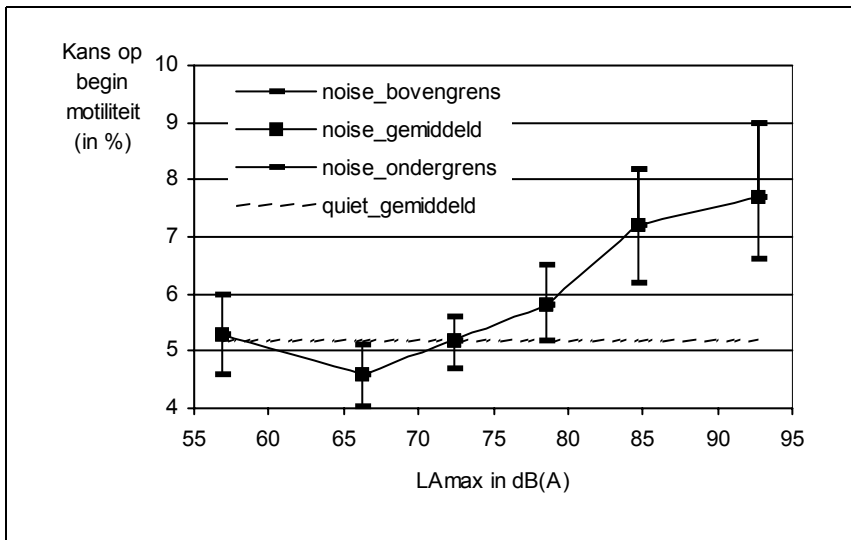
De instantane motorische onrust treedt ook eerder en later op dan in het 15-s interval waarin L_{Amax_i} optreedt. Dat wordt gedemonstreerd in Figuur 19. Globaal is de kans op motorische onrust in een 15-s interval door vliegtuiggeluid ruim vier maal de kans in het 15-s interval waarin L_{Amax_i} optreedt.



Figuur 19 Kans op momentane motiliteit in drie 15-s intervallen voor, tijdens, en in vijf 15-s intervallen na het 15-s interval waarin L_{Amax_i} van een vliegtuiggeluidsgebeurtenis optreedt, voor drie overvluchten met L_{Amax_i} van 68, 50, en 32 dB(A).

De gegevens uit het Nederlandse onderzoek zijn in overeenstemming met de gegevens uit het eerste Amerikaanse onderzoek⁴⁹. In dit onderzoek door Fidell en collega's⁴⁹, zijn alleen deelnemers met (zeer) hoge vliegtuiggeluidsbelastingen over de nacht onderzocht. De onderzoekers vonden een waarnemingsniveau voor motiliteit van 45 dB(A). Dit niveau komt ongeveer overeen met die van 42 dB(A) uit het Nederlandse onderzoek voor deelnemers met een L_i van 40 dB(A). In het tweede Amerikaanse onderzoek, dat een veel geringere omvang had dan het eerstgenoemde onderzoek, kon een dergelijke statistisch significante relatie niet worden aangetoond¹³⁴.

De relatie die in het Engelse onderzoek is vastgesteld tussen begin van motiliteit in een 30-s interval en L_{Amax} van een vliegtuigpassage verschilt aanzienlijk van de in Figuur 18 gegeven relatie, ook al wordt er rekening mee gehouden dat de Engelse onderzoekers in 30-s intervallen kans op motiliteit gemeten hebben en dat de relatie tussen kans op begin van motiliteit en L_{Amax} van een vliegtuiggeluidsgebeurtenis berust op buitenwaarden van L_{Amax} . In diverse TNO-rapporten is hierop ingegaan^{12,13,79,97}. In Figuur 20 is een resultaat uit het Engelse onderzoek weergegeven.



Figuur 20 De relatie tussen gemiddelde kans op begin van motiliteit in het 30-s interval waarin L_{Amax} optreedt tijdens een vliegtuigpassage (n_{gem}) en L_{Amax} van deze passage, en de kans op begin van motiliteit buiten deze intervallen ($q=quiet$), gegeven in het onderzoek door Ollerhead⁵¹. Eveneens is per punt het 95 procent-predictie-interval van de waarde gegeven (dit interval loopt van $noise_ondergrens$ tot $noise_bovengrens$).

De Engelse onderzoekers kwamen tot de conclusie dat de kans op begin van motiliteit door een vliegtuigpassage begint toe te nemen vanaf een L_{Amax} van 82 dB(A)⁵¹. Als deze buitenwaarde wordt vermindert met 25 dB(A) (het door de onderzoekers⁵⁴ opgegeven verschil tussen buiten en binnen), komt het waarnemingsniveau te liggen op een L_{Amax_i} van 57 dB(A). Dit is 25 dB(A) hoger dan in het Nederlandse onderzoek voor kans op motiliteit en op begin van motiliteit is vastgesteld. De commissie meent dat de verschillen in de bevindingen uit het Engelse en Nederlandse onderzoek voornamelijk zijn toe te schrijven aan de volgende factoren:

- In het Engelse onderzoek zijn om vliegtuiggeluid in kaart te brengen alleen *buitenmetingen* verricht. De geluidmeters zijn daarbij zoals gebruikelijk zo geplaatst dat het geluid rechtstreeks door de meters werd opgevangen. De buitenwaarden voor de gevels van de slaapkamers van de deelnemers zijn voor een deel (veel) lager

- geweest, in het bijzonder als de gevels door andere objecten (bebouwing, bomen) afgeschermd werden. De gemeten buitenwaarden vertegenwoordigen dus een bovengrens van een verzameling van aanzienlijk uiteenlopende buitenwaarden voor de gevels van de slaapkamers. De spreiding van de binnenwaarden zal nog groter zijn geweest, omdat de geluidwering van de gevel niet voor elke slaapkamer dezelfde was en de stand van de slaapkamerramen van geval tot geval en van nacht tot nacht varieerde. In het Nederlandse onderzoek, met een gemiddeld verschil van 21 dB(A) tussen buiten- en binnenwaarden van L_{Amax} van ruim 63 000 vliegtuigpassages tijdens de slaaperioden van de deelnemers, kwamen er bij buitenwaarden van 82 dB(A) binnenwaarden van 32 dB(A) voor. Een en ander impliceert dat bij een gemeten buitenbelasting van 82 dB(A) de werkelijke geluidsbelasting binnen in de slaapkamer aanzienlijk veel lager kan zijn geweest.
- In het Nederlandse onderzoek zijn de relaties gebaseerd op gemeten binnenwaarden.
- In het Engelse onderzoek is alleen van geluidsgebeurtenissen met een geluidniveau dat ten minste gedurende 2 s boven 60 dB(A) uitkwam, nagegaan of er sprake was van een vliegtuigpassage. Als het tijdstip van de geluidsgebeurtenis overeenkwam met het tijdstip van een geregistreerde vliegtuigpassage is de gebeurtenis als vliegtuigpassage ‘erkend’. De vliegtuigpassages die binnen vijf minuten na een eerdere passage optraden zijn daarbij niet als vliegtuigpassages in de analyses meegenomen. Vervolgens is ‘noise’ gedefinieerd als alle 30-s intervallen waarin L_{Amax} van een ‘erkende’ vliegtuigpassage voorkwam, en ‘quiet’ als alle overige 30-s intervallen. Tot *quiet* behoren dus ook alle intervallen van de ‘stillere’ vliegtuigpassages, van de vliegtuigpassages binnen 5 minuten na een eerdere passage, en van alle 30-s intervallen gedurende de vliegtuigpassages vóór en na het 30-s interval waarin L_{Amax} optrad. Voor *quiet* is vervolgens de gemiddelde kans op begin van motiliteit berekend (zie Figuur 20). Deze gemiddelde waarde ligt echter hoger dan de gemiddelde waarde tijdens werkelijk rustige 30-s intervallen, omdat alle geluiden van andere oorsprong dan vliegtuigen en alle vliegtuiggeluid buiten de 30-s intervallen met L_{Amax} , en alle ‘stillere’ en ‘niet erkende’ passages, en de door die geluiden geïnduceerde motiliteit, zijn genegeerd. Dit heeft tot gevolg dat de kans op begin van motiliteit door vliegtuiggeluid (*noise – quiet*) is onderschat. In het Nederlandse onderzoek zijn de vliegtuigpassages meegenomen als L_{Amax} ten minste 40 dB(A) was. Er is in de analyses tevens onderscheid gemaakt tussen intervallen waarin alleen het achtergrondgeluidniveau aanwezig was en intervallen waar het achtergrondgeluidniveau door ander geluid dan vliegtuiggeluid verhoogd was. De extra kans op (begin van) motiliteit door ander geluid dan vliegtuiggeluid is in de modellen zo verdisconteerd, dat alleen de kans op extra motiliteit door vliegtuiggeluid op het conto van vliegtuiggeluid geschreven is.
-

- In het Engelse onderzoek is alleen het *begin van motiliteit* beschouwd, terwijl *motiliteit* ook rekening houdt met de duur van het effect. Tevens bleek uit het Nederlandse onderzoek dat de relatie tussen kans op motiliteit en L_{Amax_i} (en SEL_i) sterker is dan de relatie tussen de kans op het begin van motiliteit en L_{Amax_i} (en SEL_i).
- In het Engelse onderzoek is alleen het begin van motiliteit beschouwd *in de 30-s intervallen* met L_{Amax} . Echter, uit het Nederlandse onderzoek blijkt dat de kans op het begin van motiliteit *vóór en na het beschouwde 30-s interval* in totaal groter is dan tijdens het 30-s interval met L_{Amax} .
- Door de beperkingen in rekenfaciliteiten in 1992 konden niet alle data worden geanalyseerd. Dat heeft tot gevolg gehad dat voor het bepalen van de relatie tussen de kans op begin van motiliteit en vliegtuiggeluid alleen gekeken is naar de periode tussen 23.30 en 5.30 uur. Het Nederlandse evenals het Engelse onderzoek heeft uitgewezen dat naarmate de slaaptijd en de kloktijd vordert, de kans op (begin van) motiliteit door vliegtuigpassages toeneemt. De beperkte rekenfaciliteiten leidden er ook toe dat in het Engelse onderzoek de vliegtuigpassages in geluidsklassen zijn ingedeeld (zie Figuur 20). Per klasse is de gemiddelde waarde van de kans op begin van motiliteit berekend en per klasse is nagegaan of er een statistisch significant verschil was met de gemiddelde waarde van de kans op het begin van motiliteit tijdens *quiet*. Analyses waarin alle gegevens in één keer verwerkt zouden zijn, zouden ongetwijfeld een veel lagere drempel te zien gegeven hebben.

Omdat het doel van het Duitse onderzoek niet was het vaststellen van blootstelling-effectrelaties op momentaan niveau, zijn de Duitse gegevens recent bewerkt om alsnog eventuele momentane blootstelling-effectrelaties voor weg- en railverkeer op te stellen⁷⁹. Voor railverkeersgeluid is een relatie vastgesteld voor treinen met een duur tot 2 minuten tussen de kans op (begin van) momentane motiliteit tijdens railverkeersgeluid en SEL van de railverkeersgeluidsgebeurtenis. De toename van de kans op (begin van) momentane motiliteit met de geluidsbelasting is geringer dan vastgesteld voor vliegtuiggeluid. Bij een toename van SEL met 40 dB(A) van 60 tot 100 dB(A) neemt de kans op (begin van) motiliteit, omgerekend naar een 15-s interval, globaal met 2,5 procent toe. Voor vliegtuiggeluid is dit ongeveer 7 procent.

De in het Duitse onderzoek voorkomende geluidsbelastingsspatronen voor wegverkeersgeluid zijn sterk verschillend van die van rail- en vliegtuiggeluid. Rail- en vliegtuiggeluid zijn afzonderlijk te onderscheiden geluidsgebeurtenissen, waarbij het overvliegen van een vliegtuig zelden langer dan één minuut duurt en een het passeren van een trein zelden langer dan drie minuten (in het Duitse onderzoek bleek 2,6 procent van de bijna 69000 treinpassages langer dan drie minuten). In totaal was in bijna 17 procent van de 30-s intervallen treingeluid aanwezig. In het geval van wegverkeer was in

totaal in bijna 53 procent van de 30-s intervallen wegverkeersgeluid boven het achtergrondniveau aanwezig (dat wil zeggen een factor drie hoger dan bij railverkeersgeluid).

Er is voor wegverkeersgeluid een relatie vastgesteld tussen de momentane motiliteit tijdens een 30-s interval met wegverkeersgeluid en het equivalente geluidniveau gedurende dat interval⁷⁹. De kans op momentane motiliteit gedurende een willekeurig 30-s interval met wegverkeersgeluid neemt nauwelijks, hoewel statistisch significant, toe met de geluidsbelasting: bij een toename van het equivalente geluidniveau over een 30-s interval van 40 tot 70 dB(A) neemt de kans op motiliteit met 0,3 procent toe. Echter, in het eerste 30-s interval van een periode met wegverkeersgeluid bleek de kans op momentane motiliteit gemiddeld 3,4 procent hoger te zijn dan in de 30-s intervallen zonder wegverkeersgeluid of tijdens 30-s intervallen die in de loop van een periode met wegverkeersgeluid optreden. Er is dus wel een relatief groot effect aan het begin van een periode met wegverkeersgeluid.

D.2.5 Gedragmatig ontwaken

Er zijn in de afgelopen tien jaar diverse meta-analyses uitgevoerd op gegevens uit 8 á 9 veldonderzoeken om de relatie te bepalen tussen de kans op gedragmatig ontwaken (ontwaken gerapporteerd in de slaaptijd door een persoon door op een knopje te drukken) door een geluidsgebeurtenis en een geluidsmaat (*SEL_i*) van deze gebeurtenis^{52,134,135,175-179}. Daarbij gebruikten Finegold en Elias¹³⁵ in 2002 en Passchier-Vermeer⁵² in 2003 dezelfde door Fidell¹³⁴ opgestelde database, waaraan Passchier-Vermeer de gegevens uit het Nederlandse slaapverstoringsonderzoek naar vliegtuiggeluid heeft toegevoegd. In tegenstelling met de meta-analyse door Finegold is in de secundaire analyse door Passchier-Vermeer met het volgende rekening gehouden:

- De soort geluidsbron: vliegtuigen (van de burgerluchtvaart), straaljagers, treinen, overige omgevingsgeluidsgebeurtenissen
- Verschillen die bestaan in de kans op gedragmatig ontwaken, EEG-ontwaken en begin van motiliteit door een geluidsgebeurtenis van een bepaalde sterkte (zie Figuur 8)
- Aantal waarnemingen per subgroep. De subgroepen zijn gevormd op basis van de *SEL_i* van de geluidsgebeurtenissen en de aantallen waarnemingen per subgroep lopen een factor 100 uiteen
- Verschillen tussen onderzoeken in de tijdvensters rond een geluidsgebeurtenis die de onderzoekers hebben gehanteerd om ontwaken vast te stellen
- Kans op ontwaken in perioden zonder geluidsgebeurtenissen.

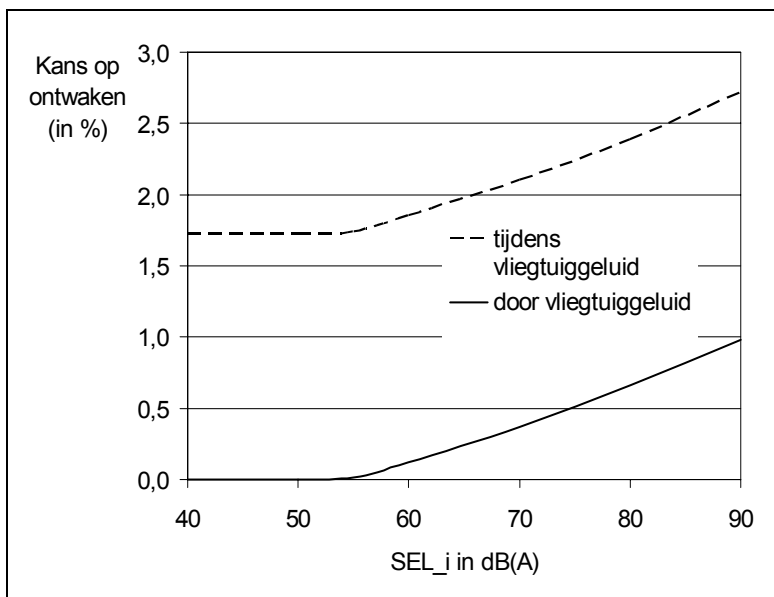
Uit de analyses bleek dat er een statistisch significant verband tussen geluid door vliegtuigen van de burger- en militaire luchtvaart en gedragmatig ontwaken aangetoond kon

worden, maar geen statistisch significant verband tussen geluid door railverkeer en ‘overige omgevingsgeluidsgebeurtenissen’⁵². Omdat de relatie tussen het geluid van straaljagers en gedragsmatig ontwaken slechts berust op gegevens van personen wonend in de buurt van één militaire vliegbasis dient het resultaat over straaljagers met ander onderzoek verder onderbouwd te worden.

Aan de database die Passchier-Vermeer bij de analyses heeft gebruikt ligt onder meer het geluid in slaapkamers van ruim 1000 deelnemers aan zeven onderzoeken over vliegtuiggeluid van de burgerluchtvaart en van ruim 170 000 vliegtuigpassages ten grondslag. In deze zeven veldstudies zijn de gegevens van de ruim 170000 vliegtuigpassages geaggregeerd tot 78 punten op basis van SEL_i . Er is in tijdvensters van 5 minuten rond een vliegtuigpassage (van één minuut vóór tot vier minuten na het optreden van L_{Amax}_i van de passage) vastgesteld of een deelnemer aan een onderzoek aangaf ontwaakt te zijn of niet.

Ook buiten de tijdvensters van de geluidsgebeurtenissen is in tijdvensters van 5 minuten vastgesteld of er gedragsmatig ontwaken optrad. Om de kans op *gedragsmatig ontwaken door een geluidsgebeurtenis* vast te stellen is van de kans op *ontwaken in de tijdvensters van de geluidsgebeurtenissen* de kans op *ontwaken in de tijdvensters buiten de geluidsgebeurtenissen* afgetrokken.

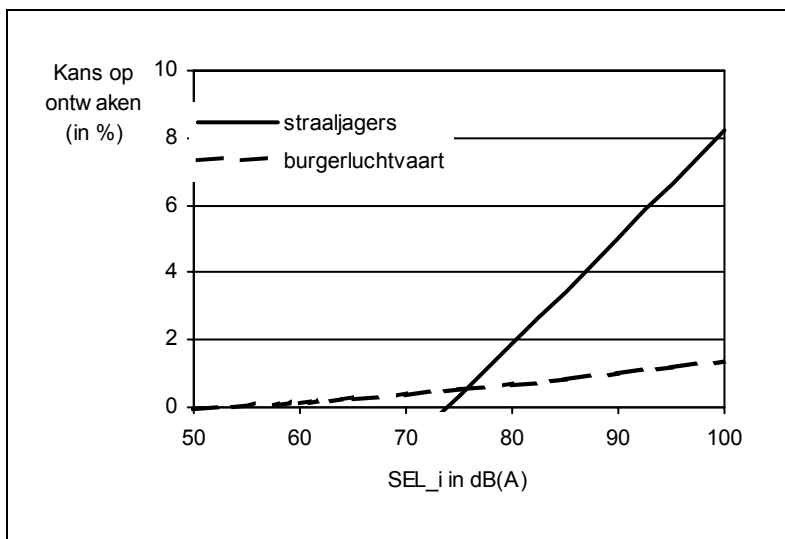
De gemiddelde kans op gedragsmatig ontwaken in een 5-minuten interval waarin geen vliegtuiggeluid optreedt is 1,73 procent. In Figuur 21 is de kans (in procenten) op gedragsmatig *ontwaken door vliegtuiggeluid* tijdens een 5-minuten interval, en de kans op *ontwaken, ongeacht de reden, tijdens* een 5-minuten interval met vliegtuiggeluid gegeven. Het waarnemingsniveau voor gedragsmatig ontwaken door vliegtuiggeluid is een SEL_i van 54 dB(A). Dit komt naar schatting overeen met een L_{Amax}_i (gemeten op stand fast) van 42 dB(A).



Figuur 21 Percentage gedragsmatige ontwakenen tijdens een 5-minuten interval waarin vliegtuiggeluid voorkomt en percentage gedragsmatige ontwakenen door vliegtuiggeluid als functie van in de slaapkamer gemeten SEL (in dB(A))⁵².

In principe is in een zeer stille omgeving een geluid met een heel laag geluidsniveau hoorbaar. De binaurale gehoordrempel (de gehoordrempel als met twee oren wordt waargenomen) ligt globaal voor jonge mensen op 0 dB(A). Hoewel op oudere leeftijd de gehoordrempel bij de hoge frequenties (boven bijvoorbeeld 2000 Hz) door normaal ouderdomsgehoorverlies hoger komt te liggen, is dit voor lagerfrequente geluiden, zoals het geluid van vliegtuigen, veel minder het geval. Over het algemeen is het in slaapkamers niet zo stil dat speciale geluiden van ongeveer 0 dB(A) gehoord kunnen worden, omdat het in een slaapkamer aanwezige achtergrondruis deze zachte geluiden maskeert. Globaal kan vliegtuiggeluid in een overigens rustige slaapkamer gehoord worden als het vliegtuiggeluid boven 15 tot 20 dB(A) uitkomt. Dit houdt in dat als men wakker is, het geluid van een in de verte passerend vliegtuig gehoord kan worden vanaf ongeveer 15 tot 20 dB(A), als het verder voldoende stil is in de slaapkamer.

In Figuur 22 is de kans op gedragsmatig ontwaken gegeven voor vliegtuigen van de burgerluchtvaart en voor straaljagers van de militaire luchtvaart⁵². Hoewel het resultaat voor straaljagers nog verdere verificatie vereist, acht de commissie het verantwoord om deze figuur onder de aandacht te brengen om het effect van geluid met een hoge stijgsnelheid aan het begin van een geluidsgebeurtenis te demonstreren.



Figuur 22 De kans op gedragsmatig ontwaken door vliegtuigen van de burgerluchtvaart (burger) en straaljagers (straalj), als functie van in de slaapkamer gemeten SEL (in dB(A))⁵².

D.2.6 *Momentane hinder en last*

Er is geen veld- of laboratoriumonderzoek bekend naar momentane hinder en last van nachtelijk geluid.

D.2.7 *Samenvatting*

De resultaten over de momentane biologische effecten van nachtelijke geluiden uit deze paragraaf kunnen als volgt worden samengevat:

Momentane hartslag

- Bij personen die jarenlang aan wegverkeersgeluid blootstonden traden hartslagversnellingen door pieken in het wegverkeersgeluid op bij geluidsgebeurtenissen met L_{Amax_i} waarden die voornamelijk lagen boven 30 dB(A). Het waarnemingsniveau voor hartslagversnellingen ligt derhalve waarschijnlijk beneden een L_{Amax_i} van 30 dB(A)
- De gevoeligheid voor hartslagversnelling door geluid is 's nachts veel groter dan overdag

- Extra gevoelig voor hartslagversnellingen door geluid zijn wellicht personen met cardiovasculaire problemen en zij die zichzelf geluidgevoelig vinden
- Uit het veldonderzoek door Hofman blijkt dat naar schatting het percentage reacties van de hartslag op een piek in het geluid van wegverkeer op een snelweg 60 procent is, onafhankelijk van het slaapstadium van een slaper en de hoogte van L_{Amax_i} van de geluidpiek (vrachtwagen)
- Op basis van het laboratoriumonderzoek kan worden afgeleid dat vrachtwagenpassages en vliegtuigpassages met gelijke SEL_i ongeveer hetzelfde effect op de hartslag hebben
- De resultaten van de diverse gerefereerde laboratoriumonderzoeken wijzen er alle op dat bij gelijke SEL_i een geluidsgebeurtenis die (zeer) snel aan het begin in niveau stijgt meer effect op de hartslag heeft dan een geluidsgebeurtenis met minder snelle toename in het niveau aan het begin. Dit effect kon echter niet gekwantificeerd worden
- Uit het enige onderzoek met kinderen (5 – 7 jaar) als proefpersonen bleek dat de fysiologische reacties van kinderen op geluidsgebeurtenissen tijdens de slaap op een 10 dB(A) grotere geluidsgevoeligheid wijzen.

Momentane veranderingen hormoonniveaus

Niet gemeten

Verandering van slaapstadium, inclusief EEG-ontwaken

- Bij mensen die gewend zijn aan blootstelling aan nachtelijk vliegtuiggeluid ligt het waarnemingsniveau voor EEG-ontwaken op een SEL_i van 40 dB(A), en het waarnemingsniveau voor veranderingen van slaapstadium wellicht nog lager
- Het onderzoek naar het effect van nachtelijk geluid op kinderen betreft laboratoriumonderzoek met slechts 24, 8 en 6 kinderen en één onderzoekje met vijf kinderen in hun thuissituatie. Eén van de onderzoekers stelt dat kinderen minder gevoelig zijn dan volwassenen voor momentane veranderingen in het EEG door nachtelijk geluid. Een andere onderzoeker constateerde bij geluiden tot 95 dB(A) in het laatste deel van de slaaperiode bij kinderen 50 procent EEG-ontwakingen en 8 procent arousals als gevolg van een geluidpiek.

Motiliteit, begin van motiliteit

- Bij mensen die gewend zijn aan blootstelling aan nachtelijk vliegtuiggeluid liggen gemiddeld het waarnemingsniveau voor momentane motiliteit en het waarnemingsniveau voor begin van momentane motiliteit beide op een L_{Amax_i} van 32 dB(A) (SEL_i van 38 en 40 dB(A)). Voor mensen met een jarenlange hoge nachtelijke

- blootstelling aan vliegtuiggeluid ligt het waarnemingsniveau voor momentane motiliteit hoger, voor mensen met incidenteel nachtelijke vliegtuigpassages ligt het waarnemingsniveau lager. De laatste categorie mensen reageert dus sterker op één vliegtuiggeluidpassage dan de mensen waarbij vliegtuigen vaker overkomen
- Bij mensen die gewend zijn aan blootstelling aan nachtelijk railverkeersgeluid ligt naar schatting het waarnemingsniveau voor motiliteit op een L_{Amax_i} van 30 tot 35 dB(A)
 - Bij mensen die gewend zijn aan blootstelling aan nachtelijk wegverkeersgeluid neemt de kans op momentane motiliteit gedurende een willekeurig 30-s interval met wegverkeersgeluid neemt nauwelijks toe met de geluidsbelasting. Echter, in het 30-s interval waarin een periode met wegverkeersgeluid begon bleek de kans op momentane motiliteit hoger dan in de 30-s intervallen zonder wegverkeersgeluid of tijdens de 30-s intervallen in de loop van een periode met wegverkeersgeluid.

Gedragmatig ontwaken

- Bij mensen die gewend zijn aan blootstelling aan nachtelijk vliegtuiggeluid ligt gemiddeld het waarnemingsniveau voor gedragmatig ontwaken op een SEL_i van 54 dB(A), hetgeen overeenkomt met een L_{Amax_i} van 42 dB(A)
- Uit het enige onderzoek naar de relatie tussen het geluid van straaljagers en gedragmatig ontwaken bleek dat de kans op gedragmatig ontwaken door straaljagers bij hogere belastingen aanzienlijk veel groter is dan voor vliegtuigen van de burgerluchtvaart.

Momentane hinder en last

Niet gemeten

D.3 Biologische effecten over een nacht (voor, tijdens en na het slapen)

D.3.1 Inleiding

Het aantal veldonderzoeken waar specifiek gekeken is naar de relatie tussen een effect bepaald over of na afloop van een slaaperiode en de geluidsbelasting gedurende de slaap is schaars. Ook zijn veelal de gegevens uit de onderzoeken naar momentane veranderingen door geluid, die zijn behandeld in D.2, niet geaggregeerd op het niveau van één nacht.

In 2003 heeft het RIVM een overzicht uitgebracht over veldonderzoeken die specifiek zijn verricht om effecten door nachtelijk geluid van wegverkeer op de slaap in kaart te brengen⁶⁹. De onderzoekers hebben literatuur vanaf 1970 verzameld. Er zijn 34 veldonderzoeken gedetecteerd, waaronder 23 onderzoeken met uitsluitend zelfgerapport-

teerde effecten die betrekking hebben op een beoordeling over een langere tijd (b.v. een jaar). De resultaten van deze 23 onderzoeken horen thuis in de sectie over chronische gevolgen van (wegverkeers)geluid. In de overige 10 van de 11 onderzoeken zijn op basis van EEG-, ECG-, of actimetriemetingen tijdens de slaap en soms uit logboekjes effecten onderzocht die betrekking hadden op de afzonderlijke nachten. Veelal zijn daarbij ook geluidmetingen (in de slaapkamer) gedurende de deelnemersnachten uitgevoerd. In één onderzoek is uitsluitend van logboekjes gebruik gemaakt. Deze onderzoeken komen in D.3.2 aan de orde.

In een in 2003 gepubliceerd artikel geeft Babisch⁸¹ een overzicht van het onderzoek naar stresshormonen bij blootstelling aan geluid, zowel in de woonomgeving als in het werkmilieu. Hij refereert aan ongeveer 100 van dergelijke onderzoeken, waaronder 23 epidemiologische. De 23 onderzoeken betreffen 11 onderzoeken naar effecten van beroepsmatige blootstelling aan geluid en 12 onderzoeken naar effecten van blootstelling aan geluid in de woonomgeving. De meting van stresshormonen in deze onderzoeken heeft in 8 onderzoeken (met in drie onderzoeken blootstelling aan wegverkeersgeluiden in vijf onderzoeken aan vliegtuiggeluid) plaatsgevonden met behulp van gedurende en na de slaaptijd verzamelde urine of met behulp van speeksel verzameld na het wakker worden. Deze 8 onderzoeken komen in het volgende aan de orde.

De hiervoor genoemde 11 veldonderzoeken uit het RIVM-rapport⁶⁹ en de 8 veldonderzoeken uit de publicatie van Babisch⁸¹ betreffen veelal onderzoek naar geluid van wegverkeer en van de luchtvaart; er is één onderzoek waar zowel naar weg- als railverkeer (treinen) gekeken is. Soortgelijk onderzoek naar plaatsgebonden geluidsbronnen is niet gevonden. Hierna worden eerst de resultaten van de veldonderzoeken naar wegverkeersgeluid behandeld, daarna van de veldonderzoeken naar vliegtuiggeluid, en tenslotte van het veldonderzoek naar railverkeersgeluid. Aan de behandeling van de veldonderzoeken naar vliegtuiggeluid is het resultaat van een quasi-veldonderzoek toegevoegd.

Deze paragraaf wordt afgesloten met een overzicht van (laboratorium)onderzoek naar de invloed van nachtelijk geluid op immunologische parameters van bloedcellen.

D.3.2 *Wegverkeersgeluid*

De elf veldonderzoeken uit het RIVM rapport⁶⁹ betreffen:

- 1 Vier zeer kleine onderzoeken. Deze onderzoeken zijn verricht met een zeer gering aantal deelnemers en deelnemersnachten (3, 6, 7, en 12 personen), en lenen zich niet voor veralgemenisering en worden hier daarom niet besproken^{129,164-166}
- 2 Onderzoek uit de Verenigde Staten⁴⁹. In dit onderzoek naar de effecten van vliegtuiggeluid is alleen een controlegroep, die aan wegverkeersgeluid was blootgesteld,

- meegenomen. Over deze groep zijn geen over één nacht samengevatte uitkomsten in het rapport opgenomen
- 3 Vier Europese onderzoeken die rond 1980 in Nederland, Duitsland, Frankrijk, en Engeland in opdracht van de Europese commissie zijn uitgevoerd^{58,59,70-73}
 - 4 Onderzoek in Duitsland^{77,78}. Het Duitse onderzoek betreft het reeds gememoreerde onderzoek naar verschillen in effecten door weg- en railverkeersgeluid gedurende de nacht
 - 5 Onderzoek in Zweden door Öhrström⁷⁴ waarbij alleen van logboekjes gebruik werd gemaakt.

De onder 3 genoemde vier Europese onderzoeken zijn interventieonderzoeken, waarbij door middel van dubbele beglazing van de slaapkamerramen, kierdichting, gebruik persoonlijke gehoorbeschermingsmiddelen, of tijdelijk slapen aan de stille zijde van het huis, de geluidsbelasting door wegverkeer met ongeveer 10 dB(A) afnam^{58,59,70-73}. Aan de vier onderzoeken hebben in totaal 70 personen deelgenomen gedurende in totaal 922 deelnemersnachten. Jurriëns trok de volgende conclusies over de effecten in de lawaaiiger situaties ten opzichte van de rustiger situaties:

- De gemiddelde duur van REM slaap is 6,5 minuut minder
- Bij de reactietijdtesten is de reactietijd langer (12 ms) en worden meer fouten gemaakt (8 procent)
- De zelfgerapporteerde slaapkwaliteit is minder (7 procent)
- De tijd in W (wakker) volgens het EEG is langer (vastgesteld in twee van de vier onderzoeken: 7 minuten)
- De gemiddelde hartslagfrequentie tijdens de slaap is hoger. In het Nederlandse onderzoek betrof dit 3,2 slagen per minuut, van 68,3 tot 71,5 slagen per minuut⁵⁸. In het onder 4 genoemde Duitse onderzoek^{77,78} waren 188 deelnemers voornamelijk blootgesteld aan wegverkeersgeluid en hetzelfde aantal aan het geluid van passerende treinen. Het aantal deelnemersnachten met informatie over motiliteit bedroeg voor wegverkeer 1710. Uit de recente analyse⁷⁹ van de gegevens blijkt met betrekking tot wegverkeer dat de over een nacht gemiddelde motiliteit toeneemt met het equivalente geluidniveau (binnen en buiten) gedurende de slaaptijd.

Aan het onder 5 genoemde onderzoek van Öhrström⁷⁴ namen 106 personen deel. Uit de logboekjes bleek het volgende: moeite met inslapen had 37 procent van de proefpersonen in een lawaaiige omgeving tegen 8 procent in een stille omgeving; tussentijds wakker door wegverkeersgeluid scoorde 57 procent tegen 4 procent; de gemiddelde slaapkwaliteit op een 11-puntsschaal van 0 zeer slecht tot 10 zeer goed was 6,2 tegen 8,2; vermoeid/alert in de morgen op een 11-puntsschaal van 0 zeer vermoeid tot 10 geheel niet vermoeid was 5,0 tegen 7,0; geïrriteerd in de morgen op een 11-puntsschaal

van 0 zeer geïrriteerd tot 10 geheel niet geïrriteerd was 6,5 tegen 7,8. Dit impliceert dat in de lawaaiige situatie alle parameters ongunstiger waren.

Meer recent heeft de Zweedse onderzoekster Öhrström longitudinaal onderzoek verricht naar de verandering in effecten op de slaap ten gevolge van een vermindering van wegverkeer door de bouw van een tunnel. Het verslag over een deel van de studie⁷⁵ wordt binnenkort gevolgd door twee publicaties in *J Sound Vib**. Uit die publicaties blijkt dat het gaat om een klein onderzoek: er hebben op elk van twee locaties (één lawaaiige en één stillere locatie) 13 proefpersonen drie maal aan het onderzoek deelgenomen: eenmaal vóór en tweemaal na het gereedkomen van de tunnel, die een reductie van 10 dB(A) in de slaapkamer van de proefpersonen op de lawaaiige locatie gaf. Er bleken voor diverse parameters op de tijdstippen voor en vlak na het gereedkomen van de tunnel bij de belaste groep geen statistisch significante verschillen te zijn: gemiddelde motiliteit, bedtijd (minuten in bed), inslaaptijd, slaapduur, aantal maal 'wakker', aantal maal meer dan 5 minuten 'wakker'. Niet verwonderlijk gezien het geringe aantal deelnemers is de grote spreiding in de gemiddelde waarden en opvallend is de toename, dat wil zeggen een verslechtering, van diverse effectparameters in de derde fase, een jaar na gereedkomen van de tunnel, ten opzichte van de uitkomsten van de tweede fase.

Dezelfde onderzoekster heeft tijdens het ICBEN2003 Congres voorlopig verslag gedaan van dat deel van de resultaten van het internationale RANCH onderzoek dat over nachtelijk geluid handelt. 79 kinderen van 9 tot 12 jaar en van elk kind één ouder namen aan het onderzoek deel⁷⁶. Het equivalente geluidniveau van het wegverkeer over 24 uur, buiten bepaald aan de meest belaste gevel, varieerde van minder dan 55 tot meer dan 64 dB(A). Onderzochte slaapparameters waren: slaapkwaliteit (overall door middel van vragenlijst, en per dag via logboekje), inslaaptijd, en gemiddelde motiliteit. Hoewel er aanmerkelijke verschillen bleken tussen de effectwaarden bij kinderen en ouders, waren de effectwaarden niet afhankelijk van de geluidsbelasting.

In Tabel 16 is een overzicht gegeven van de door Babisch⁸¹ gerefereerde drie veldonderzoeken^{82,152-154} naar effecten van geluid op hormoonconcentraties vastgesteld op basis van over een nacht verzamelde urine of met behulp van na het ontwaken afgenomen bloedmonsters. Uit de onderzoeksresultaten kan strikt genomen niet worden geconcludeerd of de waargenomen verandering een gevolg is van het aanwezige wegverkeersgeluid gedurende de nacht, of dat het (mede) het gevolg is van de geluidsbelasting overdag en of het een chronisch effect door één of beide blootstellingen is.

* Öhrström, persoonlijke mededeling

Tabel 16 Overzicht van door Babisch⁸¹ gerefereerde drie veldonderzoeken naar effecten van geluid op hormoonconcentraties^a.

Publicatie	Geluidsbelasting buiten bepaald (LAeq in dB(A))	Deelnemers	Adre-naline	Noradrenaline	Cortisol	Meting
Babisch, 2001 ⁸²	45-75, over de nacht	234 vrouwen	=	+	x	Urine over de nacht
Evans, 2001 ¹⁵³	Minder dan 50 of meer dan 60 over het etmaal	115 kinderen	=	=	+	Urine over de nacht
Ising, 2002 ¹⁵⁴	Lmax= 40 of Lmax= 66 dB(C) binnen bepaald over het etmaal	56 kinderen	x	x	+	Urine over de nacht

^a Relatief effect bij hogere geluidsbelasting: + statistisch significante verandering in de verwachte richting, = geen significant verschil in de verwachte richting, x niet gemeten

Babisch en collega's van het Umweltbundesamt uit Berlijn onderzochten het effect van wegverkeersgeluid op de uitscheiding van adrenaline en noradrenaline in de nachtelijke urine van 234 vrouwen (30 tot 45 jaar)⁸². Deze vrouwen hadden of de woonkamer of de slaapkamer aan de straatkant. De mate van wegverkeer varieerde sterk van woning tot woning. Bij de analyses is rekening gehouden met vele versturende variabelen. Er bleek bij de vrouwen die hun slaapkamer aan de straatkant hadden een statistisch significante toename van het noradrenaliniveau met de logaritme van het verkeersvolume (de logaritme van het verkeersvolume is evenredig met het equivalente geluidniveau) en geen effect van het verkeersvolume op het adrenaliniveau. Bij de vrouwen met de woonkamer aan de straatkant bleek noch een effect op het adrenaliniveau, noch op het noradrenaliniveau. Het feit dat met name het noradrenaliniveau verhoogd was is in overeenstemming met het model dat is opgesteld door Ising, waarin met name de noradrenaliniveaus verhoogd zouden zijn bij geluid waaraan men 'gewend' is⁸³. Het effect van het wegverkeersgeluid op de noradrenaliniveaus bleek met name op te treden bij die vrouwen die aangaven bij gesloten slaapkamerraam slaapverstoring door het wegverkeersgeluid te ondervinden. Bij de vrouwen die geen slaapverstoring ondervonden bij gesloten slaapkamerraam waren de noradrenaliniveaus niet statistisch significant verhoogd. De onderzoekers verklaren dit in termen van coping: als het mogelijk is om het raam te sluiten en dan geen slaapverstoring meer te ondervinden van het wegverkeersgeluid, treedt het effect op de noradrenaliniveaus niet op, en anders wel. Als verhoging van het noradrenaliniveau als marker voor cardiovasculaire problematiek beschouwd zou mogen worden, impliceert dit volgens de auteurs dat slechts dat deel van de personen die erg slaapverstoord zijn door omgevingsgeluid en niet de mogelijkheid hebben om in te grijpen, een verhoogd risico heeft op het ontstaan van cardiovasculaire problemen. Uit de onderzoeksresultaten kan niet worden geconcludeerd of het waargenomen effect een niet-reversibele verandering vertegenwoordigt.

Evans en Lercher onderzochten 115 kinderen van ongeveer 7 jaar die in Oostenrijk aan weg- en railverkeer waren blootgesteld^{153,155}. De helft van de kinderen woonde in

een omgeving met relatief weinig weg-en railverkeersgeluid (*Lden* minder dan 50 dB(A), gemiddeld 46 dB(A)) en de andere helft van de kinderen woonde in een omgeving met geluid van meer dan 60 dB(A) (gemiddeld 62 dB(A)). De onderzoekers vergeleken diverse endocriene en cardiovasculaire functies: overdag de diastolische en systolische bloeddruk en de hartslagfrequentie, en met behulp van de nachturine van de kinderen adrenaline, noradrenaline, cortisol en 20A-dihydrocortisol. Tussen de cortisol- en 20A-dihydrocortisolconcentraties van de twee groepen kinderen bleek een statistisch significant verschil van ruim 25 procent. Uit de test waarbij gebruik gemaakt werd van niet oplosbare puzzles bleek dat de meisjes met de hogere geluidsbelasting slechter scoorden dan de meisjes uit de lager belaste groep.

D.3.3 *Vliegtuiggeluid*

D.3.3.1 Veldonderzoek

In Tabel 17 is het resultaat van het overzicht door Babisch⁸¹ over veranderingen over een nacht in hormoonniveaus door vliegtuiggeluid gegeven.

Tabel 17 Onderzoek naar veranderingen en verschillen in stresshormoonniveaus uit het overzicht ^adoor Babisch⁸¹: 156-159,162,163.

Publicatie	Geluidsbelasting (LAeq Deelnemers in dB(A))	Adrena-line	Noradrena-line	Cortisol	Meting	
Evans, 1995 ¹⁵⁶	59-65 24 uur	135 kinderen	+	+	=	Urine over de nacht
Evans, 1998 ¹⁵⁷	53-62 24 uur	217 kinderen	+	+	=	Urine over de nacht
Ising, 1999 ¹⁶³	56-70 over de dag	40 kinderen	=	=	=	Urine over de nacht
Haines, 2001 ^{158,159}	53-62 24 uur	204 kinderen	=	=	=	Urine over de nacht
Stansfeld, 2001 ¹⁶²	<57->66 over de dag	238 kinderen	x	x	=	Speeksel 's morgens

^a Relatief effect bij hogere geluidsbelasting: + statistisch significante toename, = geen significant verschil, x niet gemeten.

Door Smith en collega's⁸⁰ uit Bristol is gefaseerd een onderzoek uitgevoerd naar vliegtuiggeluid, slaapverstoring, en gezondheid.

In de laatste fase is onder 90 personen (45 partners) een onderzoek gedurende drie nachten met actimeters gedaan. Er zijn tevens in de slaapkamers van de deelnemers geluidmetingen verricht. De bronnen van de geluiden in de slaapkamer zijn niet met behulp van een extern identificatiesysteem vastgesteld, noch is er een buitenmeter gebruikt. Er is een verdeling van geluidsgebeurtenissen gemaakt in lange geluidsgebeurtenissen (meer dan één minuut boven het achtergrondniveau) en korte geluidsgebeurtenissen (minder dan één minuut boven het achtergrondniveau, en met een equivalent geluidniveau over ten minste één 5 s interval van meer dan 50 dB(A)). Het aantal korte

geluidsgebeurtenissen was gemiddeld 8,2 per nacht (SEL_i gemiddeld 59 dB(A)), het aantal lange geluidsgebeurtenissen gemiddeld 6,4 per nacht (SEL_i gemiddeld 65 dB(A)). Het bleek dat er geen samenhang was tussen geluidsbelasting en actimetriscche uitkomsten. Volgens de onderzoekers is dit te wijten aan de lage geluidsbelasting van de deelnemers, ondanks een aanzienlijke interindividuele variatie in die belasting. De onderzoekers vermeldden dat ze in een onderzoek aan boord van schepen wel statistisch significante relaties tussen geluidsbelasting en motiliteit hebben gevonden. Er bleken drie samenhangen tussen geluidsbelasting en slaapverstoring:

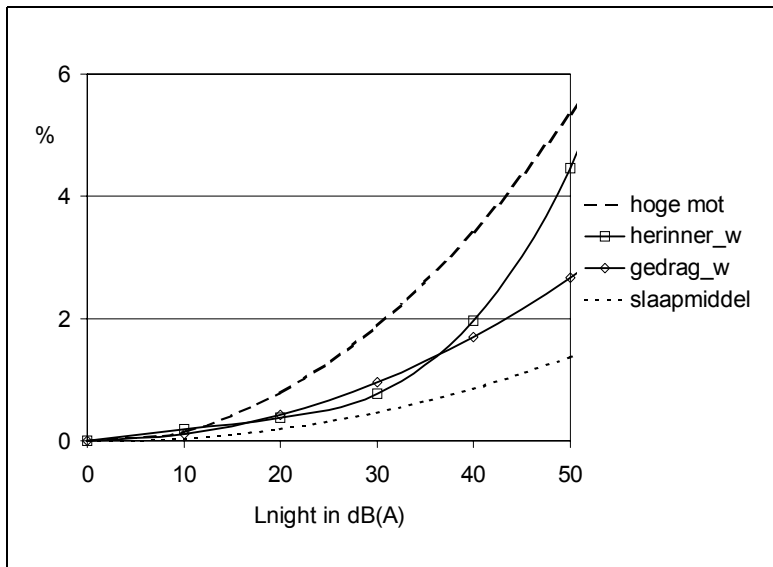
- het *aantal* geluidsgebeurtenissen en een maat voor slaapverstoring afgeleid uit verscheidene variabelen
- hogere geluidniveaus vóór het inslapen en moeite met inslapen
- hogere geluidniveaus aan het eind van de slaaptijd en voortijdig wakker zijn.

Omdat de bronnen van de geluiden niet geïdentificeerd zijn, konden de onderzoekers niet uitsluiten dat de hogere geluidniveaus gegenereerd waren door activiteiten van de deelnemers terwijl ze wakker waren en het dus misschien niet een effect door geluid op inslapen en voortijdig wakker worden betrof.

In Passchier-Vermeer¹² zijn vier functies gegeven die een indruk geven van het effect van vliegtuiggeluid gedurende één slaaperiode. Het betreft (zie Figuur 23):

- Hoge gemiddelde motiliteit gedurende de slaap. Dit is als volgt gekwantificeerd. Uit de gegevens is als functie van de leeftijd de motiliteit bepaald, die juist wordt overschreden door 5 procent van de onderzochte personen als er gedurende de slaaptijd geen vliegtuiggeluid aanwezig zou zijn. Vervolgens is nagegaan welk percentage van de deelnemers in de onderzoeksnachten een hogere gemiddelde motiliteit hadden dan de waarde die bij hun leeftijd hoort en is van dit percentage het percentage bij afwezigheid van vliegtuiggeluid (ongeveer 5 procent) afgetrokken. Hoewel dit niet in Figuur 23 is opgenomen is in het onderzoek ook vastgesteld dat de gemiddelde motiliteit toeneemt met de nachtelijke geluidsbelasting
- Herinnerd ontwaken. De deelnemers gaven in hun logboekje dat ze 's morgens invulden aan of ze 's nachts wakker geworden waren van vliegtuiggeluid
- Ten minste drie maal in een nacht tussentijds gedragsmatig ontwaakt. Dit is vastgesteld op basis van het drukken op de marker op de actimeter
- Gebruik slaapmiddel. In het logboekje gaven de deelnemers 's morgens aan of ze een slaapmiddel hadden gebruikt. Het gebruik van slaapmiddelen bleek sterk afhankelijk van de leeftijd. Tot een jaar of zestig was het gebruik van slaapmiddelen relatief gering en nam boven die leeftijd sterk toe met de blootstelling aan vliegtuiggeluid.

In Figuur 23 is de nachtelijke geluidsbelasting uitgedrukt in L_{night} . In de oorspronkelijke relatie werd de geluidsbelasting uitgedrukt in het equivalente geluidniveau gedurende de slaaperiode. Dit equivalente geluidniveau is door gebruik te maken van haar relatie met L_{night} omgewerkt naar L_{night} . Omdat sommige effecten afhankelijk zijn van de leeftijd is Figuur 23 gebaseerd op de leeftijdsamenstelling van de Nederlandse volwassen bevolking.



Figuur 23 Prevalentie van vier effecten door vliegtuiggeluid als functie van L_{night} . Het betreft de prevalentie (in procenten) door blootstelling aan vliegtuiggeluid van personen met een voor de leeftijd hoge motiliteit, personen die zich herinneren wakker te zijn geworden door vliegtuiggeluid, personen die ten minste drie maal gedragsmatig wakker waren, en personen die een slaapmiddel hebben gebruikt¹².

D.3.3.2 Quasi-veldonderzoek

Door de groep onderzoekers van het Robert Koch Instituut te Berlijn is bij 16 bewoners in de omgeving van het vliegveld Fuhlsbüttel in de buurt van Hamburg een quasi-veldonderzoek verricht naar het effect van met behulp van luidsprekers gereproduceerd vliegtuiggeluid in de slaapkamer van de deelnemers^{47,150}. Er vond in de nacht vrijwel geen vliegverkeer van en naar Fuhlsbüttel plaats, dus de proefpersonen waren bij aanvang van het experiment niet gewend aan nachtelijk vliegtuiggeluid. De deelnemers werden na twee nachten zonder gereproduceerd vliegtuiggeluid gedurende 38 nachten elke nacht 32 maal blootgesteld aan vliegtuiggeluid met L_{max_i} gelijk aan 65 dB(A). Gedurende en vlak na elke slaaperiode werd urine verzameld en de totale hoeveelheid

cortisol bepaald. De onderzoekers onderscheiden drie adaptatiepatronen: een over de 38 nachten vrijwel gelijkblijvende totale hoeveelheid cortisol (dit betrof met name de vrouwelijke deelnemers), een over de 38 nachten afnemende totale hoeveelheid cortisol na een grote verhoging in de derde nacht met de gereproduceerd vliegtuiggeluid, een over de 38 nachten eerst afnemende en daarna toenemende hoeveelheid cortisol, na een eveneens grote verhoging in de derde nacht. Bij elk van de drie patronen is er sprake van een wekelijkse fluctuatie die bij mannen groter is dan bij vrouwen.

Interessant is de relatie met de score op een schaal van welbevinden, die elke dag door middel van een vragenlijst werd vastgesteld. De schaal is zo geconstrueerd dat de gemiddelde score van een doorsnee populatie 0 is, en dat 95 procent van de waarnemingen ligt tussen -3 en $+3$. Voor alle drie adaptatiepatronen gold dat bij afwezigheid van gereproduceerd vliegtuiggeluid aan het begin van het onderzoek de gemiddelde score van het welbevinden ongeveer 0,5 was (dat wil zeggen beter dan gemiddeld normaal is). Bij de constante hoeveelheid cortisol nam het welbevinden gedurende de eerste veertien dagen af van 0,5 tot 0 en bleef verder constant. Bij het toenemende en het afnemende adaptatiepatroon bleef de score van het welbevinden afnemen, respectievelijk van 0,5 tot -1 en van 0,5 tot $-2,5$.

D.3.4 *Veldonderzoek railverkeersgeluid*

In het eerder genoemde Duitse onderzoek^{77,78} waren 188 deelnemers voornamelijk blootgesteld aan het geluid van passerende treinen. Het aantal deelnemersnachten met informatie over motiliteit bedroeg voor railverkeer 1581. Uit de recente analyse⁷⁹ van de gegevens blijkt met betrekking tot railverkeersgeluid dat de over een nacht gemiddelde motiliteit niet afhing van het equivalente geluidniveau van het railverkeer (binnen of buiten bepaald) gedurende de slaaptijd.

In Evans¹⁵³ wordt vermeld dat naast de belasting aan wegverkeersgeluid ook de belasting van kinderen aan treingeluid in de geluidmetingen is meegenomen. Hoewel uit de publicatie geen verdeling naar weg- en railverkeersgeluidsbelasting is gegeven, ligt het in den rede te veronderstellen dat het vooral om wegverkeersgeluid ging.

D.3.5 *Laboratoriumonderzoek naar veranderingen in immunologische parameters*

Veranderingen door blootstelling aan geluid in de *hoeveelheid* cellen in het bloed die te maken hebben met de immuunfuncties van het lichaam zijn in de periode van 1968 tot 1974 onderzocht door Osada en collega's⁸⁴⁻⁸⁷. Zij voerden vier laboratoriumexperimenten uit met 21 proefpersonen en bestudeerden de veranderingen in niveaus in het bloed van leucocyten en (eosofiele en basofiele) granulocyten door blootstelling aan diverse soorten geluid (weg-, lucht-, en railverkeersgeluid, industrieel geluid, witte en roze ruis).

Zij vonden, als ze nachten met en zonder geluidsblootstelling met elkaar vergeleken, grote gemiddelde veranderingen en grote spreidingen rond deze gemiddelde veranderingen. De kritiek op het onderzoek is dat dergelijke veranderingen vrijwel zeker te maken hebben met onvolkomenheden in de proefopzet*.

Born en Fehm wijden in hun overzichtsartikel ‘The Neuroendocrine Recovery Function of Sleep’ ook een paragraaf aan de mogelijkheid dat nachtelijke geluidsblootstelling effect heeft op het immuunsysteem⁸⁸. In een tweetal experimenten waarbij proefpersonen hetzij uit de slaap gehouden werden, hetzij ‘normaal’ mochten slapen is voor bepaalde bloedcellen (monocyten) nagegaan in welke mate ze een immunoreactie op een bepaalde prikkel vertoonden (productie van interleukine-1 en van TNF- α (Tumor-Necrosis-Factor- α) dat een effect heeft op de productie van T-cellen, die op hun beurt weer belangrijk zijn vanwege de productie van interleukine-2. In tegenstelling tot de verwachting was de immunoreactie van de monocyten na een slapeloze nacht veel sterker dan na een gewone nacht. Daartegenover stond de bevinding dat er veel minder monocyten in het bloed aanwezig waren na een slapeloze nacht. Ook was de productie van interleukine-2 door T-cellen veel sterker na een normale nacht in vergelijking tot een slapeloze nacht. Op basis van deze bevinding postuleren Born en Fehm dat nachtelijke geluidsbelasting een negatieve invloed op het immuunsysteem zou kunnen hebben. Zij voegen daar aan toe dat nog veel onderzoek nodig zal zijn om een dergelijke veronderstelling te onderbouwen.

D.4 Effecten op gezondheid en welbevinden

In deze paragraaf wordt in D.4.1 en D.4.2 onderzoek naar de samenhang tussen chronische blootstelling aan *verkeersgeluid* en aandoeningen, slaapkwaliteit en welbevinden besproken. D.4.3 behandelt de gegevens over (effecten van) *burengeluid* en de daarmee samenhangende geluidwering tussen woningen. In D.4.4 komt Nederlands inventarisatie-onderzoek over verkeers-, industrie-, buurt- en burengeluid aan de orde.

D.4.1 Aandoeningen

D.4.1.1 Slapeloosheid

Door een groep Japanse onderzoekers is een vragenlijstonderzoek gehouden naar de factoren die bijdragen aan *slapeloosheid* onder 3600 volwassen Japanse vrouwen (20 tot 80 jaar) die op één van de acht onderzoekslocaties woonden⁸⁹. Bij 11 procent van de onderzochte vrouwen kwam slapeloosheid voor. Slapeloosheid is in dit onderzoek gedefini-

* Marth, persoonlijke communicatie

eerd op basis van *ICD-10 classification of mental and behavioral disorders: clinical description and diagnostic guidelines*⁹⁰. Eén van de factoren waarvan de onderzoekers de samenhang met slapeloosheid hebben onderzocht was het verkeersvolume van de weg waaraan de vrouwen woonden. Het bleek dat een groot verkeersvolume (in de nacht gemiddeld meer dan 2000 voertuigen per uur, waarbij elke vrachtwagen voor 10 voertuigen telde) een risicofactor was voor slapeloosheid. Vrouwen die aan een drukke weg woonden hadden beduidend meer last van slapeloosheid dan de andere vrouwen. Er is in de analyses rekening gehouden met diverse versturende variabelen, zoals leeftijd, aantal (jonge) kinderen in het gezin, sociale status, het onder medische behandeling zijn, regelmatige bedtijden, apneu-achtige klachten, en een ingrijpende negatieve gebeurtenis, die betrokkene minder dan een half jaar vóór het invullen van de vragenlijst was overkomen. De verhouding van het percentage slapeloze vrouwen in de drie meest belaste gebieden ten opzichte van het percentage in de minder belaste gebieden waren respectievelijk 1,4 (2100 voertuigen per uur, *Lnight* in de orde van 65 dB(A)), 2,1 (2400 voertuigen per uur, *Lnight* in de orde van 67 dB(A)) en 2,8 (6000 voertuigen per uur, *Lnight* in de orde van 70 dB(A)). De meest frequente slaapklacht was moeite met inslapen.

D.4.1.2 Gezondheidsverlies

De onderzoekers van het Robert-Koch Instituut uit Berlijn doen in een 400 pagina omvattend rapport verslag van bevindingen uit de longitudinale Spandauer Gesundheits Survey⁹⁵. In dat onderzoek wordt sinds 1982 om de twee jaar de gezondheidstoestand van volwassenen in Spandau onderzocht. Aan de negende ronde namen 2015 personen deel, waarvan 1714 voor ten minste de vijfde keer. In deze ronde werd naast de gebruikelijke vragen en onderzoeken tevens gevraagd naar geluidhinder (van weg-, rail-, en vliegverkeer, en van de industrie) en werd met behulp van geluidkaarten de geluidsbelasting door het wegverkeer van de woningen van de deelnemers vastgesteld. Dit werd gedaan voor de 1718 personen die de geluidhindervragenlijst hadden ingevuld. Het onderzoek naar de effecten van verkeersgeluid betreft dus een cross-sectioneel cohort-onderzoek. Bij 96 woningen werden buiten voor het huis van de betrokkenen metingen van de geluidsniveaus gedaan. Het was niet mogelijk om recente vliegtuiggeluidsbelastingen in het onderzoek te betrekken. De vliegtuigen waren met name afkomstig van vliegveld Tegel, dat 's nachts (vanaf 22 uur voor starts en vanaf 23 uur voor landingen tot 5 uur 's morgens voor starts en landingen) gesloten is.

In de analyses is met twaalf mogelijk versturende variabelen rekening gehouden. Er werd gekeken naar het vóórkomen en de behandeling van ziekten en aandoeningen in de periode van twee jaar sinds het voorgaande bezoek (periode prevalentie), en in de gehele onderzoeksperiode (totale prevalentie). De kans op prevalentie van een medische behandeling van een bepaalde ziekte of aandoening is bepaald ten opzichte van bewoners met

een *Lnight* van minder dan 50 dB(A) door het wegverkeer en gegeven als odds ratio (OR); tevens zijn de 95%- betrouwbaarheidsintervallen (CI) gegeven. De statistisch significante resultaten voor de deelnemers met *Lnight* van meer dan 55 dB(A) door het wegverkeer zijn:

- *Behandeling voor hypertensie*: OR = 1,9 (CI = 1,1 – 3,2) (periode prevalentie)
- *Behandeling voor hypertensie als slaapkamerraam gewoonlijk geopend was*: OR = 6,1 (CI = 1,3 – 29,2) (periode prevalentie)
- *Behandeling voor hypertensie*: OR = 1,8 (CI = 1,1 – 2,9) (totale prevalentie)
- *Astmatische bronchitis*: OR = 1,5 (CI = 0,9 – 2,5) (totale prevalentie)

Met betrekking tot wegverkeer overdag werd het volgende statistisch significante verband gevonden voor personen met hinder van wegverkeersgeluid:

- *Behandeling voor psychische problematiek*: OR = 2,7 (CI = 1,3 – 5,6) (periode prevalentie).

Bij vergelijking van door vliegtuiggeluid over 24 uur hoog- en minder hoogbelaste personen bleek het volgende statistisch significante verband:

- *Behandeling voor schildklierproblemen*: OR = 3,8 (CI = 1,3 – 11,3) (periode prevalentie).

De onderzoekers waarschuwen er voor dat voor de uitkomsten over andere ziekten en aandoeningen dan de cardiovasculaire (astmatische bronchitis, schildklierproblemen) de beschouwde twaalf verstoringen variabelen wellicht niet volstaan. Dat betekent dat wat aandoeningen betreft uit het onderzoek alleen geconcludeerd kan worden dat er bij de onderzochte populatie een samenhang is tussen nachtelijke blootstelling aan wegverkeersgeluid en behandeling voor hypertensie.

De onderzoekers wijzen er op dat de onderzochte populatie overwegend personen betrof die zich zeer bewust waren van hun gezondheidssituatie. Als deze populatie een meer of minder dan gemiddelde gevoeligheid voor hypertensie zou hebben, of een afwijkende leefstijl waardoor meer of minder hypertensie onder deze populatie zou voorkomen, zou de samenhang tussen hypertensie en nachtelijke geluidsbelasting anders kunnen zijn in de algemene bevolking.

Voor de hierboven gegeven uitkomsten voor hypertensie en nachtelijk wegverkeersgeluid bleek de OR voor personen met een geluidsbelasting tussen 50 en 55 dB(A) te liggen tussen 1,0 en de in de opsomming gegeven OR voor wegverkeersgeluidsbelastingen van meer dan 55 dB(A).

Het verbaast de onderzoekers geenszins dat de verbanden tussen nachtelijk geluid en hypertensie wel aantoonbaar waren en die voor geluid over de dag niet, enerzijds omdat men zich overdag vaak elders bevindt, en anderzijds omdat zij menen dat men 's nachts veel gevoeliger is voor geluid dan overdag.

Voor de methodologische beoordeling van het onderzoek wordt verwezen naar de hoofdstuktekst.

D.4.2 Slaapkwaliteit en welbevinden

D.4.2.1 Verhoogde motorische onrust

Uit het Engelse veldonderzoek naar het effect van vliegtuiggeluid op de slaap is gebleken dat de over de slaaperiodes gemiddelde (begin van) motiliteit toeneemt met de blootstelling aan vliegtuiggeluid⁹⁶. Horne vermeldt daarbij dat er een sterke samenhang is tussen de gemiddelde motiliteit en de ervaren slaapkwaliteit: bij toenemende motiliteit neemt de slaapkwaliteit af. In het Nederlandse veldonderzoek naar het effect van vliegtuiggeluid op de slaap is vastgesteld dat de gemiddelde motiliteit toenam met de belasting aan vliegtuiggeluid tijdens de slaap^{12,13}. De onderzoekers vonden dat de over nachten gemiddelde motiliteit een sterke samenhang had met het aantal maal dat een deelnemer zich herinnert wakker te zijn geweest gedurende de slaaptijd, het aantal maal dat de deelnemer tijdens de slaaptijd gedragsmatig wakker was, en met de volgende variabelen uit de door een deelnemer aan het begin van het onderzoek ingevulde vragenlijst: aantal medicijnen dat een deelnemer gebruikt, slaapkwaliteit, aantal slaapkachten, aantal maal ontwaken door vliegtuiggeluid, aantal maal per week een negatief effect van vliegtuiggeluid op de slaap, en aantal gezondheidsklachten. Ook uit de secundaire analyse van het Duitse onderzoek naar weg- en railverkeersgeluid (met 1710 deelnemersnachten met informatie over motiliteit in het geval van wegverkeer en 1581 deelnemersnachten in het geval van railverkeer) bleek de gemiddelde motiliteit met de geluidsbelasting aan wegverkeersgeluid toe te nemen⁷⁹. Er was geen effect aantoonbaar van railverkeersgeluid op de gemiddelde motiliteit. Zowel voor vliegtuiggeluid als voor wegverkeersgeluid is de toename van de motiliteit met *Li* (het equivalente geluidniveau gedurende de slaaptijd over een langere periode) veel groter dan verwacht moet worden op basis van de toename in de kans op momentane motiliteit door het geluid. De gemiddelde toename in motiliteit per dB(A) toename van de geluidsbelasting voor wegverkeersgeluid lijkt een factor 1,3 tot 1,5 groter te zijn dan voor vliegtuiggeluid is gevonden⁷⁹.

In een Engels onderzoek naar vliegtuiggeluid, slaapverstoring, en gezondheid door Smith en collega's⁸⁰ is in de eerste hoofdfase een vragenlijstonderzoek uitgevoerd onder 543 respondenten uit Bristol. Vanwege het ontbreken van kennis over de geluidsbelasting van de respondenten is de subjectieve ervaring van het ondervinden van problemen om in slaap te komen gebruikt om de mate van blootstelling aan vliegtuiggeluid tijdens de slaap te schatten. Er zijn vragen gesteld over gezondheid (met behulp van de verkorte

versie van de General Health Questionnaire), zelfgerapporteerde gezondheid, geluidgevoeligheid, slaapverstoring, negatieve affectiviteit (met behulp van de Neuroticism Scale van Eysenck's Personality Inventory). Er bleek een groot verschil in gezondheid en slaapverstoring tussen de subjectief hoog- en laagbelasten. Na het invoeren van leeftijd en mate van neuroticisme als mede bepalende factoren van gezondheid en slaapverstoring bleek er geen statistisch significant verschil tussen beide groepen.

In een volgende fase heeft een deel van de respondenten uit de eerste hoofdfase opnieuw een vragenlijst ingevuld. Het bleek bij vergelijking van de uitkomsten van de tweede met de eerste meting aan die deelpopulatie dat zowel vermindering van gezondheid, toename van slaapverstoring, als toename van geluidgevoeligheid samen hingen met de door de respondenten ervaren tussentijdse toename van de geluidsbelasting. Er bleek echter geen relatie tussen verandering in slaapverstoring en verandering in gezondheid. De onderzoekers verklaren de uitkomsten uit het vervolgonderzoek als volgt. Als het oorspronkelijke effect gemeten tijdens de eerste hoofdfase wordt weggenomen (door naar verschillen te kijken) en er verandert niet veel tussen de eerste en tweede situatie, dan zijn (kleine) veranderingen niet gecorreleerd.

Om de opzet van het onderzoek te verbeteren is in een vervolgonderzoek rond vier vliegvelden een selectie gemaakt van locaties met hoge en lagere belasting aan vliegtuiggeluid. In totaal is er van 1121 deelnemers mondeling en van 658 deelnemers schriftelijk (per post) een vragenlijst afgenomen. De uitkomsten van de hoog- en lagerbelasten verschilden met betrekking tot de volgende parameters: waarnemen van vliegtuiggeluid bij het trachten in te slapen, slaapverstoring, fysieke gezondheid, welbevinden, met name wat betreft geïrriteerd, angstig, depressief, en verdrietig zijn. Ook na het betrekken van andere variabelen in de analyses bleken slaapverstoring en gezondheid sterk samen te hangen. De onderzoekers concluderen op basis van hun bevindingen dat ze niet konden aantonen dat er een causaal verband was tussen slaapverstoring en gezondheid. Zij voegen er aan toe, dat het ook mogelijk zou kunnen zijn dat slaapverstoring een symptoom is van slechte gezondheid.

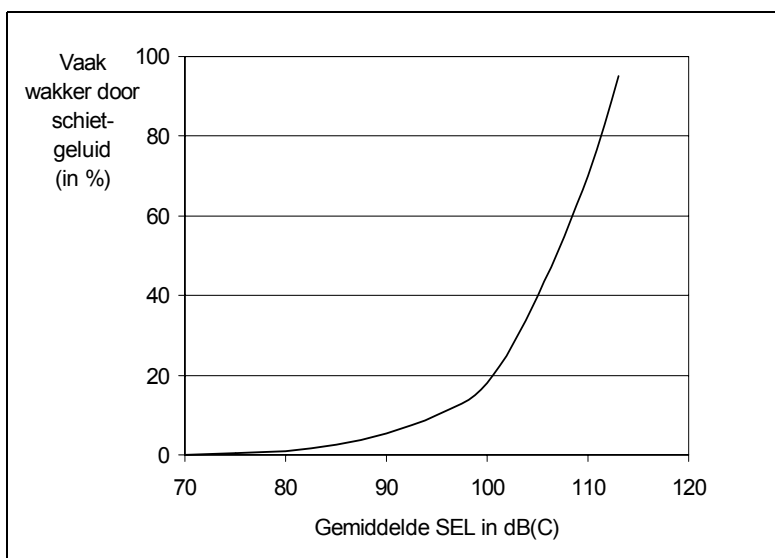
D.4.2.2 Zelfgerapporteerde slaapverstoring, zelfgerapporteerde slaapkwaliteit, en overige zelfgerapporteerde effecten door geluid

Op basis van het TNO Kennis Bestand Verstoringen zijn ten behoeve van een position paper van de EU blootstelling-responsrelaties opgesteld voor zelfgerapporteerde slaapverstoring door weg-, rail-, en vliegverkeer^{97,98}. De relaties over zelfgerapporteerde erge slaapverstoring zijn in de hoofdtekst opgenomen en bediscussieerd.

In een RIVM-rapport⁶⁹ is voor twee slaapparameters, ervaren slaapkwaliteit en moeite met doorslapen, nagegaan of een kwantitatieve samenvatting van de onderzoeksresulta-

ten (meta-analyse) mogelijk was. Hoewel de kwaliteit volgens RIVM van diverse studies goed is, achtten de onderzoekers het niet mogelijk om ze samen te voegen vanwege de heterogeniteit met betrekking tot definities, methoden, bepaling van de blootstelling, en het feit dat versturende variabelen vaak niet in aanmerking zijn genomen. De Nederlandse onderzoekers zijn van mening dat er wel kwalitatief aanwijzingen zijn dat wegverkeer leidt tot een slechtere ervaren slaapkwaliteit en meer moeite met doorslapen.

Tijdens het ICBEN2003 congres heeft de Nederlandse onderzoeker Vos gegevens gepresenteerd over de resultaten van vragenlijstonderzoek naar effecten van schietgeluid op de slaap¹¹¹. Een resultaat is weergegeven in Figuur 24. De figuur geeft het percentage mensen dat aangeeft vaak wakker te worden door schietgeluid (verkregen uit onderzoek dat in Duitsland door Buchta is verricht) als functie van de gemiddelde *SEL* (in dB(C)) van de schoten die in de woonomgeving waargenomen werden. Informatie over het aantal geluidsbeurtenissen per nacht is niet gepubliceerd, zodat geen omrekening naar *Lnight* en een vergelijking met dosis-responsrelaties voor andere geluidsbronnen gemaakt kan worden. Andere dosis-responsrelaties dan die gegeven in Figuur 24 kunnen door Vos (nog) niet beschikbaar gesteld worden*.



Figuur 24 Het percentage mensen dat in vragenlijstonderzoek aangeeft vaak wakker te worden door schietgeluid als functie van de gemiddelde *SEL* (in dB(C)) van de schietgeluidsgebeurtenissen¹¹¹.

* Vos, persoonlijke mededeling.

D.4.2.3 Gezondheidsklachten

In het Nederlandse veldonderzoek naar het effect van vliegtuiggeluid op de slaap is een relatie vastgesteld tussen de individuele geluidsbelasting tijdens de slaap Li en aantal gezondheidsklachten, die zijn bepaald met de zogenoemde verkorte VOEG-lijst^{12,13}. De VOEG-lijst is een uit stressonderzoek afgeleide lijst met dertien klachten over aspecten van gezondheid, zoals hoofdpijn, maagpijn, vermoeidheid, last van de maag. Het is dus niet een lijst waarmee levensbedreigende ziekten worden geïventariseerd. Als Li door vliegtuiggeluid toeneemt van 0 tot 35 dB(A) neemt het aantal klachten gemiddeld met 2 toe. De onderzoekers hebben zich afgevraagd of hier sprake is van een causaal verband of dat het alleen om een samenhang gaat. Het laatste zou bijvoorbeeld het geval zijn als personen met klachten beduidend later op zouden staan, en door de in de ochtend optredende relatief hogere vliegtuiggeluidsbelasting, een relatief hoge waarde van Li zouden hebben. Na analyse bleek het tijdstip van ontwaken geen effect op de samenhang te hebben. Ook andere mogelijke variabelen bleken bij analyse geen effect te hebben op de relatie tussen aantal gezondheidsklachten en Li .

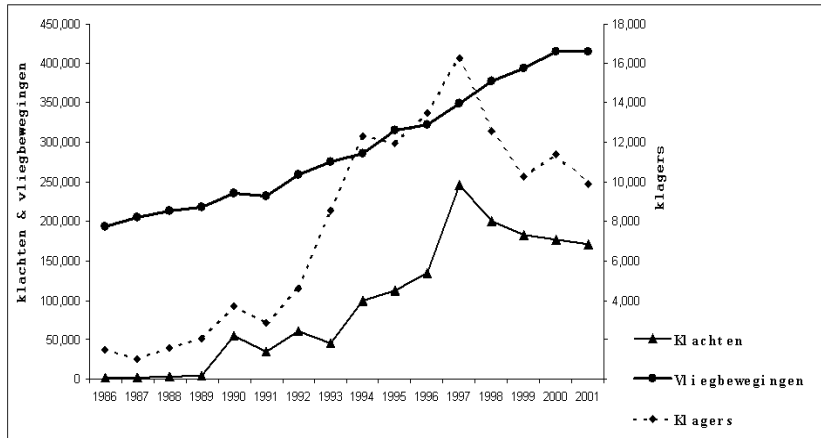
D.4.2.4 Indienen van een klacht over geluid bij instanties

Het indienen van een klacht kan ook beschouwd worden als een symptoom van verminderd welbevinden. Of mensen ‘officieel’ klagen over hinder en last van geluiden hangt niet alleen af van de mate waarin mensen hinder en last ondervinden, maar voor een deel ook van het feit of ze weten waar ze de klacht kunnen deponeren, de moeite die ze moeten doen om te klagen, of ze het idee hebben dat er iets met hun klacht gedaan wordt, en of ze het gevoel hebben of weten dat ook anderen klagen. In Nederland konden mensen die klachten hadden over het geluid van vliegtuigen van en naar Schiphol hun klacht indienen bij het klachtenbureau van de Commissie Geluidhinder Schiphol (thans bij het klachtenbureau van Cros, het Overlegplatform Luchthaven Schiphol). Door het RIVM zijn deze klachten in beeld gebracht^{180,181} en gerelateerd aan de uitkomsten van vragenlijstonderzoek¹⁸². Een resultaat over de periode van 1986 tot en met 2001 is gegeven in Figuur 25 met betrekking tot het aantal klachten, aantal klagers, en aantal vliegbewegingen. Het percentage klachten dat betrekking heeft op de nacht (van 23 tot 7 uur) is ongeveer 15 procent. Uit Figuur 25 kan ook worden afgeleid dat er mensen zijn die in een jaar veelvuldig klagen. Zo was bijvoorbeeld het gemiddeld aantal klachten per klager in 2001 37.

Het aantal klachten was in 1997 680 per 1000 vliegbewegingen, en in 2001 410 per 1000 vliegbewegingen. In 2003 is de zogenoemde Polderbaan in gebruik genomen, hetgeen een aanzienlijke commotie bij omwonenden van Schiphol heeft veroorzaakt. Uit

voorlopige cijfers blijkt het aantal klachten in 2003 een factor 2 hoger te liggen dan het aantal klachten in 2002.

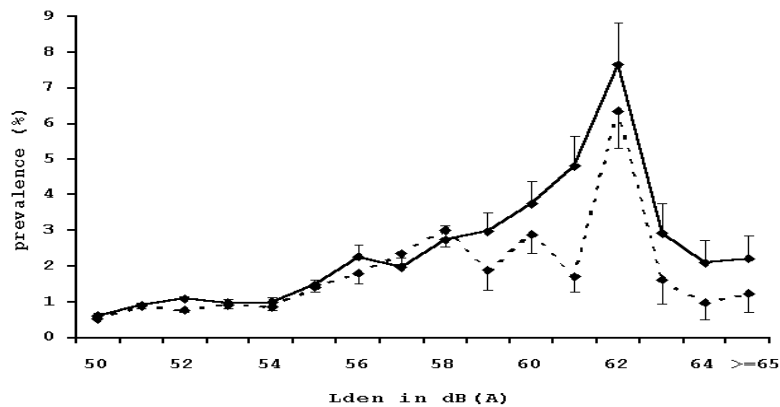
Het percentage klachten dat betrekking heeft op de nacht (van 23 tot 7 uur) is ongeveer 15 procent van het totaal. Het aantal nachtvluchten tussen 23 en 6 uur is 4 procent van het totaal aantal vluchten, en naar schatting het aantal vliegbewegingen tussen 23 en 7 uur 8 procent van het totaal¹⁸³. Een nachtvlucht veroorzaakt dus ongeveer twee maal zoveel klachten als vluchten overdag en 's avonds, terwijl voor nachtvluchten een startverbod geldt voor de meest lawaaiige vliegtuigen, waardoor vliegtuigen in de nacht in principe iets stiller zijn dan over de dag en avond.



Figuur 25 Aantal klachten en aantal klagers over vluchten van en naar Schiphol, evenals het aantal vliegbewegingen over de periode 1986 tot en met 2001^{180,181}.

In Figuur 26 is de prevalentie van het aantal klachten gegeven als functie van *Lden*. Zeer opvallend is de geringere prevalentie bij de hoogste geluidsbelasting ten opzichte van die bij de geluidsbelasting van 61 en 62 dB(A). De onderzoekers hebben dit in verband gebracht met de extra geluidwering van de gevel van de woningen. Beneden een *Lden* van 60 dB(A) neemt het percentage geluidgeïsoleerde woningen toe van iets meer dan nul (beneden 50 dB(A)) tot 20 procent, bij 61 en 62 dB(A) zijn de percentages ongeveer 55 en 70 procent, en vanaf 63 dB(A) is het percentage geluidgeïsoleerde woningen ongeveer 90 procent.

Uit een vragenlijstonderzoek¹⁸² bleek dat het indienen van een klacht over vliegtuigeluid samenhangt met hinder, slaapverstoring, zorgen om de gezondheid, en angst voor een vliegtuigongeluk.



Figuur 26 Prevalentie van mensen met klachten over bepaalde vluchten van en naar Schiphol in 1998 (doorgetrokken lijn) en 1999 (onderbroken lijn) met een schatting in de onzekerheid van de meetpunten (halve 95%-predictie-intervallen), als functie van Lden^{180,181}.

Door DCMR wordt een klachtenbureau onderhouden voor mensen die in de Rijnmond last hebben van geluiden die in de omgeving worden geproduceerd: door industrie, weg- en railverkeer, vliegtuigen, etc¹⁸⁴. In Tabel 18 is het resultaat gegeven over het jaar 2003.

In totaal zijn er 8303 klachten ontvangen, waarvan 1265 (15 procent) over geluid in de nacht (24 tot 7 uur). Onder overig is begrepen laag- of hoogfrequent geluid, apparaten, bron onbekend. Het vliegverkeer veroorzaakt overdag en over het etmaal de meeste klachten. Hoewel er geen structureel nachtverkeer op Rotterdam Airport plaatsvindt, is het percentage klachten over vliegtuiggeluid in de nacht toch 25 procent van het totaal aantal klachten over de nacht. Geluidsoverlast van de industrie veroorzaakt de minste klachten. Opvallend is het lage percentage klagers over het (weg- en rail)verkeer en het hoge percentage klagers over evenementen en de horeca.

Tabel 18 Inventarisatie van het aantal klachten dat in 2003 door het klachtenbureau van DCMR is ontvangen over last van geluid in de Rijnmond¹⁸⁴.

	Aantal klachten per jaar			Percentage klachten		
	Dag en avond: 7 tot 24 uur	Nacht: 0 tot 7 uur	Etmaal	Dag en avond: 7 tot 24 uur	Nacht: 0 tot 7 uur	Etmaal
Verkeer / Vervoer	539	144	683	7,7	11,4	8,2
Vliegverkeer	3423	316	3739	48,6	25,0	45,0
Bedrijven / Industrie	310	78	388	4,4	6,2	4,7
Horeca / Evenementen	892	342	1234	12,7	27,0	14,9
Overig	1874	385	2259	26,6	30,4	27,2
Som	7038	1265	8303	100	100	100

D.4.3 Geluidwering van woningen en gevolgen voor effecten van verkeersgeluid

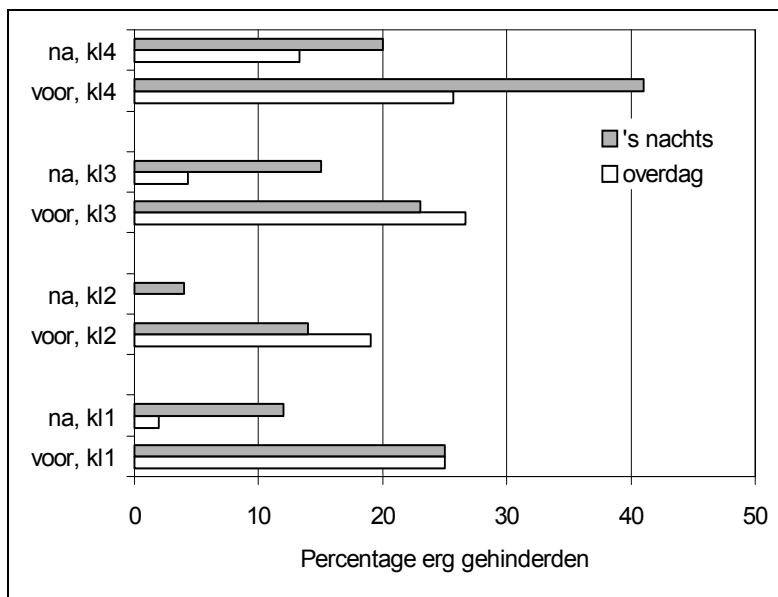
D.4.3.1 Geluidwering van woningen

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de geluidwering van nieuwbouwwoningen en andere geluidsgevoelige verblijfsruimten¹⁴. Voor bescherming tegen industrie-, weg- en railverkeersgeluid is de eis per geluidsoort een etmaalwaarde van 55 dB(A). Dat betekent een equivalent geluidniveau 's nachts van ten hoogste 45 dB(A) buiten. Bij een karakteristieke geluidwering van de gevel van 20 dB(A), gerelateerd aan het spectrum van de betreffende geluidsbron, impliceert dit een L_{night_i} van ten hoogste 25 dB(A). Als de etmaalwaarde buiten aan de gevel hoger is dan 55 dB(A), gelden strengere geluidweringseisen. Voor bescherming tegen luchtvaartgeluid zijn er eisen aan de geluidwering van nieuwbouwwoningen en andere verblijfsruimten als de geluidsbelasting aan vliegtuiggeluid een waarde van 35 Ke overschrijdt*. De vereiste karakteristieke geluidwering hangt af van de 'gevoeligheid' van de ruimte en van de geluidsbelasting in Ke, en is minimaal 27 dB(A)**.

D.4.3.2 Gevolgen extra geluidwering voor effecten van verkeersgeluid

Naar het effect van geluidwerende voorzieningen op de beleving van geluid en naar de beleving van geluidwerende voorzieningen is in Nederland slechts incidenteel onderzoek gedaan¹¹⁴⁻¹¹⁶. Bitter en collega's onderzochten het effect van het aanbrengen van extra geluidwering aan flatwoningen langs drukke snelwegen in Dordrecht¹¹⁴ en Amsterdam¹¹⁵ (70 000 voertuigen per etmaal). Er werd in het onderzoek in Amsterdam door 347 ondervraagden een uitvoerige vragenlijst ingevuld 2,5 jaar na isolatie van hun woning tegen wegverkeersgeluid (gemiddelde extra geluidwering 9 dB(A)), onder meer over geluidhinder in de periode van het invullen van de vragenlijst en in de periode vóór het aanbrengen van extra geluidwerende voorzieningen. Het effect bleek een vermindering van de hinder. Belevingsaspecten van niet-akoestische aard (vocht, ventilatie- en schoonmaakmogelijkheden) van de geluidwerende voorzieningen lieten te wensen over. Er is ook gevraagd naar de hinder gedurende diverse perioden van het etmaal. Het resultaat is gegeven in Figuur 27.

* Ke staat voor een Kosteneenheid, in Nederland de tot voor kort gangbare maat voor de geluidsbelasting door vliegverkeer.
** Ook zijn er in het Bouwbesluit eisen gesteld met betrekking tot geluidwering tegen geluid van installaties in hetzelfde en aangrenzend perceel, met betrekking tot galm, en met betrekking tot de geluidsisolatie tussen aangrenzende woningen in termen van $I_{lu,k}$, I_{lu} , en I_{co} .



Figuur 27 Percentage personen die 2,5 jaar na het aanbrengen van extra geluidwering hun geluidhinder als erg beoordeelden in die periode(aangegeven met 'na') en in de periode vóór het aanbrengen van extra geluidwering (aangegeven met 'voor'), voor vier geluidsklassen (kl4 hoogste belasting door wegverkeersgeluid, kl1 laagste klasse). Het betreft erge geluidhinder overdag en erge geluidhinder 's nachts.

Uit Figuur 27 blijkt weliswaar dat de nachtelijke geluidhinder na aanbrengen van extra geluidwering duidelijk minder wordt, maar de eindsituatie laat zeker nog te wensen over. Eenzelfde resultaat leverde het onderzoek te Dordrecht¹¹⁴.

Van Dongen en collega's¹¹⁶ verrichtten een verkennend onderzoek naar de slaapkwaliteit in woningen met extra geluidwering in de omgeving van Schiphol. Zij legden relaties tussen de percentages personen met 'slaapverstoring' en 'erge slaapverstoring' en de geluidsbelasting buiten en vergeleken deze relaties met destijds voorlopige relaties¹⁸⁵ voor niet extra geïsoleerde woningen. Bij vergelijking leken 'slaapverstoring' en 'erge slaapverstoring' van de mensen in de extra geïsoleerde woningen iets geringer dan in niet extra geïsoleerde woningen. De opzet van dit onderzoek laat echter geen definitieve conclusies toe.

Met betrekking tot de beleving in het algemeen van geluidwerende voorzieningen die zijn aangebracht aan woningen in de omgeving van Schiphol ter beperking van de geluidsoverlast door vliegtuigen zijn tussen 1994 en 1999 drie rapporten verschenen¹¹⁷⁻¹¹⁹. In 1994 is de waardering over de geluidwerende voorzieningen die in de eerste fase van het isolatieplan voor Schiphol zijn aangebracht geëvalueerd. Deze voorzieningen waren aangebracht vóór de invoering van het Bouwbesluit van 01-10-1992¹¹⁷. In 1996

is een vergelijking gemaakt tussen de tevredenheid over de isolatiepakketten uit de periode vóór het Bouwbesluit, en de ‘versoberde pakketten’ uit de periode na het Bouwbesluit¹¹⁸. Het derde rapport geeft een verslag van een workshop van deskundigen over de knelpunten en oplossingen om te komen tot een minder star en meer flexibele regelgeving ten aanzien van de mogelijkheden van geluidsisolatie¹¹⁹. Het algemene eendoordeel over de voorzieningen aangebracht vóór en na de invoering van het Bouwbesluit van 1992 was ongeveer hetzelfde: 75 procent van de ondervraagden beoordeelde de voorzieningen als goed, 20 procent vindt de voorzieningen matig, en 5 procent slecht. Volgens 85 procent van de ondervraagden is door de geluidwerende voorzieningen de hinder die binnenshuis wordt ervaren afgenomen. Toch bleef men in ruim 55 procent van de woningen ten minste enigszins gehinderd en in 15 procent van de woningen trad na het aanbrengen van de geluidwerende voorzieningen erge hinder op. De geluidhinder, ook de geluidhinder ’s nachts, van vliegtuigen bleek duidelijk seizoensgebonden: tijdens een (koude) winter ondervond 10 procent vaak of altijd hinder bij het slapen, in een (warme) zomer 40 procent. Deze verschillen hingen nauw samen met het gebruik van de ramen: het percentage ondervraagden dat in de zomer of winter met een raam op kierstand of verder open sliep was respectievelijk 70 en 25 procent.

Fidell en Silvati¹²⁰ hebben het effect van isolatiemaatregelen tegen vliegtuiggeluid op hinder en erge hinder door vliegtuiggeluid onderzocht. Zij vroegen echter niet speciaal naar hinder tijdens de slaaperiode.

In Engeland heeft een uitgebreid onderzoek plaatsgevonden naar het effect van extra geluidsisolatie om de blootstelling aan hoge niveaus van wegverkeersgeluid te reduceren¹²¹. De gemiddelde geluidsisolatie was 34 dB(A). De nachtelijke geluidsbelasting van de ondervraagden met de slaapkamer aan een drukke straat had een *L_night* tussen 57 en 77 dB(A). In de geïsoleerde huizen bleek 23 procent van de ondervraagden met de slaapkamer aan de straatkant zich “zeer sterk” of “sterk” te ergeren aan het nachtelijk wegverkeersgeluid, 25 procent had door het wegverkeersgeluid moeite met inslapen, en 30 procent werd in de nacht wakker door wegverkeersgeluid. Of men van mening was dat de slaapkamer met ongeopend raam in de zomer te heet was bleek een belangrijk effect op deze uitkomsten te hebben: 37 procent en 15 procent van de ondervraagden met de in de zomer te warme respectievelijk niet te warme slaapkamer bleek zich “zeer sterk” of “sterk” te ergeren aan het nachtelijk wegverkeersgeluid. 85 procent van de ondervraagden met de in de zomer te warme slaapkamer voelden de noodzaak om het slaapkamerraam te openen.

In Japan¹²² is aan personen in een gebied in de omgeving van Kaneda Air Base met een extreem hoge nachtelijke geluidsbelasting door straaljagers gevraagd naar de effectiviteit van en de tevredenheid over de geluidsisolatie van de woning (ongeveer 60 procent van de woningen was extra geïsoleerd vanwege vliegtuiggeluid). Beide namen af met de geluidsbelasting van respectievelijk 80 en 60 procent bij een geluidsbelasting

met een L_{den} van (naar schatting) 65 dB(A) tot 30 en 13 procent bij een L_{den} van (naar schatting) 85 dB(A). Het bleek dat de zeven onderzochte aspecten van slaapverstoring (moeite met inslapen, wakker worden, moeite met inslapen na wakker worden, gehinderd 's morgens na voortijdig wakker worden, gevoel niet goed te hebben geslapen, twijfel aan goede nachtrust de volgende nacht) samenhangen met de geluidsbelasting buiten, maar er bleek geen verschil tussen bewoners van wel en niet speciaal geïsoleerde woningen. De onderzoekers menen dat andere interventie maatregelen, zoals minder nachtvluchten en andere vluchtpaden, aangewend moeten worden om de invloed op de slaap bij de zeer zwaar belaste omwonenden van de vliegbasis terug te dringen.

D.4.4 *Geluidwering tussen woningen en burengeluid*

D.4.4.1 Geluidwering tussen woningen

In het Bouwbesluit zijn eisen gesteld waaraan de geluidwering tussen (nieuwbouw)woningen moet voldoen¹⁴. De geluidwering tussen woningen kan worden uitgedrukt in een index voor de geluidwering in het geval van luchtgeluid (I_{lu}) en als rekening wordt gehouden met het volume van de ontvangruimte en het oppervlak van de gemeenschappelijke scheidingsconstructie in de karakteristieke geluidwering ($I_{lu;k}$). De isolatie voor contactgeluid tussen twee woningen wordt uitgedrukt in de index voor contactgeluid (I_{co}). Voor nieuwe woningen geldt een luchtgeluidsisolatiewaarde ($I_{lu;k}$) van minimaal 0 dB. Bij een $I_{lu;k}$ van 0 dB is een gewoon gesprek van de burens onverstaanbaar, maar wel hoorbaar. Voor de kwaliteitsbeoordeling van de luchtgeluidsisolatie bestaat een indeling naar drie niveaus:

- Minimum: $I_{lu;k}$ van 0 tot +5 dB (normaal gesprek van de burens is hoorbaar, maar niet verstaanbaar)
- Goed: $I_{lu;k}$ van +5 tot + 10 dB(A) (normaal gesprek van de burens is niet hoorbaar, lopen met hard schoeisel over harde vloerbedekking is goed hoorbaar en soms hinderlijk)
- Zeer goed: $I_{lu;k}$ groter dan + 10 dB(A) (muziekinstrumenten, feestjes, en lopen met hard schoeisel over harde vloerbedekking is eventueel hoorbaar maar niet hinderlijk)

D.4.4.2 Geluid van burens

Leidelmeijer en Marsman⁹⁹ hebben in hun rapport 'Geluid van burens: horen, hinder en sociale normen' gerapporteerd over horen en hinder van geluid van burens overdag en 's nachts op basis van interviews onder 1242 huishoudens in Nederland. In vervolg op de

vragenlijst zijn bij 50 huishoudens geluidmetingen verricht. De onderzoekers onderscheidde vijf soorten geluid:

- sanitair- en installatiegeluid
- contactgeluid
- geluid van radio, tv en stereo
- doe-het-zelf-geluid
- huisdieren.

Er is onderscheid gemaakt naar de plaats in het huis waar het geluid gehoord en er eventueel hinder van ondervonden werd. In Tabel 19 is een resultaat samengevat. Percentage horen is het percentage ondervraagden dat een soort geluid hoort. Het percentage ondervraagden dat het geluid tolereert is het percentage van de hoorders dat niet gehinderd werd door het geluid.

Tabel 19 Het percentage ondervraagden dat een soort geluid kon horen en het percentage ondervraagden dat een soort geluid tolereerde, dat wil zeggen dat ondanks het horen van een soort geluid er geen hinder van ondervond werd (100 - percentage gehinderden als geluid gehoord werd)⁹⁹.

Plaats in huis	Sanitair en installatie-geluid		Contactgeluid		Geluid van audioapparaat		Doe-het-zelf-geluid		Huisdieren	
	% dat geluid hoort	% dat tolereert	% dat geluid hoort	% dat tolereert	% dat geluid hoort	% dat tolereert	% dat geluid hoort	% dat tolereert	% dat geluid hoort	% dat tolereert
Woonkamer	18	80	37	86	35	85	15	67	12	88
Keuken	12	93	16	87	12	91	8	80	5	88
Slaapkamer ouders	19	76	22	73	12	74	8	65	6	76
Kinderkamer(s)	5	88	8	75	3	57	2	75	2	70
Badkamer	13	97	6	83	3	100	2	89	1	100
Overige kamers	4	95	3	87	1	80	1	100	0	100
Gang/hal/trap	9	80	8	100	5	100	2	100	2	100
Gehele huis	10	91	14	71	5	73	28	89	8	86

Duidelijk is dat de ondervraagden het minst tolerant waren over geluid van burens dat in de ouderslaapkamer gehoord werd. Er is ook gevraagd naar het wel of niet acceptabel vinden van het horen van geluiden naar tijdstip van het etmaal. Voor elk van de vijf typen geluid vond globaal 10 tot 15 procent van de ondervraagden het horen overdag niet acceptabel (voor huisdieren ligt het percentage op 20, voor doe-het-zelf geluiden doordeweeks op 5 procent en zondags op 17 procent, voor geluid van audioapparatuur op 15 procent). In de avond namen de percentages ondervraagden die een type geluid niet acceptabel vonden om te horen toe, en de percentages zijn 's nachts (tussen 23 en 7 uur) het hoogst. Globaal vond bijna 30 procent van de ondervraagden dat 's nachts sanitair niet hoorbaar mag zijn, en over elk van de overige vier typen geluiden was ongeveer 50 procent van de ondervraagden die mening toegedaan.

De onderzoekers concluderen dat het horen van geluid van buren lang niet altijd als hinderlijk wordt ervaren. Of men gehinderd is hangt af van het tijdstip, de plaats in huis waar het geluid gehoord wordt, de hardheid, of het geluid aangekondigd is, de frequentie waarmee het geluid wordt gehoord, de duur van het geluid, het idee of het geluid vermijdbaar is, en het aantal bronnen.

Er is ook gevraagd of men stemgeluid van buren in de woning kon horen. Gemiddeld (het percentage hangt af van het type huis) was gewone spraak in 35 procent van de woningen ten minste enigszins te horen, waarbij in ongeveer 8 procent van de woningen deels tot goed verstaanbaar. Werd met stemverheffing gesproken, dan was het spreken in ongeveer 65 procent van de woningen ten minste enigszins te horen, waaronder in 27 procent van de gevallen deels tot goed verstaanbaar (waaronder goed verstaanbaar in ongeveer 10 procent van de woningen van de ondervraagden).

Op basis van de isolatie-metingen in 50 woningen kon geen statistisch significante samenhang tussen de lucht- en contactgeluidsisolatie-index en het horen van de (lucht)geluid uit buurwoningen worden vastgesteld.

In 1993 is door Kranendonk en collega's een synthese gegeven van tot dan verricht onderzoek naar hinder door burengeluid¹⁰⁰. Zij hebben in hun synthese 4 Nederlandse, een Zweeds, Engels, en Frans onderzoek betrokken. Zowel de effectmaat (hinderscore) als de wijze van bepalen van de lucht- en contactgeluidsisolatie verschilden van onderzoek tot onderzoek. Hoewel het volgens de onderzoekers moeilijk is om alle gegevens in één beoordelingskader samen te brengen, resulteerde de synthese toch in een tabel (zie Tabel 20). De gemiddelde hinderscore is bepaald op een 7 puntsschaal, met de waarde 7 als geheel niet gehinderd en 1 als zeer gehinderd. Uit Tabel 20 blijkt dat een I_{lu} van 0 correspondeert met een gemiddelde hinderscore van 5, met 10 procent erg gehinderden, en met 25 procent gehinderden.

Tabel 20 Akoestische prestatie van een woning (in termen van I_{lu} en I_{co}) en de gemiddelde hinderscore en de percentages erg gehinderden en gehinderden¹⁰⁰.

I_{lu}	I_{co}	Gemiddelde hinderscore	percentage erg gehinderden	percentage gehinderden (inclusief erg gehinderden)
-13	-5	3	50	75
-7	0	4	25	50
0	+6	5	10	25
+7	+11	6	2,5	10
+13	+17	7	0,5	2,5

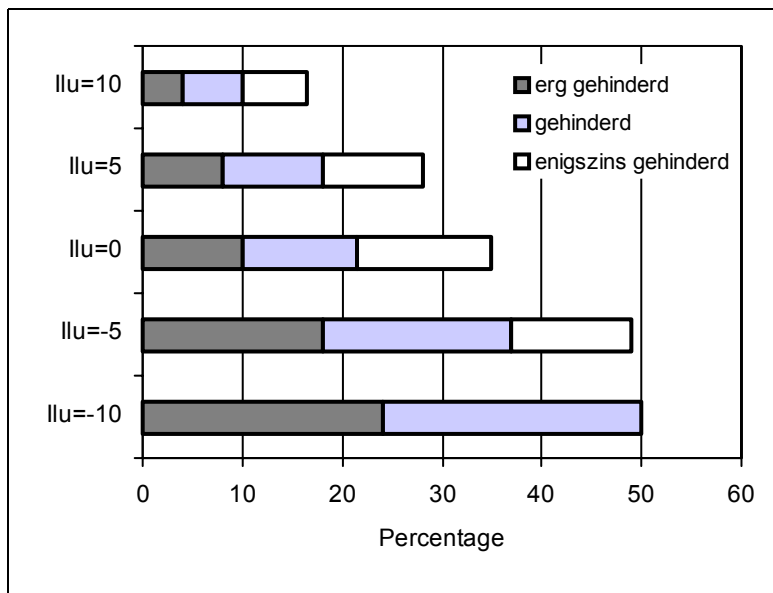
Door TNO¹⁰¹ is een rapport uitgebracht over de samenhang tussen het geluid van buren en de lucht- en contactgeluidsisolatie-indices I_{lu} , $I_{lu;k}$, en I_{co} , op basis van een vra-

genlijstonderzoek onder de bewoners van 600 woningen, waarbij van 202 woningen tevens de akoestische kwaliteit is vastgesteld. Zij stelden vast dat bijna de helft van de respondenten dagelijks geluiden uit buurwoningen hoorde. Ongeveer 10 procent van de ondervraagden ondervond erge hinder hierdoor. De meeste hinder werd veroorzaakt door het hard aanstaan van radio, stereo, en tv, het slaan van deuren, loopgeluiden op vloeren en trappen. Bijna alle respondenten zeiden bij hun eigen gedrag rekening te houden met hun burens en 80 procent vonden zichzelf erg tolerant ten opzichte van het geluid van burens.

Er is geen verband gevonden tussen hinder door contactgeluiden en I_{co} . Dat verwondert de onderzoekers niet, omdat er niet veel spreiding in de contactgeluid-index van de woningen bleek te zijn.

Het verband tussen de percentages gehinderden en I_{lu} is gegeven in Figuur 28.

De in het onderzoek gevonden percentages (erg) gehinderden bij een bepaalde I_{lu} komen redelijk goed overeen met de gegevens uit het rapport van Kranendonk en collega's¹⁰⁰. Bij I_{lu} gelijk aan 0 zijn de percentages perfect met elkaar in overeenstemming, bij hogere en lagere waarden van I_{lu} is er een klein verschil.



Figuur 28 Het percentage erg gehinderden, gehinderden, en enigszins gehinderden door geluiden vanuit buurwoningen¹⁰¹.

D.4.5 Gegevens uit inventarisatieonderzoeken

In het landelijk inventarisatieonderzoek⁹ dat in 1998 is gehouden is de vraag gesteld: in welke mate wordt uw slaap wel of niet verstoord door het geluid van (bron invullen), met 0 = helemaal niet verstoord, en 10 = heel erg verstoord. Op een gestandaardiseerde wijze is door de onderzoekers het percentage respondenten met zelfgerapporteerde slaapverstoring en met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring bepaald. Daartoe transformeerden zij de 11-puntsschaal in een continue schaal van 0 tot 100. Respondenten die op die schaal ten minste 50 scoren werden omschreven als respondenten met zelfgerapporteerde slaapverstoring, respondenten die ten minste 72 scoren als respondenten met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring. Dat impliceert dat de respondenten met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring ook behoren tot de groep respondenten met zelfgerapporteerde slaapverstoring.

In Tabel 21 is per geluidsbron het percentage respondenten met zelfgerapporteerde slaapverstoring en met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring gegeven. De gegevens kunnen niet per brongroep vergeleken worden door ze simpelweg per brongroep op te tellen, omdat het niet redelijk is om te veronderstellen dat het percentage personen met (erge) slaapverstoring door een brongroep de som is van de percentages voor de afzonderlijke geluidsbronnen binnen de brongroep. Wat betreft het (weg-, vlieg-, rail)verkeer zijn personenauto's, vrachtauto's, en bromfietsen de bronnen die het meest omvangrijk slaapverstoring veroorzaken (bij respectievelijk 7, 6, en 10 procent van de respondenten). Wat betreft burenen- en buurtgeluiden scoren contactgeluiden (traplopen, slaan van deuren), (radio, stereo, televisie) en andere geluiden door menselijke activiteit met respectievelijk 8, 6, en 8 procent van de respondenten het hoogst. Slaapverstoring door vlieg- en railverkeersbronnen en door bronnen van industriële activiteit komt (veel) minder voor dan slaapverstoring door bovengenoemde bronnen.

Tabel 21 Slaapverstoring door geluid afkomstig van diverse soorten bronnen⁹.

Brongroep	Geluidsbron	Percentage respondenten met zelfgerapporteerde slaapverstoring	Percentage respondenten met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring
wegverkeer	Personenauto's en taxi's	7	2
	Bestelauto's	3	1
	Vrachtauto's	6	3
	Bussen	2	1
	(Cross)motoren	5	2
	Bromfietsen	10	4
	Snorfietsen	4	2

	Militaire voertuigen	0	0
vliegverkeer	Passagiers- en vrachtvliegtuigen	4	2
	Sport-, zaken-, en reclamevliegtuigjes	0	0
	Militaire vliegtuigen (geen helikopters)	2	1
	Helikopters	1	0
railverkeer	Treinen	2	1
	Trams	0	0
	Metro	0	0
scheepvaart	Beroepsscheepvaart	0	0
	Pleziervaart	0	0
(Industriële) bedrijvigheid	Winkelstraatgeluiden	0	0
	Fabrieken en bedrijven	1	0
	Terreinen of plaatsen voor laden en lossen	1	1
	Parkeergelegenheden voor vrachtwagens	1	0
	Rangeerterreinen en spoorwegemplacements	1	0
	Bouw- en sloopterreinen	1	0
	Wegenbouw	1	0
	Landbouwtrekkers	1	0
	Burgerschietsbanen	0	0
	Militaire oefen- en schietterreinen, -banen	0	0
Recreatieve activiteiten	Kermis, circus, pretpark, braderie	3	1
	Disco, dancing, andere horeca	2	1
	Oefenlokalen voor muziekverenigingen	0	0
	Sportveld, stadion, sporthal, zwembad, tennis-	1	0
	Race- en crosscircuit, skelterbanen	0	0
	Ultralichte vliegtuigjes	0	0
	Modelvliegtuigjes	0	0
	Massa-evenementen in de open lucht	2	1
Geluiden in buurwoningen	Sanitaire en installatiegeluiden (wc, vc)	3	1
	Contactgeluiden (traplopen, slaan deuren)	8	3
	Radio, stereo, televisie	6	3
	Doe-het-zelf-apparaten	4	2
	Huisdieren	5	2
Overige geluiden in de woonomgeving	Geluiden van tuinonderhoud van burens	1	0
	Geluiden uit openbare ruimten rond woning	1	0
	Geluiden van buitenspelende kinderen	2	1
	Geluid van onderhoud straten/openbaar groen	3	1
	Andere menselijke geluiden	8	3
	Geluiden van (huis)dieren van burens	5	2
	Kerkklokken, moskee	3	2
	Glasbakken	1	0

In 2000 is door de GGD Noord-Kennemerland een schriftelijk inventarisatieonderzoek uitgevoerd bij een steekproef van 7728 personen (respons 68 procent, dat wil zeggen ongeveer 5250 personen hebben de vragenlijst ingevuld) in negen gemeenten in Noord-Kennemerland (Akersloot, Alkmaar, Bergen, Egmond, Graft de Rijp, Heiloo, Limmen, Schermer, Schoorl)¹⁸⁶. Er is een aantal vragen gesteld die identiek waren aan die uit het landelijke inventarisatieonderzoek⁹. Met betrekking tot zelfgerapporteerde erge slaapverstoring is het resultaat gegeven in Tabel 22 en vergeleken met de uitkomsten van de landelijke inventarisatie. De percentages personen met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring in Noord-Kennemerland liggen een factor 2 hoger dan landelijk. Omdat er over het gebied Noord-Kennemerland geen geluidsbelastingcijfers bekend zijn, kan niet worden nagegaan of deze factor 2 (mede) het gevolg is van hogere geluidsbelastingen dan landelijk voorkomen. Uit cijfers over geheel Noord-Holland in 2000/2001 blijkt dat 6,3% van de woningen in dat gebied een *Lnight* door vliegverkeer hebben van 40 dB(A) en hoger, terwijl dat percentage landelijk 1,9 is¹⁵. Verder scoort Noord-Holland ongeveer gelijk aan geheel Nederland wat betreft geluidsbelasting door rijkswegen, gemeentewegen, en railverkeer. Voor binnenstedelijk wegverkeer (dat wil zeggen de bron die de omvangrijkste geluidsbelasting in Nederland veroorzaakt) is in het per 24-05-2004 gecorrigeerde rapport geen uitsplitsing naar provincie gemaakt¹⁵. Over eventuele verschillen tussen de geluidsbelasting door binnenstedelijk wegverkeer in Noord-Holland en in geheel Nederland kunnen dus geen vergelijkingen worden gemaakt.

Tabel 22 Slaapverstoring door geluid in Noord-Kennemerland¹⁸⁶.

Bron	Percentage respondenten met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring, Noord-Kennemerland	Percentage respondenten met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring, landelijk
Bromfietsen	10	4
Burengeluiden	7	3
Motorfietsen	6	2
Vrachtauto's	5	3
Personenauto's	5	2
Vliegtuigen	4	2
Anders	3	

Slaapstoornissen en slaapproblemen

De commissie geeft in deze bijlage een overzicht van slaapstoornissen en slaapproblemen. De nadruk ligt op slapeloosheid. Zijdelings komen andere slaapstoornissen aan de orde.

E.1 Wat is slapeloosheid

Slapeloosheid kan optreden zonder dat ze terug te voeren is tot een bepaalde ziekte of aandoening: primaire slapeloosheid. Secundaire slapeloosheid is een bijkomend verschijnsel van een ziekte of aandoening. Omschrijvingen van primaire slapeloosheid zijn te vinden in de *ICD-10 classification of mental and behavioral disorders: clinical description and diagnostic guidelines* van de WHO⁹⁰, *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-IV)* van de *American Psychiatric Association*¹⁸⁷, en *Beknopte handleiding bij de Diagnostische Criteria van de DSM-IV*¹⁸⁸. Primaire psychofysiologische insomnie is in de Nederlandse handleiding als volgt gedefinieerd:

- De voornaamste klacht is moeite met inslapen of doorslapen, of niet uitgerust zijn na de slaap, gedurende ten minste één maand
- De slaapstoornis (of de bijbehorende vermoeidheid overdag) veroorzaakt in significante mate lijden of beperkingen in het sociaal of beroepsmatig functioneren of het functioneren op andere belangrijke terreinen
- De slaapstoornis komt niet uitsluitend voor in het beloop van narcolepsie, slaapgebonden ademhalingsstoornis, slaapstoornis gebonden aan de circadiane ritmiek of parasomnia

- De stoornis is niet het gevolg van de directe fysiologische effecten van een middel (drug, geneesmiddel) of een somatische aandoening
- De stoornis komt niet uitsluitend voor in het beloop van een andere psychische stoornis (bijvoorbeeld depressieve stoornis, gegeneraliseerde angststoornis, een delirium).

Het optreden van chronische primaire psychofysiologische insomnie wordt gezien als het samengaan van endogene oorzaken, initiërende factoren, en factoren die de slapeloosheid in stand houden¹⁸⁹. Endogene oorzaken zijn fysiologische factoren zoals snellere hartslag, verhoogde spierspanning en lichaamstemperatuur, samen te vatten als een verhoogd fysiologisch arousalniveau, en psychologische factoren als angst, gespannenheid, en het onvermogen om het malen van de gedachten tegen te gaan¹⁹⁰.

Factoren waardoor slapeloosheid voortduurt en die verbetering (genezing) in de weg staan, zijn slechte (niet aangepaste) slaapgewoonten (verkeerd gebruik slaapmiddelen, te lang in bed, onregelmatig slaapschema, te veel dutjes overdag) en tobben over de mogelijke gevolgen van een tekort aan slaap (angst voor falen overdag, angst om de controle over situaties te verliezen, aangeleerde hulpeloosheid).

Volgens Vgontzas en collega's¹⁹¹ ondersteunt hun epidemiologisch onderzoek de hypothese dat er bij primaire slapeloosheid met name sprake is van chronische hyperarousal, die niet alleen 's nachts maar het gehele etmaal optreedt. Zij zijn van mening dat er relatief weinig onderzoek is gedaan naar het effect van primaire slapeloosheid op het cardiovasculaire systeem. Hun resultaten zouden erop wijzen dat mensen met primaire slapeloosheid niet alleen een verhoogde kans hebben op psychische aandoeningen, maar ook op onder meer hypertensie en vetzucht (met de bijbehorende metabolische afwijkingen). Zij vinden tevens dat behandeling van slapeloosheid als kernpunt de aanpak van hyper-arousal zou moeten hebben, en niet de behandeling van het bij hyper-arousal optredende bijverschijnsel slapeloosheid.

Secundaire slapeloosheid (insomnia in samenhang met een andere psychische stoornis) moet volgens de *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (DSM-IV)¹⁸⁷ en de *Nederlandse handleiding*¹⁸⁸ ook aan de eerste vier bovenstaande voorwaarden voldoen en tevens moet de slapeloosheid verband houden met een zogenoemde As I of As II stoornis (bijvoorbeeld depressieve stoornis, gegeneraliseerde angststoornis, aanpassingsstoornis met angst), en voldoende ernstig zijn om afzonderlijke zorg te rechtvaardigen.

Secundaire slapeloosheid kan ook het gevolg zijn van andere aandoeningen, zoals pijn, depressie, rusteloze benen in de nacht, en alcoholmisbruik. Werken in wisselende diensten, waaronder in de nacht, kan chronische slapeloosheid induceren of verergeren.

E.2 *Wat is de prevalentie van slapeloosheid*

Ohayon beschrijft meer dan 50 onderzoeken naar de prevalentie van slapeloosheid in algemene zin, dus niet alleen primaire psychofysiologische insomnie, onder de algemene bevolking¹⁹². De behandelde onderzoeken geven schattingen van de prevalentie van slapeloosheid gebaseerd op vier verschillende criteria: moeite om in slaap te komen dan wel te blijven, verschijnselen van slapeloosheid 's nachts met overdag last van een tekort aan slaap, zelfgerapporteerde ontevredenheid over de slaapkwaliteit, gediagnosticeerde slapeloosheid volgens DSM-IV. Ongeveer éénderde van de algemene bevolking heeft volgens het eerste criterium wel eens last van slapeloosheid. Als de tweede definitie wordt gehanteerd betreft het 9 tot 15 procent van de algemene bevolking. De derde definitie levert slapeloosheid in 8 tot 18 procent van de algemene bevolking en de vierde definitie, dat wil zeggen de classificatie volgens DSM-IV, resulteert in slapeloosheid in gemiddeld 6 procent van de algemene bevolking. Volgens elk van de vier criteria is de prevalentie van slapeloosheid hoger onder vrouwen dan onder mannen. Tevens nemen de verschijnselen van slapeloosheid toe met de leeftijd, behalve in geval van de zelfgerapporteerde ontevredenheid over de slaapkwaliteit.

Een andere benadering is een schatting van de kans op een belangrijke slaapstoornis ergens gedurende het leven. Deze schatting komt uit op ongeveer 30 procent¹⁹³, dat wil zeggen elke Nederlander heeft ongeveer een kans van één op drie dat hij gedurende zijn leven op zeker moment met een belangrijke slaapstoornis te maken krijgt.

In een Duits onderzoek onder 2000 volwassenen is het verband onderzocht tussen slapeloosheid (volgens de definitie van DSM-IV) en kwaliteit van leven (bepaald met de verkorte vragenlijst SF-36)¹⁹⁴. Van de personen die aan slapeloosheid leden beoordeelde 22 procent hun kwaliteit van leven als 'slecht' en 28 procent als 'goed', terwijl voor de ondervraagden zonder slaapproblemen deze percentages respectievelijk 3 en 68 procent waren. Aangezien slapeloosheid niet de enige factor is die verband houdt met de kwaliteit van leven van de onderzochten, maar ook andere ziekten en aandoeningen, moeten deze resultaten met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Ook onder jongeren komen slaapproblemen voor. Kim en collega's¹⁹⁵ ondervroegen 1365 Chinese jongeren tussen 12 en 18 jaar over mogelijke slaapproblemen. Bijna 17 procent van de jongeren rapporteerde symptomen van slapeloosheid, waaronder moeite met inslapen (11 procent), 's nachts wakker worden (6 procent), en 's morgens te vroeg wakker worden (2 procent).

Naast onderzoek naar de prevalentie van slapeloosheid onder de algemene bevolking heeft veel onderzoek plaatsgevonden waaruit blijkt dat de prevalentie van slapeloosheid bij groepen met bepaalde ziekten of aandoeningen veelal hoger ligt dan bij de algemene bevolking¹⁹⁶⁻²²¹. Er bleek onder meer dat zwangere vrouwen en vrouwen in

de periode tot ongeveer een jaar na de zwangerschap een verhoogde kans hebben op slapeloosheid²²².

E.3 Gevolgen slapeloosheid en slaapproblemen, verband met andere ziekten en aandoeningen

E.3.1 Rechtstreekse gevolgen van slapeloosheid

Slapeloosheid heeft volgens Stolk en collega's⁹¹ een substantieel negatief effect op de kwaliteit van leven. Zij geven slapeloosheid, zoals gediagnostiseerd door de huisarts, een gewicht voor kwaliteit van leven van 0,83. Dat betekent dat een jaar lijden aan slapeloosheid 0,17 gezonde levensjaren vergt. Ook uit andere publicaties komt een negatief effect van slapeloosheid op kwaliteit van leven naar voren^{18,194,223-226}. Mensen met chronische slapeloosheid van welke aard ook leveren tijdens het werk een verminderde prestatie en hebben problemen met onthouden en zich concentreren²²⁷. Slapeloosheid verhoogt ook het gebruik van gezondheidszorgvoorzieningen en het gebruik van medicijnen, zoals slaap- en kalmeringsmiddelen^{18,194,223,224}.

E.3.2 Samenhang van slapeloosheid met andere aandoeningen en ziekten

Bij het beoordelen van de samenhang tussen slapeloosheid en andere aandoeningen en ziekten moet onderscheid gemaakt worden tussen een associatie en een oorzakelijke verband. In veel onderzoek blijkt wel een samenhang tussen afwijkingen, maar is de oorzaak-gevolgketen niet aan te geven. Schwartz en collega's hebben een uitgebreid overzicht opgesteld over slapeloosheid, *hartziekten, en kans op overlijden* op basis van epidemiologische onderzoeken²²⁸. Zij achten het waarschijnlijk dat slapeloosheid en bijkomende vermoeidheid overdag een onderdeel is van een achterliggend syndroom dat verband houdt met chronische stress, autonoom disfunctioneren veroorzaakt en een verhoogde kans geeft op hartziekten. Tot eenzelfde conclusie komen Shaver en collega's²⁰¹ op basis van een onderzoek onder vrouwen van middelbare leeftijd.

Leeftijd als zodanig is niet een bepalende factor voor het optreden van slapeloosheid^{209,225,229-231}, maar veel meer het met toenemende leeftijd veelal toenevend gebrek aan fysieke activiteit, met verandering van andere leefstijlfactoren (vetzucht, gebruik van alcohol), met ontevredenheid over de sociale omgeving, en met ziekten en afwijkingen.

Om de vraag te beantwoorden of chronische slapeloosheid leidt tot een verhoogde kans op *hypertensie* hebben Suka en collega's een vijf jaar durend longitudinaal onderzoek uitgevoerd onder 4800 Japanse werknemers²³². De conclusie van het onderzoek is dat zowel bij personen die moeite hebben met inslapen, als bij personen die moeite heb-

ben met doorslapen de kans op het ontwikkelen van hypertensie verhoogd is (OR respectievelijk 1,9 en 2,0).

Er is veel onderzoek verricht naar *depressies* en, in een aantal onderzoeken niet nader gedefinieerde, slapeloosheid^{196,198,201,206,207,211,212,215,218,220,221,224-226,233-246}. In de meeste onderzoeken werd een statistisch significante samenhang gevonden, zonder dat er een causaal verband kon worden aangetoond. Een uitzondering vormt het twaalf jaar durende longitudinale onderzoek door Mallon en collega's²²⁰. Bij vrouwen bleek slapeloosheid aan het begin van het onderzoek een statistisch significante voorspeller te zijn van het ontstaan van een depressie gedurende de 12 jaar van het onderzoek (*odds ratio* = 4,1). Bij mannen bleek slapeloosheid geen voorspeller te zijn voor depressie op een later tijdstip.

E.3.3 *Samenhang van slaapstoornissen en slaapproblemen met verkeersongevallen*

Ohayon en collega's, die een zeer groot aantal epidemiologische onderzoeken op hun naam hebben staan^{192,213,214,231,244,247-255}, zijn van mening dat *ontevredenheid over de slaapkwaliteit* veel nauwer samenhangt met slaappathologie dan de verschijnselen van slapeloosheid als zodanig.

Er wordt nog al eens verondersteld dat slaapproblemen een rol spelen bij *verkeersongelukken*. Dit moet niet verward worden met de kans op een verkeersongeval als men incidenteel door te lang wakker te zijn gebleven een slaapschuld heeft opgebouwd (slaapdeprivatie). Door Webb²⁵⁶ wordt op basis van de gegevens uit het *CARfile-onderzoek* uit 1985 geconcludeerd dat bij 1,6 procent van de ongelukken slaperigheid de voornaamste oorzaak van het ongeval was.

Door Connor²⁵⁷ is een omvangrijk overzicht opgesteld naar het effect van slaapstoornissen op auto-ongelukken. Zij kon uit de gegevens van de cross-sectionele onderzoeken geen verband afleiden tussen slapeloosheid en de kans op een auto-ongeluk. Het case-control onderzoek²⁵⁸ leverde wel een statistisch significante samenhang tussen slaap apneu en de kans op letstel door een auto-ongeluk.

E.3.4 *Samenhang van slaapstoornissen en slaapproblemen met ongevallen tijdens het werk*

Uit een aantal onderzoeken blijkt dat slaapproblemen de kans op een (fataal) beroepsongeval tijdens het werk doen toenemen^{256,259-263}. Akerstedt en collega's²⁵⁹ interviewden per telefoon over een periode van 20 jaar 47 860 personen (mannen en vrouwen) over slaap- en gezondheidsfactoren en over specifieke factoren die met het werk te maken hadden. Met behulp van het overlijdensregister (waarbij de gevallen van zelfmoord werden uitgesloten) werden 166 fatale beroepsongevallen gedetecteerd. Statistisch significante voorspellers bleken te zijn: geslacht, problemen met slapen in de twee weken voor

het interview (relatief risico 1,6, 95%-betrouwbaarheidsinterval 1,2 – 2,9), en werk buiten de normale werkuren overdag (relatief risico 1,9, 95%-betrouwbaarheidsinterval 1,1 – 2,5).

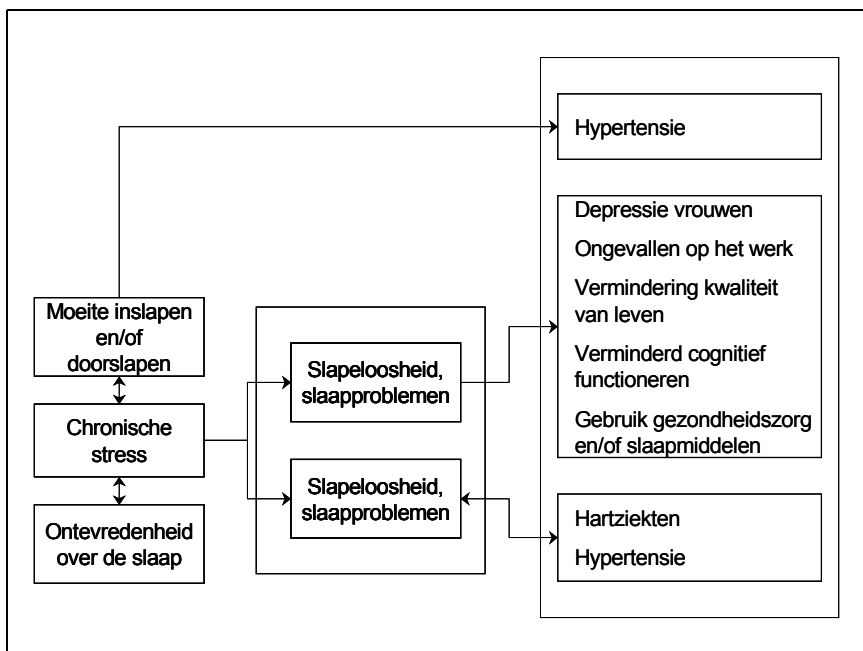
Chau en Gauchard²⁶⁰ toonden bij onderzoek onder 880 bouwvakkers aan dat problemen met de slaap de kans op een ongeval door een bewegend voorwerp op de bouw verhoogde (*odds ratio* 2,3, 95%-betrouwbaarheidsinterval 1,3 – 4,1).

Dezelfde onderzoekers²⁶¹ vergeleken 427 vrouwen die door het (fysiek) uit balans raken een beroepsmatig valongeluk hadden opgelopen met ziekteverlof tot gevolg, met een referentiegroep van 427 vrouwen. Op basis van interviews door bedrijfsartsen stelden zij vast dat er een samenhang is tussen slaapproblemen en de kans op een beroepsmatig valongeluk.

Lindberg en collega's²⁶² hielden een prospectief onderzoek onder 2874 mannen, die een vragenlijst aan het begin van het onderzoek invulden, en waarvan er 10 jaar later 2009 nogmaals een vragenlijst invulden. Informatie over beroepsmatige ongevallen werd verkregen uit een nationaal register: er bleken 345 bedrijfsongevallen te zijn gebeurd onder 247 van de 2009 mannen. De mannen die aan het begin van het onderzoek aangaven zowel te snurken als zich overdag slaperig te voelen bleken statistisch significant meer bedrijfsongevallen te hebben meegemaakt, waarbij met vele andere factoren die effect kunnen hebben op de samenhang tussen slaapproblemen en bedrijfsongeval rekening gehouden werd (*odds ratio* 2,2, 95%-betrouwbaarheidsinterval 1,3 – 3,8). Er bleek geen statistisch significante samenhang bij snurkers zonder slaperigheid overdag, en ook niet bij niet-snurkers met slaperigheid overdag.

Melamed en Oksenberg²⁶³ onderzochten bij 532 industriële werknemers het effect van slaperigheid op de kans op een ongeval tijdens het werk. Met behulp van een groot aantal vragen werd het aantal ongevallen geïnventariseerd in de twee jaar voor het interview. Daaruit bleek dat de kans op een ongeval tijdens het werk bij degenen met slaperigheid statistisch significant hoger was dan onder degenen die zich niet slaperig voelden (*odds ratio* 2,2, 95%-betrouwbaarheidsinterval 1,3 – 3,8).

In Figuur 29 zijn de oorzaken en gevolgen van slapeloosheid en slaapproblemen in beeld gebracht, evenals de samenhang tussen slapeloosheid en slaapproblemen en andere ziekten en aandoeningen.



Figuur 29 Oorzaken en achtergronden van slapeloosheid en slaapproblemen (chronische stress, ontevredenheid over de slaap, moeite met inslapen en/of doorslapen), gevolgen van slapeloosheid/slaapproblemen (aangegeven met →) en samenhang van slapeloosheid en slaapproblemen met andere ziekten en aandoeningen (aangegeven met ↔).

E.3.5 Gevolgtrekkingen

Uit het voorgaande volgt:

- Slapeloosheid heeft een negatief effect op de kwaliteit van leven. Mensen met chronische slapeloosheid leveren tijdens het werk een verminderde prestatie en hebben problemen met onthouden en zich concentreren. Slapeloosheid verhoogt het gebruik van gezondheidszorgvoorzieningen en het gebruik van medicijnen, zoals slaap- en kalmeringsmiddelen. Slapeloosheid en bijkomende vermoeidheid overdag is een onderdeel van een achterliggend syndroom dat verband houdt met chronische stress, en autonoom disfunctioneren veroorzaakt
- Mensen die lijden aan slapeloosheid hebben een verhoogde kans op depressies (vrouwen), vetzucht (met de bijbehorende metabolische afwijkingen), en hartziekten
- Bij personen met slaapproblemen is de kans op het ontwikkelen van hypertensie verhoogd

- Bij mensen met slaapproblemen in het algemeen (moeite met inslapen, moeite met doorslapen, wakker liggen in de nacht) is een verhoogde kans op een beroepsongeval geconstateerd.

Voor een speciale gevoeligheid voor slapeloosheid blijkt uit het voorgaande dat:

- Door de samenhang van slapeloosheid met depressie, hypertensie, obesitas, en hartziekten worden mensen met deze aandoeningen als extra gevoelig voor slapeloosheid aangemerkt. Ook zwangere vrouwen en vrouwen in de periode tot ongeveer een jaar na de zwangerschap hebben een verhoogde kans op een periode van slapeloosheid
- Leeftijd als zodanig is niet een bepalende factor voor het optreden van slapeloosheid maar veel meer het met toenemende leeftijd veelal toenemend gebrek aan fysieke activiteit, met verandering van andere leefstijlfactoren (vetzucht, gebruik van alcohol), met ontevredenheid over de sociale omgeving, en met ziekten en afwijkingen. Daardoor zijn ook ouderen aan te wijzen als extra gevoelig voor slapeloosheid en slaapproblemen.

GR-advies Omgevingslawaai beoordelen (1997/23)

Methodiek

In het advies van de Gezondheidsraad uit 1997 *Omgevingslawaai beoordelen*⁸ heeft de Commissie Uniforme geluiddosismaat een methodiek ontwikkeld voor het vaststellen van de geluidsbelastingen die representatief zijn voor het etmaal (EEL) en voor de nacht (ENEL). Deze methode bestaat uit vijf stappen:

- 1 *frequentieweging van momentane geluiddrukkniveaus*
Gekozen is voor de A-weging, het resultaat is het geluidniveau in dB(A), zowel voor een beoordeling over het etmaal als over de nacht
- 2 *aanpassing voor bijzondere kenmerken en combinatie van geluidniveaus*
De commissie heeft aan geluid en geluidssituaties gedurende het etmaal of de nacht met de kenmerken a, b, en c de volgende aanpassingsfactoren toegekend:
 - a blootstelling aan industrieel geluid van laag niveau zonder impulscomponenten; aanpassingsfactor boven 60 dB(A) 0 dB(A), bij 40 dB(A) 10 dB(A), in het tussengelegen gebied lineaire interpolatie
 - b situaties waarin hoorbare tonen deel uitmaken van het geluid; aanpassingsfactor tussen 0 en 5 dB(A), afhankelijk van de frequentie van de toon en het verschil tussen geluidniveau van de toon en het heersende achtergrondgeluidniveau
 - c situaties waarin het geluid (sterke) impulscomponenten bevat; aanpassingsfactor 5 dB(A) voor impulsgeluid (zoals laag overkomende straaljager, dichtslaande autodeur, kerkklok) en 12 dB(A) voor zeer impulsachtig

geluid (zoals schietgeluid, metaalbewerking, pneumatisch hameren, spoorwegemplacements).

De aanpassingsfactoren zijn onder enig voorbehoud voor een beoordeling van een situatie over het etmaal gegeven. Met betrekking tot een beoordeling over de nacht stelde de commissie dat overwogen is of ook met het oog op slaapverstoring aanpassingen nodig zijn. “Hoewel daar geen wetenschappelijk bewijs voor is, acht zij het waarschijnlijk dat nachtelijke blootstelling aan geluid met bijzondere kenmerken die extra hinder veroorzaken, ook leidt tot meer slaapverstoring. Het lijkt daarom verstandig de aanpassingsfactoren voor het etmaal ook toe te passen voor nachtelijke geluidblootstelling”.

Voor de combinatie van geluidniveaus over een dagdeel, inclusief aanpassingsfactoren over de intervallen waarin een bijzonder kenmerk voorkomt, is gekozen voor het equivalente geluidniveau over een bepaalde periode

3 *combinatie van (aangepaste) equivalente geluidniveaus voor dagdelen tot een waarde die representatief is voor een etmaal*

Voor de dag van 7 tot 19 uur heeft de commissie gekozen voor een aanpassing van 0 dB(A), voor de avond van 19 tot 23 uur van 5 dB(A) en voor de nacht van 23 tot 7 uur van 10 dB(A). De aangepaste equivalente geluidniveaus worden exponentieel gemiddeld. Stap 3 is niet van toepassing om te komen tot ENEL, omdat nacht uit één dagdeel bestaat

4 *combinatie van waarden voor dagelijkse blootstelling tot een representatieve waarde voor een jaar*

Er zijn geen aanpassingsfactoren voorgesteld voor het seizoen en de dag van de week (weekend). De equivalente geluidniveaus over elk etmaal van een jaar worden exponentieel gemiddeld. Dit levert $L_{adjusted,den}$. Met betrekking tot $L_{adjusted,night}$ is ook voor exponentiële middeling van equivalente geluidniveaus over de nacht gekozen

5 *aan geluidsbron gerelateerde aanpassingen*

De finale stap in de constructie van uniforme blootstellingsmaten voor het etmaal en de nacht zijn zodanige aanpassingen van $L_{adjusted,den}$ en van $L_{adjusted,night}$ dat de blootstelling-responsrelaties van de diverse geluidsbronnen samenvallen met die van een geselecteerde bron. Voor deze bron heeft de commissie wegverkeer gekozen. De voorgestelde effectmaat voor de etmaalbelasting is percentage personen met erge hinder. Er zijn echter in het buitenland ook andere effectmaten gangbaar (zoals in Duitsland: percentage personen met hinder). Om hiermee in de internationaal samengestelde commissie rekening te houden is de EEL, die gebaseerd is op percentage erge hinder, slechts als voorbeeld ontwikkeld. Met wegverkeersgeluid als referentiebron, zijn voor vlieg- en railverkeer verschillen tussen EEL en $L_{adjusted,den}$ gegeven. Deze verschillen liggen, afhankelijk van de geluidsbelasting, tussen +3 tot

+5 dB(A) voor vliegverkeer, en tussen -1 tot -8 dB(A) voor railverkeer.

De door de commissie genoemde effectmaten voor de nacht zijn percentage personen met zelfgerapporteerde erge slaapverstoring en aantal ontwakingen per jaar door een geluidsbron. Omdat de toen beschikbare blootstelling-respons voor weg-, rail- en luchtverkeersgeluid niet betrouwbaar genoeg bevonden werden, is van de constructie van ENEL afgezien.

Toepasbaarheid

De Commissie Uniforme geluidsdosismaat achtte het stelsel in de meeste situaties toepasbaar voor het beoordelen van geluid in min of meer stabiele geluidssituaties, maar niet voor het beoordelen van veranderingen in geluidssituaties op kortere termijn. Het stelsel is ook niet opgesteld voor laagfrequent geluid, geluid van incidentele bronnen - zoals overvliegende helikopters voor reddingsdoeleinden, ultra-light- en reclamevliegtuigjes -, buurt- en burengeluid.

Verdeling geluidsbelasting door verkeer in Nederland

Bijlage bij brief 1034/04 LOK/HD/wh van ir HSMA Diederer, Milieu- en Natuurplannbureau, RIVM, d.d. 23 juni 2004 aan de Gezondheidsraad

Geactualiseerde verdelingen voor Lden en Lnight

Tabel 1 Lden % woningen per geluidklasse, cumulatieve verdeling, wegverkeer, railverkeer en luchtvaart

	0-50 dB	51-55 dB	56-60 dB	61-65 dB	66-100 dB
NBG2001 ^a	32	31	25	9	3
2003 ^b	37	31	22	8	2

^a gecorrigeerde notitie 'Nachtelijke Blootstelling Geluid' d.d. 24-5-2004; geluidkaarten 100 m resolutie

^b geluidkaarten 25 m resolutie

Tabel 2 Lnight % woningen per geluidklasse, cumulatieve verdeling wegverkeer, railverkeer, luchtvaart

	0-40 dB	41-45 dB	46-50 dB	51-55 dB	56-60 dB	61-100 dB
NBG2001 ^a	23	27	30	15	4	1
2003 ^b	29	29	26	12	3	1

^a gecorrigeerde notitie 'Nachtelijke Blootstelling Geluid' d.d. 24-5-2004; geluidkaarten 100 m resolutie

^b geluidkaarten 25 m resolutie

Aanbevolen wordt voor de L_{den} en L_{night} de bovenstaande verdelingen uit tabel 1 en 2 uit 2003 aan te houden. Deze geven op dit moment de bij ons best bekende raming weer, gebaseerd op de meest recente kennis en modelontwikkeling.

Toelichting bij de gegevens

Bovenstaande verdelingen zijn gebaseerd op geluidkaarten berekend met het RIVM model EMPARA. Dit model werkt met databestanden waarin de ligging van verkeerswegen en spoorwegen is opgenomen en waaruit volgens standaard rekenmethoden de resulterende geluidbelasting op een grid wordt bepaald. Daarnaast worden geluidkaarten voor luchtvaart via het NLR verkregen.

De geluidbelasting is sinds begin 2004 vastgelegd op een grid met eenheden van 25 bij 25 m (was 100 bij 100 m). Deze resolutie sluit beter aan op de ruimtelijke variatie van geluidniveaus zoals deze in de praktijk langs verkeerswegen en spoorwegen optreden. De geactualiseerde geluidverdeling wijkt daarom enigszins af van de in 2001 vastgestelde verdeling, zij het in beperkte mate.

De gebruikte methode is beschreven in de VROM publicatie 'Naar een Landelijk Beeld van Verstoring nr. 12, 1997. Bij de gecumuleerde geluidbelasting is het wegverkeer, railverkeer en luchtvaart in de getalswaarden betrokken.

Voor de betrouwbaarheid van de verdelingen in tabel 1 en 2 is behalve het schaalniveau ook de mate waarin gebruikte verkeersgegevens actueel zijn van belang. Deze gegevens zijn voor de rijkswegen (bron AVV), spoorwegen (bron ASWIN) en provinciale wegen (ERC) en luchtvaart (bron NLR) ten behoeve van de Milieubalans van 2004 (situatie 2003) geactualiseerd en up to date.

De door ons gebruikte basisgegevens voor de gemeentelijke wegen zijn echter onvolledig en verouderd. Om toch tot een dekkend beeld te komen hebben wij de verkeersgegevens op het merendeel van de gemeentelijke wegen geschat aan de hand van het type weg en een beperkte set van beschikbare telgegevens. Aangezien de gemeentelijke verkeersgegevens voor een groot deel niet gebaseerd zijn op actuele tellingen en voorzieningen als schermen en/of stil asfalt niet zijn meegenomen kan de verkregen geluidbelasting lokaal aanzienlijk afwijken van de waarde die bij een gedetailleerd akoestisch onderzoek zou worden vastgesteld. Voor het landelijke beeld en de daarbij behorende verdeling is verondersteld dat deze afwijkingen statisch zullen uitmiddelen en dat de gegeven verdeling een redelijke schatting vormt van de werkelijke verdeling.