

RIVM rapport 715120010/2003

**Effecten van geluid door wegverkeer op de slaap**  
Een systematische review van studies in de  
woonomgeving

A.E.M. Franssen, J.M.I. Kwekkeboom

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Directoraat-Generaal Milieubeheer, in het kader van project 715120/01/GW, Verstoring, mijlpaal Meta-analyse slaapverstoring.

RIVM, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon: 030 - 274 91 11;  
fax: 030 - 274 29 71

## Woord vooraf

Dit onderzoek is tot stand gekomen in het kader van het project Gezondheids- en Welzijnseffecten Verstoring (M/715120/01/GW). Het onderzoek is uitgevoerd door de afdeling Milieu-epidemiologie van het RIVM, in opdracht van de Directie Lokale Milieukwaliteit en Verkeer van het ministerie van VROM.

Het literatuuronderzoek werd begeleid door Jan Jabben (acousticus), Hendriek Boshuizen (statistische ondersteuning), Rebecca Stellato (statistische ondersteuning) en Danny Houthuijs (milieu-epidemioloog), allen werkzaam bij het RIVM.

Aanvullend op het literatuuronderzoek heeft Linda Verhoef (milieu-epidemioloog, RIVM) extra analyses uitgevoerd op een bestaand databestand van het Schipholonderzoek van 1996. Haar rapportage is opgenomen in de bijlagen.

Het conceptrapport werd becommentarieerd door Brigit Staatsen, Irene van Kamp en Erik Lebrecht (allen RIVM, Centrum voor Milieu-Gezondheid Onderzoek). Leden van team 5 (Effects of Noise on Sleep) van ICBEN (International Commission on Biological Effects of Noise) hebben de referentielijst met de geselecteerde artikelen beoordeeld op volledigheid en aanwijzingen gegeven voor eventuele aanvullingen.

Onze dank gaat uit naar alle hierboven genoemde personen voor hun bijdrage aan dit onderzoek.

## Abstract

Policy makers in the Netherlands intend to commission a field study on sleep disturbance in relation to road traffic noise. Before such a field study was started, a systematic review of observational studies investigating the relation between traffic noise and sleep disturbance was conducted. The authors also evaluated whether a meta-analysis of the published results was possible.

Based on previously defined selection criteria, bibliographic databases were searched and experts were consulted to identify suitable publications. Out of 128 references, 34 field studies were selected for the review. These included both cross-sectional and intervention studies. Most of the studies were conducted in Europe, during the 1980's. The majority of these studies focus on more than one aspect of sleep disturbance, for example on awakenings, sleep quality, problems getting to sleep and sleep stage changes. The possibility of conducting a meta-analysis (quantitative overview) was evaluated only for sleep quality and awakenings.

On the basis of a detailed evaluation of the 34 selected studies, we concluded that a quantitative meta-analysis was not feasible, due to methodological shortcomings and heterogeneity between the studies. Notwithstanding these shortcomings, results indicate a relation of road traffic noise exposure with sleep quality and amount and duration of awakenings. Additional analyses of the relation between traffic noise exposure and sleep disturbance in the Schiphol Airport region also indicated that road traffic noise affects sleep disturbance, sleep complaints and behavior of the people living in the neighbourhood. There was no association between exposure to road traffic noise and the use of sleep medication.

## Samenvatting

Als achtergrond bij een op korte termijn te starten veldstudie naar slaapverstoring en wegverkeer is de beschikbare literatuur op het gebied van wegverkeersgeluid en slaapverstoring op een systematische wijze verzameld, beoordeeld en samengevat. Tevens is bekeken of een kwantitatieve samenvatting (meta-analyse) van de bevindingen uit gepubliceerde veldstudies mogelijk was.

Er is literatuur verzameld vanaf 1970. Bibliografische bestanden leverden 128 publicaties op die voldeden aan vooraf opgestelde selectiecriteria. Dit waren 27 veldstudies en 101 labstudies of literatuuroverzichten. Alleen de veldstudies zijn meegenomen in het onderzoek. Via de sneeuwbalmethode en via leden van de International Committee on Biological Effects of Noise (ICBEN) zijn nog 6 studies toegevoegd aan de selectie. Uiteindelijk zijn 34 veldstudies beoordeeld.

De 34 geselecteerde studies zijn zowel dwarsdoorsnede als interventiestudies, voor het merendeel uitgevoerd in Europa in de jaren tachtig. Er worden vooral volwassenen bestudeerd. In bijna alle studies werden meerdere slaapparameters gemeten. Dit zijn met name ontwakingen, slaapkwaliteit, moeilijkheden met inslapen en slaapstadium veranderingen. De blootstelling is meestal (binnen in de slaapkamer) gemeten.

Voor de twee effecten 'ervaren slaapkwaliteit' en 'ontwakingen' is beoordeeld of het kwantitatief samenvatten van de resultaten (meta-analyse) tot de mogelijkheden behoort. Hiervoor werden een aantal kwaliteitsaspecten van de studies nader in kaart gebracht. Uit deze beoordeling bleek dat de geselecteerde studies onvoldoende vergelijkbaar waren voor een meta-analyse. Belangrijke minpunten van de studies zijn dat confounders niet gemeten zijn en dat zowel de wijze waarop het effect gemeten en beoordeeld is als de blootstelling(smaten) niet vergelijkbaar zijn. Om een meta-analyses van bestaande studies mogelijk te maken dienen studies vergelijkbare elementen te bevatten, zoals een gezamenlijk design, gestandaardiseerde vragenlijsten en vergelijkbare blootstellingsmaten.

De resultaten van de bestudeerde studies naar ervaren slaapkwaliteit (n=20) en ontwakingen (n=18) geven aanwijzingen dat blootstelling aan het geluid van wegverkeer leidt tot een slechtere ervaren slaapkwaliteit en meer (of langer) ontwaken. In zes studies werd een negatief verband gevonden tussen de blootstelling aan wegverkeer en de ervaren slaapkwaliteit. In drie studies werd geen verband gevonden en de informatie van één studie was te summier om de kwaliteit ervan te kunnen beoordelen. In een aantal studies is bekeken of de ervaren slaapkwaliteit samenhangt met andere factoren dan geluid. Hieruit bleek dat onder andere leeftijd, geslacht, gezondheidstoestand, hinder door andere milieufactoren en welzijn de ervaren slaapkwaliteit kunnen beïnvloeden. Voor ontwakingen werd in negen studies een verband gevonden tussen een hogere blootstelling aan geluid door wegverkeer en meer (of langer) ontwaken. In twee studies werd geen verband gevonden en 8 studies bevatten onvoldoende informatie. Bij de interpretatie van deze resultaten moeten de beperkingen van de studies, zoals het ontbreken van versturende variabelen in de analyse of het gebruik van verschillende maten, in acht worden genomen.

Aanvullende analyses naar slaapverstoring door wegverkeer op een databestand van een vragenlijstsonderzoek naar de effecten van geluid rondom Schiphol uit 1996 geven aanwijzingen dat de slaap(kwaliteit) en het gedrag van mensen (isolatie tegen geluid van wegverkeer en ventilatiegedrag) beïnvloed worden door blootstelling aan

weggeluid. Er werd geen verband gevonden tussen de blootstelling aan wegverkeer en het gebruik van slaapmiddelen.

De hier beschreven studie biedt een goede basis voor de voorbereiding van een onderzoek naar slaapverstoring door wegverkeer. De resultaten onderstrepen de noodzaak om een veldstudie, zoals voorzien, in Nederland uit te voeren. Deze veldstudie zal blootstelling-respons relaties voor diverse slaapparameters moeten opleveren. Deze relaties kunnen vervolgens gebruikt worden voor het, met behulp van een model (bijvoorbeeld EMPARA), schatten van de omvang van slaapverstoring door wegverkeer op landelijke schaal.

# Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 <i>Aanleiding en doel</i>	7
1.2 <i>Effecten van nachtelijk geluid op de slaap</i>	7
1.2.1 Effecten	7
1.2.2 Blootstelling-respons relaties uit eerdere meta-analyses	9
1.3 <i>Afbakening</i>	9
<b>2. Literatuuronderzoek</b>	<b>11</b>
2.1 <i>Werkwijze</i>	11
2.1.1 Literatuurverzameling	11
2.2 <i>Literatuurselectie</i>	12
2.2.1 Extra analyse vragenlijstonderzoek Schiphol (1996)	12
2.3 <i>Studiekenmerken</i>	13
<b>3. Beoordeling studies voor meta-analyse</b>	<b>17</b>
3.1 <i>Selectie effecten</i>	17
3.2 <i>Werkwijze beoordeling</i>	17
3.3 <i>Ervaren slaapkwaliteit</i>	17
3.4 <i>Ontwakingen</i>	19
<b>4. Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>31</b>
<b>Bijlage I Gepubliceerde blootstelling-respons relaties geluid en slaap</b>	<b>37</b>
<b>Bijlage II Analyse gegevens uit vragenlijst-onderzoek Schiphol (1996) op wegverkeer</b>	<b>39</b>
<i>Inleiding</i>	39
<i>Methode</i>	39
<i>Resultaten</i>	41
<i>Conclusie en discussie</i>	42

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doel

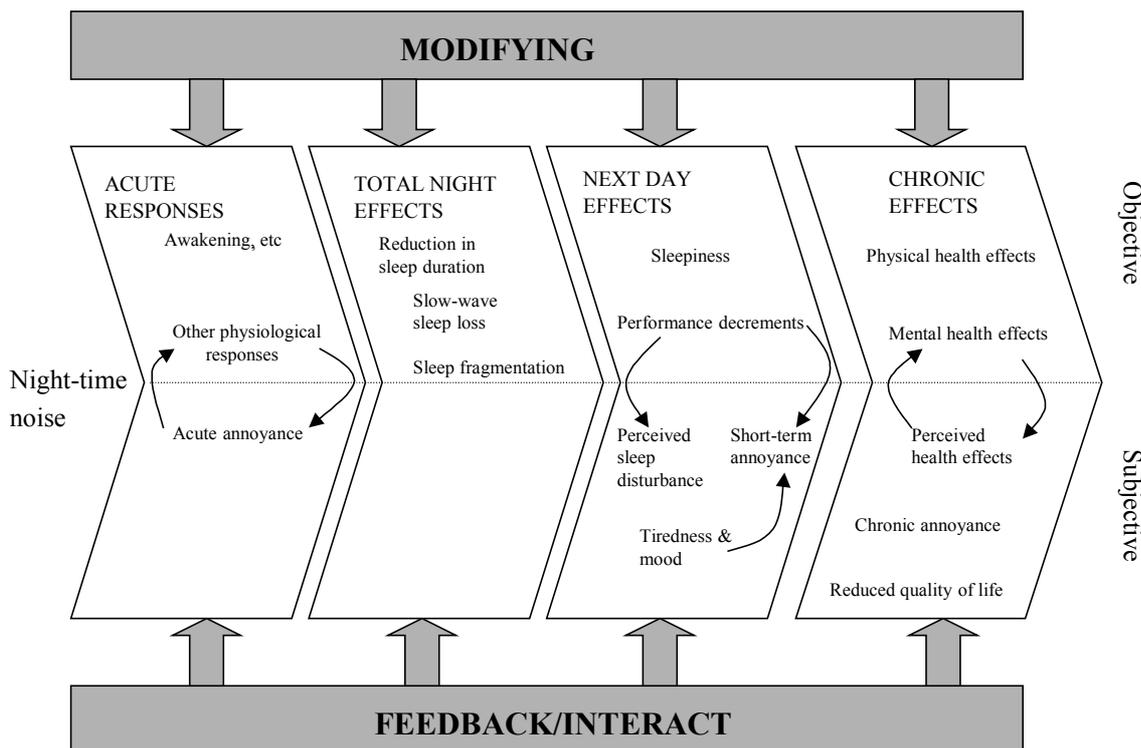
De opdrachtgever heeft het voornemen om in 2003 een veldstudie te laten uitvoeren naar de relatie tussen slaapverstoring en geluid door wegverkeer in Nederland. Als achtergrond bij deze studie is er behoefte aan een inzichtelijke samenvatting van beschikbare studies op dit terrein. Om een beeld te krijgen van de beschikbare kennis over de relatie tussen de blootstelling aan geluid en slaapverstoring is in het kader van het project Gezondheids- en Welzijnseffecten Verstoring (M/715120/01/GW) de beschikbare literatuur op een systematische wijze verzameld, beoordeeld en samengevat. Indien mogelijk zullen de bevindingen kwantitatief worden samengevat door een meta-analyse. Een kwantitatieve samenvatting van de resultaten van bestaande studies kan een goed onderbouwde blootstelling-respons relatie tussen geluid door wegverkeer en slaapverstoring opleveren. Hiermee kunnen vervolgens schattingen gemaakt worden van de omvang van huidige en mogelijk toekomstige effecten van geluid door wegverkeer op landelijke schaal (VROM, 1996; RIVM, 1998).

## 1.2 Effecten van nachtelijk geluid op de slaap

### 1.2.1 Effecten

Er zijn de afgelopen jaren op het gebied van slaapverstoring en geluid verschillende overzichten gepubliceerd, waaronder een aantal meta-analyses (Gezondheidsraad, 1999; Passchier-Vermeer, 1993; Porter et al., 2000; Carter, 1996; Lukas, 1975). Hieruit blijkt dat nachtelijk geluid de slaapkwaliteit 's nachts en de stemming en het functioneren gedurende de volgende dag kan beïnvloeden. Slaapverstoring kan zich op verschillende gebieden manifesteren: het slaapgedrag, de structuur van de slaap, fysiologische aspecten van de slaap en effecten in de periode na de slaap (Van Dormolen et al., 1988). Effecten, variërend in ernst, kunnen zich tijdens verschillende perioden van het slaapproces manifesteren. Er kan onderscheid gemaakt worden in:

- Primaire effecten zoals moeilijkheden bij het in slaap vallen, ontwaakreacties en slaapstadium veranderingen en fysiologische effecten die tijdens de slaap optreden (bloeddrukstijging, verhoogde hartslag, vasoconstrictie, veranderingen in ademhaling, hartritme stoornissen en toename in lichaamsbewegingen);
- Secundaire effecten of zgn. 'after effects' die de volgende dag gemeten worden zijn o.a. afname van de waargenomen slaapkwaliteit, verhoogde vermoeidheid, verminderde stemming of welzijn, en afname van prestaties;
- Lange termijn effecten op het psychosociaal welzijn: toename van het gebruik van slaap- of kalmeringsmiddelen, chronische hinder.



Figuur 1 Potentiële effecten van nachtelijke blootstelling aan geluid (Porter et al., 2000)

In figuur 1 worden de verschillende effecten van nachtelijke blootstelling aan geluid op de slaap met elkaar verbonden op een versimpelde manier. In werkelijkheid is de relatie tussen omgevingsgeluid, slaap, gedrag en gezondheid complex. Verschillende onderzoeksgroepen hebben een poging gedaan om deze relatie te beschrijven. Hieruit komt het algemene beeld naar voren dat slaapverstoring wordt gezien als een intermediair effect. Slaapverstoring kan een direct effect zijn van de blootstelling aan geluid, maar het kan ook optreden als initiator van aandoeningen en/of bestaande aandoeningen verergeren. Of dit ook daadwerkelijk gebeurt heeft te maken met de individuele gevoeligheid of kwetsbaarheid. Individuen kunnen onderling zeer verschillend reageren op dezelfde blootstelling. Deze individuele respons hangt sterk af van de wisselwerking tussen endogene eigenschappen enerzijds (erfelijke gevoeligheid, reeds aanwezige functiestoornissen, ziekte of hoge ouderdom) en exogene eigenschappen (leefstijl, sociaal-economische status) anderzijds. Zo kan het aantal mensen dat een psychische aandoening krijgt als gevolg van geluidblootstelling worden beschouwd als het topje van de ijsberg. Bij een veel groter deel van de populatie treden minder uitgesproken effecten op zoals veranderingen van de slaapstructuur of extra bewegen tijdens de slaap. Bij sommigen leidt dit tot een toename van het gebruik van slaapmiddelen of een verminderd sociaal functioneren en presteren. Mogelijk gevoelige groepen in dit kader zijn personen met een fysieke of mentale aandoening, personen met 'sleep disorders', personen die in ploegdienst werken en ouderen. Met betrekking tot ontwakken en slaapstadium veranderingen kan uit onderzoek van Eberhardt (1990) worden geconcludeerd dat kinderen minder gevoelig zijn dan volwassenen.

### 1.2.2 Blootstelling-respons relaties uit eerdere meta-analyses

Er zijn, op basis van eerdere reviews door verschillende onderzoeksgroepen blootstelling-respons relaties opgesteld (zie bijlage 1). De resultaten van deze reviews staan onder kritiek (Berglund et al., 1999) zo worden alleen effecten als ontwaken en slaapstadium veranderingen onderzocht; andere effecten zoals slaapkwaliteit, slapeloosheid, prestatie de volgende dag, slaapverstoring, stemming, gebruik van slaapmiddelen en dergelijke zijn buiten beschouwing gelaten. Ook zijn weinig originele studies meegenomen, is de blootstelling binnenshuis vaak geschat en is hierbij geen rekening gehouden met geluidisolatie of het ventilatiegedrag van de bewoners (raam open/dicht). Daarnaast zijn deze relaties voornamelijk gebaseerd op laboratoriumstudies en hebben ze bijna allemaal betrekking op meerdere bronnen. Ook zijn de verschillen tussen deze relaties groot en voor een deel nog onverklaard.

Uit eerdere reviews is gebleken dat de effecten van geluid op de slaap die gemeten worden in het laboratorium verschillen van de effecten die gemeten worden in het veld. Uit een meta-analyse van 21 studies bleek bijvoorbeeld dat de helling van de blootstelling-respons relatie afgeleid uit laboratoriumstudies steiler was dan die in veldstudies. Dit kan te maken te maken hebben met het feit dat in het laboratorium minder sprake is van gewenning aan de geluidssituatie dan in het veld. Ook kunnen mogelijke meetfouten in de blootstellingsbepaling in het veld van invloed zijn. Blootstelling-respons relaties uit veldstudies waren preciezer (kleinere betrouwbaarheidsintervallen) (Pearsons et al., 1995)

Hofman (1994) heeft voor ontwaken een relatie opgesteld die alleen geldt voor wegverkeer. Ook deze relatie is gebaseerd op resultaten uit een mix van laboratorium- en veldstudies. De verwachting is dat deze relatie steiler is dan een relatie die alleen gebaseerd zou zijn op veldstudies. Uit haar analyses blijkt dat wanneer de bronnen weg- en vliegverkeer gescheiden worden, de helling van de relatie tussen ontwaken en wegverkeer steiler is dan voor vliegverkeer.

Miedema et al. (2003) heeft zeer recentelijk een blootstelling-responsrelaties voor slaapverstoring gepubliceerd die wel specifiek geldt voor wegverkeer. Deze relatie is gebaseerd op een analyses van originele data van 12 veldstudies uit het Kennisbestand Verstoring.

## 1.3 Afbakening

Gezien het doel van dit onderzoek en de opmerkingen over eerdere literatuuroverzichten zijn voor dit project de volgende randvoorwaarden geformuleerd:

- In het onderzoek worden studies opgenomen die zich richten op effecten van geluid door wegverkeer; andere bronnen van geluid worden niet meegenomen;
- Er worden studies opgenomen waarin verschillende typen effecten op de slaap worden beschreven. Dit zijn studies naar primaire effecten (zoals het slaapgedrag, de structuur van de slaap en fysiologische aspecten), secundaire effecten (zoals verminderd prestatievermogen en moeheid op de volgende dag) en chronische effecten;
- In het onderzoek worden alleen veldstudies meegenomen; studies waarbij de effecten van geluid in laboratoriumsituaties zijn onderzocht worden niet

meegenomen. Ook zogenaamd quasi-experimenteel onderzoek, dat is onderzoek bij mensen thuis waarbij bijvoorbeeld geluidstapes worden afgespeeld, is buiten beschouwing gelaten.

- Er zal gekeken worden naar de gehanteerde methoden voor blootstellingsbepaling en de correcties voor versturende variabelen.
- Een kwantitatieve samenvatting van geselecteerde studies (meta-analyse) zal alleen worden uitgevoerd als blijkt dat er voldoende vergelijkbare studies van goede kwaliteit beschikbaar zijn. Indien dit niet het geval blijkt zal worden volstaan met een beschrijvende samenvatting van de bevindingen. Effecten van geluid door wegverkeer op de slaap: systematische review.

## 2. Literatuuronderzoek

### 2.1 Werkwijze

Het literatuuronderzoek is uitgevoerd op basis van de methode beschreven in De Hollander et al. (1996), ervaringen opgedaan tijdens een eerdere meta-analyse naar het effect van geluid op hart- en vaatziekten (Van Kempen et al., 2002) en conform LBM-procedure p-LBM-08. Naast het literatuuronderzoek is een extra analyse verricht van een reeds aanwezig databestand afkomstig van vragenlijstonderzoek dat in 1996 regio Schiphol is uitgevoerd (zie bijlage II). Hieronder wordt een overzicht gegeven van de verschillende stappen die zijn gevolgd en a-priori keuzes die zijn gemaakt. De kenmerken van de geselecteerde veldstudies worden samengevat in paragraaf 2.2.

#### 2.1.1 Literatuurverzameling

Belangrijke problemen die bij een meta-analyse kunnen voorkomen, zijn publicatiebias en presentatiebias. Publicatie-bias is een vorm van selectieve publicatie. Vaak is het zo dat studies waarin geen effect gevonden wordt, ook niet worden gepubliceerd. Presentatie-bias wordt veroorzaakt door het feit dat auteurs vaak geneigd zijn in hun publicaties slechts een selectie van de analyse resultaten weer te geven. Meestal zijn dit de meest opzienbarende resultaten. Publicatie-bias en presentatie-bias kunnen dus leiden tot een overschatting van het effect.

Hoewel het onmogelijk is om deze vormen van vertekening geheel te voorkomen is in dit project getracht zoveel mogelijk studies te identificeren door middel van een breed zoekprofiel gericht op alle bronnen van geluid. Er is in bibliografische bronnen gezocht vanaf 1970 (het jaar waarin de meeste bibliografische bronnen geautomatiseerd zijn) tot en met juli 2001. Belangrijke bibliografische bronnen die zijn doorzocht, zijn: Medline, Excerpta Medica, Scisearch, Biosis Previews, Enviroline, Psychological Abstracts (Psychinfo), Psychindex, NTIS. Er is gezocht op de volgende (combinaties van) trefwoorden: noise, sleep, awakening, arousal, aircraft, aviation, airplane, airport, neighbour, traffic, railroad, road, truck, railway, train, automobile, vehicle, transportation, industry, recreation.

Daarnaast is de 'sneeuwbalmethode' toegepast. De referenties van relevante artikelen met betrekking tot geluid en slaapverstoring, rapporten, overzichtsartikelen en congresverslagen (proceedings) zijn gecontroleerd op voorkomen van artikelen over veldstudies die de relatie tussen geluidblootstelling en effecten op de slaap beschrijven.

De lijst met geselecteerde referenties (zie 2.1.2) is voorgelegd aan de leden van 'Team 5: Effects of noise on sleep' van ICBEN (International Committee on Biological Effects of Noise). Aan hen is gevraagd te beoordelen of alle veldstudies naar slaapverstoring en geluid door wegverkeer die hun bekend waren ook op de referentielijst stonden. Aanvullende studies die door de leden werden voorgesteld en voldeden aan de selectiecriteria (n=6), zijn toegevoegd.

## 2.2 Literatuurselectie

In figuur 2 is het proces van de literatuurselectie schematisch weergegeven. Met het zoekprofiel zijn in totaal 495 referenties uit bibliografische bestanden geselecteerd. Het merendeel van deze literatuur bestond uit publicaties in wetenschappelijke tijdschriften. Daarnaast bevatte de selectie rapporten en congresverslagen. De selectie betrof met name laboratoriumstudies en een aanzienlijk aantal reviews. Het aantal veldstudies was beperkt. Ongeveer eenderde van de literatuur had betrekking op vliegverkeer. De tweede meest onderzochte bron was wegverkeer. Het aantal studies naar trein-, tram- of industrielawaai was klein. Ook zijn in een beperkt aantal studies meerdere bronnen van verkeersgeluid tegelijk onderzocht, of is gekeken naar de totale blootstelling aan omgevingsgeluiden (alle geluidbronnen).

Van de 495 gevonden studies zijn de abstracts beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:

- Uit de titel en/of het abstract moet duidelijk zijn dat het een onderzoek betreft naar de relatie tussen blootstelling aan geluid door wegverkeer en slaapverstoring;
- De studies moeten deze relatie bij voorkeur kwantificeren. Als deze relatie niet is gekwantificeerd, is nagegaan of dit met behulp van de gepubliceerde gegevens alsnog mogelijk is;
- Wanneer voor een bepaalde onderzoekspopulatie verschillende herzieningen van de te evalueren blootstelling-respons relatie zijn gepubliceerd, is de meest recente publicatie geselecteerd;
- Engels-, Nederlands-, Duits- en Franstalige publicaties zijn beoordeeld;
- Review artikelen vanaf 1990 zijn meegenomen;
- Indien over een bepaalde studie meerdere artikelen gepubliceerd zijn, zijn deze artikelen samengevoegd en als één studie beoordeeld.

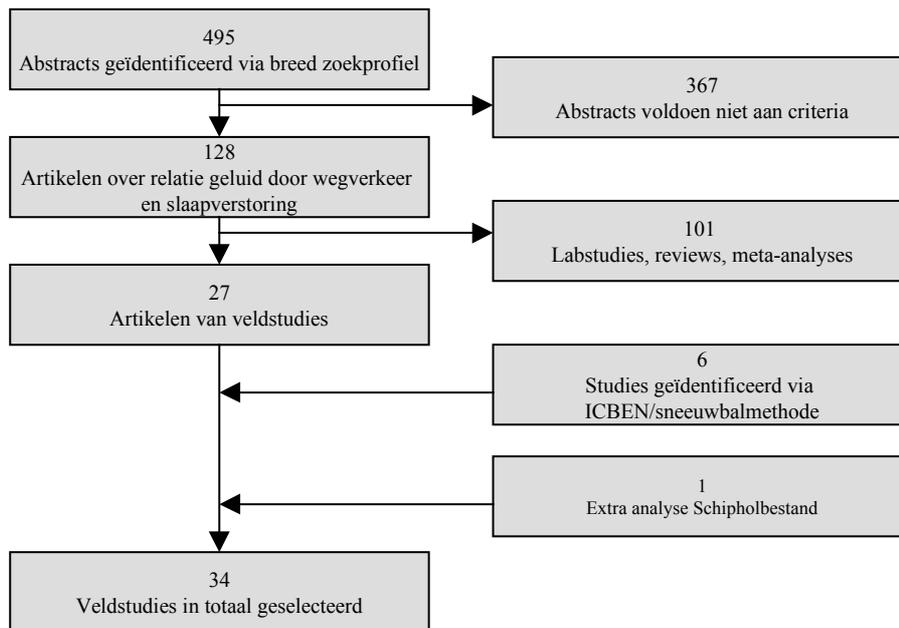
In totaal voldeden 128 artikelen aan deze selectiecriteria. Het betrof laboratoriumstudies, veldstudies en een aanzienlijk aantal reviews. Al deze artikelen zijn aangevraagd. Het totale aantal geselecteerde veldstudies bedraagt 34. In figuur 2 is door middel van een flowschema aangegeven op welke wijze de selectie tot stand gekomen is.

### 2.2.1 Extra analyse vragenlijstonderzoek Schiphol (1996)

In 1996 is rond de luchthaven Schiphol een vragenlijstonderzoek uitgevoerd naar de mogelijke effecten van geluid door vliegverkeer (TNO-PG en RIVM, 1998). In dit studiegebied treedt ook blootstelling aan geluid door wegverkeer op.

Als aanvulling op het literatuuronderzoek is een aantal vragen uit het Schiphol onderzoek (over slaapverstoring, medicijngebruik en blootstellings-reducerend gedrag) geanalyseerd, die gekoppeld kunnen worden aan de blootstelling aan geluid door wegverkeer. De blootstelling aan wegverkeersgeluid in het Schiphol studiegebied is berekend met behulp van het model EMPARA. Voor een gedetailleerde beschrijving van de analyse en de resultaten wordt verwezen naar bijlage II.

Deze extra analyse van het bestaande databestand zal als onderdeel van de hierboven beschreven literatuurselectie worden meegenomen en beschreven.



Figuur 2 Flowschema literatuurselectie

## 2.3 Studiekenmerken

Er zijn 34 veldstudies naar de effecten van geluid door wegverkeer op de slaap geselecteerd. Een overzicht van deze studies wordt gegeven in tabel 2. De belangrijkste kenmerken van deze studies zijn:

- De meeste studies zijn gepubliceerd tussen 1980 en 1990.
- De meeste veldstudies zijn uitgevoerd in Europese landen.
- Er zijn in het algemeen twee typen veldonderzoek te onderscheiden, nl. dwarsdoorsnede onderzoek en interventie onderzoek. Bij dit laatste type gaat het vooral om onderzoek naar het effect van geluidreductie of -toename (bijvoorbeeld isolatie) bij een relatief kleine populatie.
- Er worden verschillende onderzoeksmethoden toegepast. Grofweg zijn deze te verdelen in vragenlijsten en fysiologisch onderzoek. Studies waarin effecten gemeten zijn met behulp van (een) vragenlijst(en) zijn in de meerderheid. Het fysiologisch onderzoek kan uit verschillende metingen bestaan en wordt vaak gecombineerd met vragenlijsten of reactietijdtesten. Met behulp van een elektroencefalogram (EEG) kunnen de vijf slaapstadia worden geïdentificeerd. Ook kunnen oogbewegingen worden gemeten met behulp van een elektrooculogram (EOG) en de spiertonus kan met een elektromyogram (EMG) worden geregistreerd. Tenslotte worden electrocardiogrammen (ECG) gebruikt om hartslagfrequentie tijdens de slaap te meten en met behulp van actometers worden bewegingen van het lichaam vastgelegd. Naast de fysiologische structuur omvat slaapkwaliteit ook de subjectieve beoordeling ervan. Deze wordt, net als de stemming gedurende de volgende dag, onderzocht met behulp van een interview of vragenlijst. Veranderingen in functioneren gedurende de dag wordt tenslotte veelal gemeten met behulp van reactietijdtesten.
- De studiepopulatie in de meeste studies bestaat uit zowel volwassen mannen als volwassen vrouwen. Er zijn in het algemeen geen specifieke leeftijdsgroepen geïncludeerd, wel hebben aan een aantal onderzoeken ook ouderen (>60 jaar)

deelgenomen. Het aantal studies dat alleen volwassen mannen of vrouwen bestudeerd is ongeveer gelijk.

- In de meeste studies worden meerdere effecten (zowel primaire als secundaire) op de slaap gemeten. In tabel 1 zijn de verschillende effecten weergegeven die bij meer dan 1 studie worden gemeten, inclusief het aantal studies waarin ze gemeten zijn.

*Tabel 1 Gemeten effecten op de slaap*

Type effect	Aantal studies
Slaapkwaliteit	19
Ontwaken	19
Niet kunnen / moeilijk / later inslapen / inslaapproblemen	12
Slaapstadium veranderingen	7
Slaapverstoring	7
Reactietijd / prestatie	6
Moeheid	6
Inslaaptijd	6
Slaappillen	5
Slaapduur	4
Bewegingen	4
Te vroeg wakker	3
Hartslag / ritme	3
Moeilijk opnieuw inslapen	3
Gemoedstoestand / stemming	2
Aantal dromen	2
Duur bedtijd	2
Slaaplatentie	2
Lichte slaap	2
Slaapproblemen	2

- De blootstelling is in het merendeel van de studies gemeten. In slechts enkele studies is de geluidbelasting berekend of geschat aan de hand van bijvoorbeeld verkeersintensiteiten. Er worden veel verschillende blootstellingsmaten gehanteerd, zowel tijdgemiddelde geluidbelasting (LAeq) als piekbelasting (LAm<sub>ax</sub>).

Tabel 2 Studiekenmerken van de 34 geselecteerde veldstudies naar effecten van geluid door wegverkeer op de slaap

Studie	Publika- Tiejaar	Land	Design	Methode	Geslacht	Aantal	Leeftijd	Gemeten effecten op de slaap	Blootstelling
Langdon, Buller	1977	Groot-Brittannië	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	2933	> 16	Ontwaken, moeilijk inslapen	Tijdgemiddelde waarde, gemeten
Wehrli et al.	1978	Zwitserland	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M+V	1607	geen info	Niet kunnen inslapen, ontwaken, te vroeg wakker worden	tijdgemiddelde waarde, gemeten
Van Dongen <sup>1</sup>	1982	Nederland	Interventie (isolatie)	Vragenlijst	M+V	383	geen info	Hinder, verstoring bij de slaap, moeilijk inslapen, ontwaken	piek- en tijdgemiddelde waarden, gemeten
Eberhardt <sup>2</sup>	1983	Zweden	Interventie (isolatie)	Fysiologisch	M	12	21-27, 63-74	Slaapstadium veranderingen, ontwaken, slaapkwaliteit	Piekwaarde, gemeten
Öhrström, Björkman	1983	Zweden	Interventie (isolatie)	Fysiologisch	V	3	23, 53, 73	Lichaamsbewegingen, slaapkwaliteit, ontwakingen	tijdgemiddelde waarde, gemeten
Vallet et al.	1983	Frankrijk	Interventie (slapen aan stille kan huis)	Fysiologisch	M + V	26	>45 en <45	Slaapstadium veranderingen, hartslag, hartslag variabiliteit, reactietijd, slaapkwaliteit, aantal ontwakingen, slaaplatentie, gemiddelde duur ontwaking	piek- en tijdgemiddelde waarden, gemeten
Labiale, Vallet <sup>3</sup>	1984	Frankrijk	Interventie (lab-veld)	Fysiologisch	M + V	6	20, 26, 46, 47, 50, 58	Slaapstadium veranderingen, slaapduur, slaapkwaliteit, ontwaakkwaliteit, later inslapen, ontwaken, gemak opnieuw inslapen, aantal dromen, reactietijd (prestatie) niet geanalyseerd;	tijdgemiddelde waarde, gemeten
Wilkinson, Campbell	1984	Groot-Brittannië	Interventie (dubbel glas)	Fysiologisch	M + V	12	>45 en <45	Slaapstadium veranderingen, slaapkwaliteit, aantal dromen, ontwaken, slaap latentie, alertheid, slaperigheid, reactietijd, geheugen, vigilantie (waakzaamheid)	tijdgemiddelde waarde, gemeten
Griefahn, Gros	1985	Duitsland	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	118	>21 jaar	Slaapverstoring (%), gebruik slaapmiddelen	piekwaarde, bepaling onbekend
Gros, Griefahn	1985	Duitsland	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	240	20-77 (med 43)	Slaapduur, slaapkwaliteit, gebruik slaapmiddelen	tijdgemiddelde waarde, geschat
Hall et al.	1985	Canada	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	225	geen info	Inslaapproblemen, ontwaken	piekwaarde, gemeten
Meijer et al.	1985	Nederland	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	3445	41-43	Slaapproblemen	tijdgemiddelde waarde, gemeten
Miedema, van den Berg	1985	Nederland	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M+V	798	> 18 jaar	Verstoring bij (in)slapen of rusten	Tijdgemiddelde waarde, gemeten
Griefahn, Gros	1986	Duitsland	Interventie (raam en oordopjes)	Fysiologisch	M + V	20	20-63	Slaapstadium veranderingen, reactietijd, moeheid, slaapkwaliteit, inslaapduur, ontwaken, totale tijd van tussentijdse ontwakingen	piek- en tijdgemiddelde waarden, gemeten
Tulen et al. <sup>4</sup>	1986	Nederland	Interventie (dubbel glas)	Fysiologisch	M + V	12	33 (gem)	Hartslag, ademhaling, reactietijd, gemoedstoestand, slaapkwaliteit, moeheid, psychologisch functioneren (welzijn) gedurende de dag, slaapstadium veranderingen	piekwaarde, gemeten
Öhrström	1989	Zweden	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	106	44,8 belast 50,8 controle	Slaapkwaliteit, moeilijk inslapen, inslaaptijd, moeilijk opnieuw inslapen, bewegingen, ontwaken, slaappillen, moeheid, stemming	Tijdgemiddelde waarde, gemeten
Schuemer, Zeichart	1989	Duitsland	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	Geen info	1516	geen info	Slaapverstoring	tijdgemiddelde waarde, gemeten
Liu Xiaotu	1989	China	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M+Vgeen info	905	geen info	Hinder tijdens de slaap	tijdgemiddelde waarde, gemeten
Garcia et al.	1990	Spanje	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	263	geen info	Niet kunnen inslapen, ontwaken, ligging slaapkamer, ramen open / dicht	piek- en tijdgemiddelde waarden, gemeten

Studie	Publika- tiejaar	Land	Design	Methode	Geslacht	Aantal	Leeftijd	Gemeten effecten op de slaap	Blootstelling
Öhrström	1991	Zweden	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	97 (belast) 151 (controle)	51 en 53	Slaapkwaliteit	Tijdgemiddelde waarde, bepaling onbekend
Öhrström	1993	Zweden	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	274 (belast) 95 (controle)	43 (belast) 40 (controle)	Slaapverstoring (moeilijk inslapen, inslaaptijd, ontwaken, ervaren slaapkwaliteit)	Tijdgemiddelde en piekwaarde, geen info meting
Nivison, Endresen	1993	Noorwegen	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M + V	82	19-78	Slaapkwaliteit, ontwaken, moeilijk inslapen, slaapduur, te vroeg wakker worden zonder weer in te slapen, nachtmerries, moeheid overdag, aantal dutjes overdag	piek- en tijdgemiddelde waarden, berekend
Carter et al.	1994	Australië	Dwarsdoorsnede	Fysiologisch	M	7	56-83	Hartslag, hartritme, slaapstadium veranderingen, lichaamsbewegingen	tijdgemiddelde waarde, gemeten
Kabuto, Kageyama Fidell et al.	1994 1995	Japan V.S.	Dwarsdoorsnede Dwarsdoorsnede	Vragenlijst Fysiologisch	V M + V	1037 23	geen info 34 (gem)	Slaapkwaliteit Ontwaken, duur bedtijd, moeheid overdag, slaapkwaliteit, moeheid, herinnerd aantal ontwaken tijdens nacht, inslaaptijd, consumptie alcohol en drugs	tijdgemiddelde waarde, gemeten piek- en tijdgemiddelde waarden, gemeten
Lercher, Köfler Belojevic et al.	1996 1997	Oostenrijk Yoegoslavië (Belgrado)	Dwarsdoorsnede Dwarsdoorsnede	Vragenlijst Vragenlijst	M+V M + V	1989 413	25-65 42 (gem)	Slaapproblemen, definitie onduidelijk Slaapduur, moeilijk inslapen, inslaaptijd, ontwaken, moeilijk opnieuw inslapen, slaapkwaliteit, moeheid na slaap, gebruik slaapmiddelen	geen info piek- en tijdgemiddelde waarden, gemeten
Kageyama et al.	1997	Japan	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	V	3600	20-90	Slapeloosheid (= moeilijk inslapen, ontwaken, te vroeg ontwaken, lichte slaap)	verkeersvolume, geschat
Maschke et al.	1997	Duitsland	Interventie (raam)	Vragenlijst	Geen info	25	31-47	Slaapkwaliteit, hormoonspiegels	Tijdgemiddelde waarde, gemeten
Yoshida et al.	1997	Japan	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	V	366	20-60	Ontwaken, moeilijk inslapen, lichte slaap, moeilijk ontwaken	tijdgemiddelde waarde, berekend
Gomez-Jacinto, Moral-Toranzo Moehler et al.	1999 2000	Spanje Duitsland	Interventie (isolatie) Dwarsdoorsnede (1)	Vragenlijst Vragenlijst	M + V M+V	42 1600 en 377	16-68 geen info	Ontwaken Lichaamsbewegingen, inslaaptijd, slaapkwaliteit, slaapverstoring, prestatie	tijdgemiddelde waarde, gemeten Tijdgemiddelde waarde (1) berekend, (2) gemeten
Öhrström	2001	Zweden	Dwarsdoorsnede en interventie (reductie wegverkeer)	Vragenlijst Fysiologisch	M + V	(1) 142, (50 belast, 92 controle) (2) 120 (45 belast, 75 controle)	±50	Slaapkwaliteit, psychosociale en medische klachten, welzijn	Tijdgemiddelde, berekend
Verhoef <sup>5</sup>	2002	Nederland	Dwarsdoorsnede	Vragenlijst	M+V	11812	>17 jr	Slaapverstoring, slaapkwaliteit, medicijngebruik	Tijdgemiddelde waarde, berekend

<sup>1</sup> Van Dongen (1982) betreft de hoofdstudie, Bitter (1979) en De Jong (1981) zijn artikelen over deelstudies hiervan en zijn bij de beoordeling ook meegenomen.

<sup>2</sup> Naast Eberhardt (1982) hebben Eberhardt en Akselsson (1987) over een deel van de populatie afzonderlijk gerapporteerd. Beide artikelen zijn meegenomen bij de beoordeling.

<sup>3</sup> Meer informatie over Labiale, Vallet (1984) is gevonden in een rapport over deze studie (Labiale & Vallet, 1981).

<sup>4</sup> Over de studie van Tulen et al. (1985) zijn nog twee artikelen verschenen, nl. Hofman et al. (1995) en Hofman (1994). De studies zijn voor deze review samengevoegd.

<sup>5</sup> Resultaten van deze studie zijn beschreven in bijlage II.

## 3. Beoordeling studies voor meta-analyse

### 3.1 Selectie effecten

Aan de hand van de resultaten van de literatuurselectie zijn twee effecten geselecteerd waarvoor beoordeeld is of een meta-analyse mogelijk is. Het betreft ervaren slaapkwaliteit en ontwaken. Bij de keuze van deze effecten heeft de ernst ervan, het aantal beschikbare studies en eerder beschreven beperkingen van voorgaande reviews een rol gespeeld.

### 3.2 Werkwijze beoordeling

Indien in de meta-analyse studies worden opgenomen met tekortkomingen in de methoden van onderzoek, opzet en data-analyse dan kan dit leiden tot validiteitsproblemen, bias en confounding. Dergelijke studies zijn daarom niet geschikt voor een meta-analyse.

Voor een beoordeling van de studies met betrekking tot ervaren slaapkwaliteit en ontwaken op geschiktheid voor een meta-analyse zijn, naast de reeds hiervoor beschreven studiekenmerken, de volgende zaken in kaart gebracht:

- In/exclusie criteria met betrekking tot de populatie;
- Gehanteerde blootstellingsmaat en locatie geluidmeting;
- Niveaus nachtelijke blootstelling;
- Verschil in blootstellingsniveau;
- Methode effectmeting;
- Confounders.

De resultaten hiervan worden in tabellen 3 t/m 6 weergegeven, voor ontwakken en slaapkwaliteit afzonderlijk en vervolgens voor interventie- en dwarsdoorsnede studies afzonderlijk. In de tabellen is ook een samenvatting opgenomen van de bevindingen van de studies met betrekking tot de relatie tussen geluid door wegverkeer en slaapverstoring.

In de laatste kolom van de tabellen is een eindoordeel over de studies samengevat. Vervolgens is bekeken of er voldoende vergelijkbare studies overblijven voor een meta-analyse.

### 3.3 Ervaren slaapkwaliteit

Er zijn 20 studies geselecteerd waarin de ervaren slaapkwaliteit is gemeten (zie ook tabel 1). In alle onderzoeken is hiervoor gebruik gemaakt van een vragenlijst. Het gaat om 11 dwarsdoorsnede en 8 interventie studies (reductie of toename van het geluidsniveau). In één studie wordt een vergelijking gemaakt tussen een laboratorium- en een veldsituatie (Labiale en Vallet, 1984). In tabel 3 en 4 zijn de resultaten weergegeven van de beoordeling van deze studies.

### *Conclusie beoordeling geschiktheid voor kwantitatieve meta-analyse*

Het primaire doel van de studies is niet gericht op het bepalen van de relatie tussen ervaren slaapkwaliteit en wegverkeer; de ervaren slaapkwaliteit is daarbij slechts één van de gemeten parameters.

De meting van de ervaren slaapkwaliteit is niet homogeen. In sommige studies wordt de ervaren slaapkwaliteit gedefinieerd met één vraag, in andere onderzoeken is het een samengestelde maat, die is gebaseerd op meerdere vragen. Daarnaast worden de vragen over slaapkwaliteit op verschillende manieren gescoord. Ook verschillen de vraagstelling en het tijdstip (ochtend/avond) waarop de vragenlijsten zijn afgenomen tussen de verschillende onderzoeken.

Ook bij de bepaling van de blootstelling aan wegverkeer zijn studies moeilijk vergelijkbaar. Het is niet altijd duidelijk hoe de nachtperiode gedefinieerd is. In slechts een beperkt aantal studies wordt de nachtperiode gespecificeerd. Ook wordt in enkele studies alleen de LAeq over 24 uur gepresenteerd.

In de meeste studies is de blootstelling gemeten; meestal zowel binnen als buiten of alleen binnen. De niveaus van de nachtelijke blootstelling binnen liggen tussen de 40 en 50 dB(A), het gemiddelde is ongeveer 45 dB(A). Het contrast in de nachtelijke geluidsniveaus in de interventiestudies varieert van 2 tot ongeveer 14 dB(A). Door Maschke et al. (1997) werd een maximaal verschil van 18 dB(A) gemeten. In de dwarsdoorsnede onderzoeken variëren de verschillen in blootstelling tussen de blootgestelde en controlepopulatie van 7 tot 34 dB(A).

Een verband tussen wegverkeer en ervaren slaapkwaliteit wordt in 2 studies gekwantificeerd (Gros en Griefahn, 1985; Eberhardt, 1987). Daarnaast worden gemiddelde scores voor de ervaren slaapkwaliteit en de gemiddelde geluidsbelasting voor de totale onderzoeksgroep gepubliceerd. In enkele interventiestudies worden de individuele scores en de geluidsbelasting voor de deelnemers vermeld (Tulen et al., 1986; Vallet et al., 1988). In de meeste studies is geen rekening gehouden met de invloed van mogelijke confounders.

Bij de beoordeling van de 20 studies over ervaren slaapkwaliteit voor een meta-analyse hebben de in 3.2 genoemde studiekenmerken een rol gespeeld. Er zijn onvoldoende geschikte studies voor het uitvoeren van een meta-analyse. Slechts enkele studies voldoen aan de kwaliteitseisen (Griefahn en Gros, 1986; Öhrström, 1989). De studie van Öhrström is echter een pilot studie, met relatief kleine aantallen. Belangrijke minpunten van de overige studies zijn dat confounders niet gemeten zijn en dat zowel de wijze waarop het effect gemeten en beoordeeld is en de blootstelling (smaten) niet vergelijkbaar zijn.

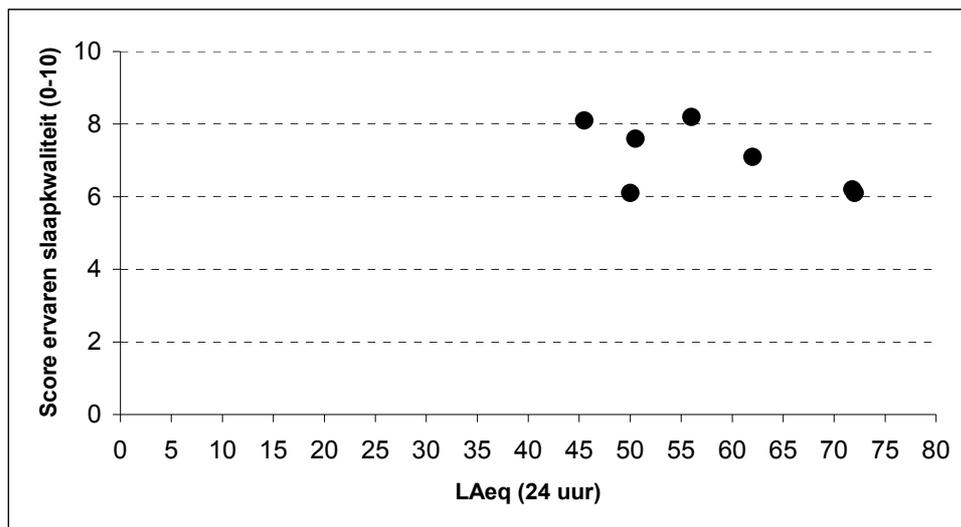
### *Conclusie bevindingen 20 studies*

Uit de interventiestudies blijkt dat de ervaren slaapkwaliteit verbetert bij reductie van het geluidsniveau (bijvoorbeeld door isolatie). In 6 dwarsdoorsnede onderzoeken werd een negatief verband gevonden tussen de blootstelling aan wegverkeer en de ervaren slaapkwaliteit. Nivison en Endresen (1993), Moehler et al. (2000) en Öhrström (1993) vonden geen verband. De publicatie van Kabuto en Kagyama (1994) is te summier om de kwaliteit ervan te kunnen beoordelen. Zij vonden een negatief verband tussen ervaren slaapkwaliteit en de blootstelling aan wegverkeersgeluid.

In een aantal studies is bekeken of de ervaren slaapkwaliteit samenhangt met andere factoren dan geluid. Hieruit blijkt dat onder andere leeftijd, geslacht,

gezondheidstoestand, hinder door andere milieufactoren en welzijn de ervaren slaapkwaliteit kunnen beïnvloeden.

Drie studies van Öhrström (1989, 1991 en 2001) zijn uitgevoerd bij dezelfde populatie (Zweden) en met dezelfde methode en zijn daardoor vergelijkbaar. In alle drie de studies is de gemiddelde geluidbelasting en de gemiddelde ervaren slaapkwaliteit voor zowel blootgestelde als de controlepopulatie gepresenteerd. Deze gegevens zijn in figuur 3 samengevat.



Figuur 3 Resultaten ervaren slaapkwaliteit (0=slecht, 10=goed) en wegverkeer in Öhrström (1989, 1991 en 2001)

### 3.4 Ontwakingen

Er zijn 19 studies geïdentificeerd waarbij de relatie is onderzocht tussen geluid door wegverkeer en ontwakingen (zie ook tabel 1). Het gaat om 12 dwarsdoorsnede onderzoeken en 6 interventiestudies. Eén onderzoek (Labiale en Vallet, 1984) betreft een vergelijking tussen een laboratorium- en veldsituatie. In tabel 5 en 6 zijn de resultaten weergegeven van de beoordeling van deze studies.

#### *Conclusies beoordeling geschiktheid voor kwantitatieve meta-analyse*

Van de 19 studies zijn er 6 (3, 4, 7, 10, 11, 14) waarbij onvoldoende resultaten over ofwel ontwakingen afzonderlijk ofwel de geluidniveaus gepresenteerd zijn, zodat ze niet geschikt zijn voor een meta-analyse. Labiale en Vallet (1984) en Gomez-Jacinto (1999) hebben studies verricht met een andere doelstelling. Zij hebben de relatie tussen ontwakingen en geluidbelasting door wegverkeer niet gekwantificeerd. Vanwege tekortkomingen in de studieopzet zijn deze studies niet geschikt voor een meta-analyse.

Bij de overige 11 studies is de relatie tussen geluid door wegverkeer en ontwakingen gekwantificeerd. Dit verband tussen geluid door wegverkeer en ontwakingen wordt op verschillende manieren gepresenteerd. Bij de 4 interventiestudies gaat het om een vergelijking van (aantal, frequentie of % respondenten met) ontwakingen tussen belast en onbelast gebied. Bij 7 dwarsdoorsnede onderzoeken worden meestal correlaties gegeven. Een enkele

keer zijn regressie berekeningen verricht. Van deze 11 studies is er bij 6 studies in de analyse rekening gehouden met confounders.

Net als bij ervaren slaapkwaliteit zijn er veel verschillen in onderzoeksopzet. Zo is er sprake van veel verschillende definities van ontwakings. Voorbeelden hiervan zijn: % people waking in the night, number of awakenings, % >1 time awake/night, time awake, hoge score ontwakings, % nights with recalled awakenings, wake stage (EEG), changes to waking (EEG).

Behalve Eberhardt en Akselsson (1987), is bij alle 10 studies de blootstelling gemeten of berekend. Bij dwarsdoorsnede onderzoek variëren de gemiddelde geluidsniveaus tussen 40 en 79 dB(A). Bij Nivison & Endresen (1993) is het verschil in blootstelling het kleinst. Bij de interventiestudies variëren de verschillen in geluidsniveaus tussen situaties met en zonder interventie van 2 tot 14 dB(A). De locaties en tijdstippen waarop de blootstelling gemeten is, verschillen. Bij de dwarsdoorsnede studies is meestal buiten gemeten, bij de interventiestudies binnen. Er is bij de dwarsdoorsnede onderzoeken over verschillende tijdsperiodes gemiddeld, soms over een etmaal, soms over (een deel van) de nacht. Bij de interventiestudies zijn alle geluidsniveaus gemiddeld over de nacht.

Dwarsdoorsnede studies waarbij de blootstellingmaat en de effectmaat vergelijkbaar zijn en waarbij confounders in de analyse worden gebruikt, zijn de studies van Öhrström (1989) en Nivison en Endresen (1983). Echter, bij beide studies gaat het om relatief kleine aantallen. Bovendien hebben Nivison & Endresen alleen significante resultaten gepubliceerd. Interventiestudies met vergelijkbare blootstelling- en effectmaat en het gebruik van confounders in de analyse zijn de studies van Wilkinson en Campbell (1984) en Griefahn en Gros (1986) over. Ook deze twee studies hanteren verschillende inclusiecriteria en de studie van Wilkinson en Campbell bevat zeer weinig respondenten (n=12).

Gelet op de bovengenoemde bevindingen en de doelstelling van het onderzoek is besloten af te zien van het uitvoeren van een verdere kwantitatieve meta-analyse naar de relatie tussen geluid door wegverkeer en ontwakings en te volstaan met een kwalitatieve beschrijving van de bevindingen van de studies.

#### *Conclusies bevindingen 11 studies*

In de meeste van de studies, werd een verband gevonden tussen hogere blootstelling aan geluid door wegverkeer en meer (of langer) ontwaken. Het betreft 5 dwarsdoorsnede studies (nr. 2, 5, 7, 11 en 12) en 2 interventiestudies (nr. 14, 18). Bij de interpretatie van deze resultaten moeten bovengenoemde bevindingen, zoals het ontbreken van verstorende variabelen in de analyse of het gebruik van verschillende maten, in acht worden genomen.

Wilkinson en Campbell (1984) vonden in hun vragenlijstonderzoek wel een vermindering van het aantal ontwakings na interventie maar dit werd met EEG metingen niet gevonden. Langdon en Buller (1977) vonden wel een verband tussen 'waking in the night because of noise' en geluid, maar niet voor 'waking in the night' en geluid.

In twee studies werd geen verband gevonden tussen ontwakings en de blootstelling aan wegverkeer (Öhrström, 1993; Griefahn en Gros, 1986).

Tabel 3 Beoordeling dwarsdoorsnede studies naar de effecten van geluid door wegverkeer op de ervaren slaapkwaliteit

Studie	Jaar	Inclusie criteria steekproef	Blootstellingsmaat (lokatie meting)	Niveaus nachtelijke blootstelling	Verskil in blootstelling	Methode effectmeting	Confounders	Conclusie	Eindoordeel
Gros, Griefahn	1985	-	LAeq (22-6)	LAeq=71	n.v.t.	Slaapkwaliteit is samengestelde maat dmv factoranalyse uit items in vragenlijst: goede/slechte slaper moeilijkheden met inslapen meermalen ontwaken per week=nachtelijk ontwaken	leeftijd, gezondheidstoestand, geluidgevoeligheid	Slaapkwaliteit gecorreleerd met geluidbelasting, demografische kenmerken, geluidgevoeligheid en gezondheidstoestand (o.a. gebruik slaapmiddelen) en hinder door stof en geur	Blootstelling berekend, Confounders in analyse Relatie slaapkwaliteit en wegverkeer gekwantificeerd (correlatie)
Öhrström	1989	Tenminste 1 jaar woonachtig in huis, >18 jaar	LAeq, 24 uur, aantal (zware) voertuigen (buiten)	LAeq, 24 uur (blootgesteld)=71,8 LAeq, 24 uur (controle)=56	15,8	Interview: één vraag, 4 antwoordcategorieën (bad, rather bad, not very good, very good) Schriftelijke vragenlijst: slaapkwaliteit gemeten op schaal van 1-10	Isolatie raam, lokatie slaapkamer, woonduur, leeftijd, geslacht, beroep,	Ervaren slaapkwaliteit slechter in blootgesteld gebied (zowel in interview als in schriftelijke vragenlijst). Slaap kwaliteit niet gecorreleerd met woonduur, leeftijd, geslacht, beroep, isolatie raam en lokatie slaapkamer	Confounders in analyse Blootstelling gemeten Pilot studie Relatie slaapkwaliteit en wegverkeer niet gekwantificeerd
Öhrström	1991	Ramen aan straatkant	LAeq, nacht LAeq, dag LAeq, 24 uur	LAeq, nacht blootgesteld: 84 LAeq, nacht controle: <50	34	Vragenlijst, postaal 5 paramers voor slaapkwaliteit (moeilijk inslapen, ervaren slaapkwaliteit, 's ochtends uitgerust, slaapmiddelen, oordopjes) 1 vraag naar ervaren slaapkwaliteit (score 0-10)	Leeftijd	Gemiddelde ervaren slaapkwaliteit lager in blootgesteld gebied Slaapkwaliteit gerelateerd aan leeftijd, chronische ziekte, burgerlijke staat, psychosociaal welbevinden, hinder door geluid, werkgerelateerde factoren	Geen resultaten relatie slaapkwaliteit en geluidniveau. Bepaling blootstelling onbekend
Öhrström	1993	Tenminste 1 jaar woonachtig in gebied	LAeq,24 uur L90 Aantal (zware) voertuigen	LAeq, 24 uur blootgesteld: 62-75 LAeq, 24 uur controle: <55	7-20	Vragenlijst, postaal. Onduidelijk hoe slaapkwaliteit bepaald.	Leeftijd, burgerlijke staat	Geen verband slaapkwaliteit en blootstelling aan wegverkeer Slaapkwaliteit gerelateerd aan hinder en psychosociaal welbevinden	Alleen kwalitatieve resultaten Weinig informatie

<i>Studie</i>	<i>Jaar</i>	<i>Inclusie criteria steekproef</i>	<i>Blootstellingsmaat (lokatie meting)</i>	<i>Niveaus nachtelijke blootstelling</i>	<i>Verskil in blootstelling</i>	<i>Methode effectmeting</i>	<i>Confounders</i>	<i>Conclusie</i>	<i>Eindoordeel</i>
Nivison, Endresen	1993	Goed gehoor	Letmaal, Lmax, mate van blootstelling (Letmaal x tijd thuis)	Lmax=87,5 (80-91) Letmaal=69 (63-72)	deel straat meeste en minste verkeer verschil LAeq 3,8 verschil Lmax 3,8	Index met 4 items gebaseerd op respons 2 vragenlijsten: how easy/difficult it was to fall asleep how well subjects slept how deep their sleep was generalevaluation of sleep	leeftijd, geslacht, gebruik slaappillen	Geen verschil in slaapkwaliteit in hoog/laag belast gebied Slecht ervaren slaapkwaliteit bij mannen gerelateerd aan leeftijd, bij vrouwen aan Lmax, gebruik van slaapmiddelen, leeftijd, gezondheidsklachten, slechte algemene gezondheidstoestand	Alleen significante resultaten Relatie slaapkwaliteit en wegverkeer niet gepubliceerd Jongeren oververtegenwoordigd (persoonlijke) blootstelling berekend Confounders in analyse Kleine aantallen
Kabuto, Kageyama	1994	geen info	LAeq, 24 uur, LAeq tijdens slaap periode Persoonlijke monitoring (n=198) Subgroep (n=25) binnen/buiten metingen	Range LAeq, slaap voor subgroepen=40,2-51,9	n.v.t.	5 vragen (yes/no): woken up by traffic noise keep windows closed at night can't sleep well difficult to fall asleep sometimes taking sleeping drugs	geen info	Slechtere slaapkwaliteit bij hogere geluidsnivaus	Te weinig informatie in artikel voor beoordeling kwaliteit (Persoonlijke) blootstelling gemeten Studie naar vliegverkeer Alleen controlegroep aan wegverkeer blootgesteld Resultaten voor deze groep niet gepubliceerd
Fidell et al.	1995	-	LAeq, SEL, LAmass, A-gewogen signal-to-noise ratio Periode: 22-8 uur (slaapkamer)	Controlegebied is aan wegverkeer blootgesteld: LAeq (10-8) in slaapkamer Gemiddelde totaal 37,8 (472 subject nights) LAmass over alle noise events: 59,9 (sd 6,5; range 37,3) LAeq nacht met treshold 60 dB(A): 44,5 (sd 5,2; range 29,0)	n.v.t.	Vragenlijst, ochtend: 'Overall sleep quality', schaal 1-5	geen info	-	Studie naar vliegverkeer Alleen controlegroep aan wegverkeer blootgesteld Resultaten voor deze groep niet gepubliceerd
Belojevic et al.	1997	Woonduur gebied tenminste 1 jaar	LAeq (0-5) (Lokatie meting niet bekend)	LAeq, belast gebied=69,5 LAeq, controle=39,8 Nacht	29,7	vragenlijst, 1 vraag, 5-puntsschaal: very bad, bad, changeable, good, excellent	Leeftijd, SES, geslacht, woonduur, geluidgevoelheid	Slechtere slaapkwaliteit in belast gebied	Blootstelling gemeten Relatie ervaren slaapkwaliteit en wegverkeer niet gekwantificeerd

<i>Studie</i>	<i>Jaar</i>	<i>Inclusie criteria steekproef</i>	<i>Blootstellingsmaat (lokatie meting)</i>	<i>Niveaus nachtelijke blootstelling</i>	<i>Vershil in blootstelling</i>	<i>Methode effectmeting</i>	<i>Confounders</i>	<i>Conclusie</i>	<i>Eindoordeel</i>
Moehler et al.	2000	-	L <sub>Aeq</sub> (22-6) (1) berekend (2) slaapkamer	(1) range L <sub>Aeq</sub> , buiten=40-70 (2) range L <sub>Aeq</sub> , binnen=20-52,2, L <sub>Aeq</sub> , buiten=40-70	n.v.t.	Vragenlijst ochtend/avond	-	Geen effect verkeerslawaaï op ervaren slaapkwaliteit	Geen confounders Grote aantallen Geluidbelasting gemeten Vergelijking weg/railverkeer Relatie ervaren slaapkwaliteit en wegverkeer wel gekwantificeerd (correlatie)
Öhrström	2001	-	L <sub>Aeq</sub> , 24 uur (buiten: beide zijden huis; binnen: woon- en slaapkamer)	Blootgesteld, voor interventie: 56-69 Na interventie: 44-57 Controle, voor interventie: 40-51 Na interventie: 40-48	9-14 (blootgesteld, na interventie) 0-4 (controle, na interventie)	6 parameters voor slaapkwaliteit (moeilijk inslapen, slapen met open raam, 's nachts wakker worden, aantal ontwakingen, ervaren slaapkwaliteit, alertheid ochtend) 1 vraag naar ervaren slaapkwaliteit (score 0-10)		Slaapkwaliteit slechter in blootgesteld gebied. Na interventie verbetering slaapkwaliteit; geen verschil meer met controlegebied	Geen resultaten relatie slaapkwaliteit en geluidniveau
Verhoef	2002	Geen reumatische aandoeningen en hart- en vaatziekten	L <sub>24</sub> , L <sub>night</sub> , L <sub>den</sub>	L <sub>night</sub> = 44 dB(A), range = 31-68 dB(A)	n.v.t.	Vragenlijst: ervaren slaapkwaliteitschaal (verminderde slaapkwaliteit)	Leeftijd, geslacht, opleiding, herkomst, stedelijkheidsgraad, vliegtuiggeluid	Verminderde slaapkwaliteit komt vaker voor naarmate de geluidsbelasting door wegverkeer toeneemt.	Relatie slaapkwaliteit en wegverkeer gekwantificeerd Onderzoeksopzet eigenlijk bedoeld voor vliegverkeer Blootstelling berekend

Tabel 4 Beoordeling interventiestudies naar de effecten van geluid door wegverkeer op de ervaren slaapkwaliteit

Studie	Jaar	Inclusie criteria steekproef	Blootstellingsmaat (lokatie meting)	Niveaus nachtelijke blootstelling	Verskil in blootstelling	Methode effectmeting	Confounders	Conclusie	Eindoordeel
Eberhardt	1983	Geen info	N55=aantal auto's 's nachts met LAmax>55 dB(A) in slaapkamer	Voor/na isolatie, niveau's niet vermeld	9	Vragenlijst, ochtend	-	-	Te weinig informatie Ervaren slaapkwaliteit wel gemeten, resultaten niet gepubliceerd Bepaling blootstelling onbekend
Ohrström, Björkman	1983	Personen die in vragenlijst aangaven 's nachts verstoord te zijn door geluid	LAeq (22-8), (buiten bij raam en binnen in slaapkamer)	LAeq, binnen (zonder interventie)=35 LAeq, binnen (met interventie)=26 LAeq, buiten=66	9	Vragenlijst, ochtend, 4 vragen: general sleep quality number of disturbances during night number of awakenings whether test persons felt tired-alert Op basis van 3 vragen slaapkwaliteitsindex opgesteld, 10 mm lijn met eindpunten	-	Betere slaapkwaliteit na interventie (bij 2 van de 3 deelnemers)	Pilot studie Zeer kleine aantallen (n=3) Geen confounders Blootstelling gemeten Relatie ervaren slaapkwaliteit en wegverkeer niet gekwantificeerd
Vallet et al.	1983	Geen slaappillen, minimaal 4 jaar blootgesteld aan verkeersgeluid, goed gehoor, gezond	LAeq nacht (slaapkamer)	Range LAeq (zonder interventie)=39-51 Range LAeq (met interventie)=27-42	2 tot 14	Subjective sleep quality Vragenlijst, 's ochtends	-	Betere slaapkwaliteit na interventie	Blootstelling gemeten Geen confounders Relatie ervaren slaapkwaliteit en wegverkeer niet gekwantificeerd
Wilkinson, Campbell	1984	Geen medicijnen, goed horen, goede algemene gezondheid	LAeq nacht (slaapkamer)	LAeq (zonder interventie)=46,6 (42-52) LAeq (met interventie)=40,8	5,8	Vragenlijst; direct na ontwaken 1 vraag: 'How well did you sleep' schaal 0=worst, 100=best I can remember Score <=50 slecht, >=60 goed	Leeftijd, geslacht	Betere slaapkwaliteit na interventie (reductie geluidniveaus)	Blootstelling gemeten Kleine aantallen Relatie ervaren slaapkwaliteit en wegverkeer niet gekwantificeerd
Labiale, Vallet	1984	Gezond, geen medicijnen, normaal gehoor, niet 's nachts werken, psychisch stabiel	LAeq (0-8) (veldsituatie: slaapkamer)	LAeq (veld)=47 (+/- 2) LAeq (lab)=48 (+/- 3)	Veld versus lab=2	vragenlijst, ochtend, 7-items slaapkwaliteit (11-punts) kwaliteit opstaan (11 punts) inslaapduur/slaaplatentie (min) aantal ontwakingen duur ontwakingen gemak van opnieuw inslapen aantal dromen	-	Geen verschil slaapkwaliteit veld/lab	Studie bedoeld voor vergelijking lab-veld. Geen resultaten relatie slaapkwaliteit en geluidniveau. Kleine aantallen (n=6), Geen confounders

<i>Studie</i>	<i>Jaar</i>	<i>Inclusie criteria steekproef</i>	<i>Blootstellingsmaat (lokatie meting)</i>	<i>Niveaus nachtelijke blootstelling</i>	<i>Verskil in blootstelling</i>	<i>Methode effectmeting</i>	<i>Confounders</i>	<i>Conclusie</i>	<i>Eindoordeel</i>
Griefahn, Gros	1986	Leeftijd 20-65 jaar, echtparen, geen ziekte, geen regelmatige consumptie van alcohol en/of drugs, geen babies, woonduur minimaal 1 jaar, afstand huis tot centrum weg maximaal 50 meter, slaapkamer aan weg- of zijkant huis, geen geluidsisolatie	LAeq nacht, L01 nacht (slaapkamer)	LAeq (raam open)=46,3 LAeq (raam dicht)=39,8 L1 (raam open)=56 L1 (raam dicht)=46,6 LAeq (geen oordopjes)=43,0 LAeq (oordopjes)=33,7 L1 (geen oordopjes)=50,4 L1 (oordopjes)=41,3	6,5  9,4 9 9	Vragenlijst, 's ochtends en 's avonds 0=best sleep possible, 100=poorest sleep possible	Leeftijd, geslacht, woonduur	Slechtere slaapkwaliteit in groep met raam open en bij vrouwen	Blootstelling gemeten Confounders in analyse Relatie ervaren slaapkwaliteit en wegverkeer niet gekwantificeerd
Tulen et al.	1986	-	LAeq, L1, L10, L25, L50, L75, L90, L95 (slaapkamer)	LAeq (zonder interventie)=41-52 LAeq (met interventie)=35-43	4 tot 14	2 vragen: Amsterdam Sleep Quality Questionnaire, 11-items Vraag met continue schaal, uiteinden niet gerapporteerd	-	Slechtere slaapkwaliteit in situatie zonder isolatie	Blootstelling gemeten Geen confounders Relatie ervaren slaapkwaliteit en wegverkeer niet gekwantificeerd
Eberhardt, Akselsson	1987	Mannen, normaal gehoor, geen gebruik slaappillen, goede slaper	N55=aantal auto's 's nachts met L <sub>Amax</sub> >55 dB(A) in slaapkamer N50=aantal auto's 's nachts met L <sub>Amax</sub> >50 dB(A) in slaapkamer Log N55 en log N50 L <sub>r</sub> Aeq gebaseerd op passages >40 dB(A) (buiten: slaapkamerraam binnen: slaapkamer)	L <sub>r</sub> Aeq in situatie zonder interventie=36 ± 4	8	Vragenlijst 's avonds/'s ochtends 's avonds: tiredness, tenseness (5 antwoordcategorieën) 's ochtends: 10 vragen		Slaapkwaliteit correleert met N55 Slechtere slaapkwaliteit in situatie zonder interventie, alleen significant voor vraag naar ontwaken gedurende de nacht	Kleine aantallen Geen confounders Blootstelling gemeten Relatie ervaren slaapkwaliteit en blootstelling wel gekwantificeerd (regressievergelijking)
Maschke et al.	1997	Normaal gehoor, woonachtig in gebied met hoge nachtelijke geluidbelasting	LAeq (buiten raam aan straatkant)	52,8-68,5 (buiten)	9-18	Vragenlijst ochtend, geen gedetailleerde info	Wel maar onbekend welke	Slechtere slaapkwaliteit bij slapen met raam open	Blootstelling gemeten Geen resultaten relatie slaapkwaliteit en blootstelling

Tabel 5 Beoordeling dwarsdoorsnede studies naar de effecten van geluid door wegverkeer op ontwaken

Nr	Studie	Jaar	Inclusiecriteria steekproef	Blootstellings maat (lokatie meting)	Niveaus nachtelijke blootstelling	Verskil in blootstelling	Methode effectmeting	Confounders	Conclusie	Eindoordeel
1	Langdon, Buller	1977	geen info	L10, LAeq, Lnp (22-6) (gevel)	52-79 dB(A)	27	Vragenlijst: Do you wake up during the night? If so, what are the main reasons? Maat: % people waking in the night / % waking in the night because of noise (often and occasionally)	leeftijd, geslacht, beroepsklasse, geluidgevoeligheid, gezondheid, slapen voor/achterkant huis, raam open /dicht	'Waking in the night' niet significant gecorreleerd met geluidsniveaus, 'waking in the night because of noise' wel significant gecorreleerd met geluidniveau's	Gegevens over confounders niet gebruikt bij de correlaties
2	Wehrli et al.	1978	Steekproef in groepen: stad/land, binnenstad/buitenaf, SES, verkeersdichtheid	LAeq (22-6) (buiten)	<50 - 70 dB(A) in geluidsklassen		Vragenlijst: % personen dat 's nachts ontwaakt (bijna dagelijks of meerdere malen per week)	Steekproef in groepen, veel gegevens over mogelijke confounders gevraagd	(In vergelijking met literatuur) hoge correlatie tussen LAeq en 's nachts ontwaken	Gegevens over confounders niet gebruikt bij de correlaties; Geen info leeftijd populatie
3	Bitter	1979	Steekproef in 4 groepen naar geluidsniveau	LAeq (voorkant huis)	Zone 1: 71-75 dB(A) Zone 2: 66-70 dB(A) Zone 3: 61-65 dB(A) Zone 4: <55-60 dB(A)		Vragenlijst: %waking up during night, disturbance during rest/sleep	Diverse gegevens over mogelijke confounders gevraagd	33% van alle respondenten ontwaakt 's nachts door (naar hun mening) verkeersgeluid.	Studie niet geschikt. In dit artikel is het percentage ontwaken niet te relateren aan het geluidsniveau.
4	Hall et al.	1985	Eengezinswoningen, hoog geluidsniveau buiten	Lmax, Leq (woonkamer)			Vragenlijst: whether or not they were awakened once asleep. If yes, they were asked to indicate the frequency of occurrence.	-	Regressie uitsluitend uitgevoerd voor relatie ontwaken en hinder.	Studie niet geschikt. De resultaten m.b.t. ontwaken zijn niet te relateren aan de geluidsniveaus.
5	Labiale, Vallet	1984	Gezond, geen medicijngebruik, normaal gehoor, niet 's nachts werken, psychisch stabiel	LAeq (0-8) (veldsituatie: slaapkamer)	LAeq (veld)=47 (+/- 2) LAeq (lab)=48 (+/- 3)	Veld versus lab=2	EEG: stade réveil, Vragenlijst, ochtend: Nombre et durée de réveils	-	Geen verschil aantal en duur ontwaken tussen veld en lab.	Studie bedoeld voor vergelijking lab-veld. Geen resultaten m.b.t. relatie ontwaken en geluidsniveau. Verschil in blootstelling lab - veld klein. Kleine aantallen (n=6), geen confounders
6	Öhrström	1989	Tenminste 1 jaar woonachtig in huis, >18 jaar	LAeq, 24 uur, aantal (zware) voertuigen (buiten)	LAeq, 24 uur (blootgesteld)=71,8 LAeq, 24 uur (controle)=56	15,8	Interview: number of awakenings Schriftelijke vragenlijst: aantal ontwaken (door verkeersgeluid)	Isolatie raam, lokatie slaapkamer, woontuur, leeftijd, geslacht, beroep,	Aantal ontwaken significant hoger in belast gebied (en een hoger percentage werd hier veroorzaakt door geluid	Confounders in analyse Blootstelling gemeten Relatief kleine aantallen (pilot study)

Nr	Studie	Jaar	Inclusiecriteria steekproef	Blootstellings maat (lokatie meting)	Niveaus nachtelijke blootstelling	Vershil in blootstelling	Methode effectmeting	Confounders	Conclusie	Eindoordeel
7	Garcia et al.	1990	Max 1 persoon per huishouden	LAeq7-22 en 22-7, LAeq 24 hr, Ldn, LAeq uur	LAeq in 5 groepen, 55-60 (minst belast), 70-75 (meest belast)	15	Vragenlijst: awakenings in the night	-	Geen resultaten mbt ontwakenen gepresenteerd	Studie niet geschikt. Resultaten gerapporteerd per groep (locatie). Wegverkeer is 1 vd 5 locaties. Geen resultaten mbt ontwakenen gepresenteerd.
8	Öhrström	1993	tenminste 1 jaar wonachtig in gebied	LAeq,24 uur L90 Aantal (zware voertuigen	LAeq, 24 uur blootgesteld: 62-75 LAeq, 24 uur controle: <55	7-20	Vragenlijst: awakenings: %>1 time/night	Leeftijd, burgerlijke staat	Weinig verschil in ontwakenen tussen belast gebied en controle gebied	Confounders in analyse.
9	Nivison, Endresen	1993	Goed gehoor	LAeq,etmaal, Lmax (buiten, gevel)	Lmax=87,5 (80-91) Letmaal=69 (63-72)	deel straat meeste en minste verkeer verschil LAeq 3,8 verschil Lmax 3,8	Vragenlijst: number of nocturnal awakenings, time awake	leeftijd, geslacht, gebruik slaapmiddelen	Bij vrouwen minder ontwakenen in de nacht bij hogere LAeq en Lmax (p<0,1) Voor ontwakenen alleen correlatie, geen regressie-analyse.	Jongeren ondervertegenwoordigd, blootstelling berekend Voor ontwakenen alleen correlatie, geen regressie-analyse. Alleen significante resultaten gegeven.
10	Fidell et al.	1995 -		LAeq, SEL, LAmx, A-gewogen signal-to-noise ratio (22-8) (slaapkamer)	Controlegebied is aan wegverkeer blootgesteld: LAeq (10-8) in slaapkamer Gemiddelde totaal 37,8 (472 subject nights) LAmx over alle noise events: 59,9 (sd 6,5; range 37,3) LAeq nacht met treshold 60 dB(A): 44,5 (sd 5,2; range 29,0)	n.v.t.	Vragenlijst, ochtend:	geen info	Geen resultaten mbt wegverkeer gepubliceerd.	Kleine aantallen Studie niet geschikt. Studie naar vliegverkeer. Alleen controlegroep aan wegverkeer blootgesteld Resultaten voor deze groep niet gepubliceerd
11	Kageyama et al.	1997	geen info	Verkeersvolume 's nachts. Ingedeeld naar 8 gebieden en 3 zones (afstand weg), voor 2 gebieden LAeq niveaus opgevraagd	geen info	geen info	Vragenlijst: intermittent waking	Leeftijd, kinderen < 6 jr thuis, medische behandeling, major life events, bedtijd, ademstilstand tijdens slaap	Een hoger verkeersvolume 's nachts leidt tot een hoger risico op slapeloosheid (waarvan ontwaken een onderdeel is)	De resultaten die specifiek gericht zijn op ontwakenen zijn gerelateerd aan gebieden / zones. Onvoldoende info over geluidsniveaus per zone beschikbaar.

<i>Nr</i>	<i>Studie</i>	<i>Jaar</i>	<i>Inclusiecriteria steekproef</i>	<i>Blootstellings maat (lokatie meting)</i>	<i>Niveaus nachtelijke blootstelling</i>	<i>Vershil in blootstelling</i>	<i>Methode effectmeting</i>	<i>Confounders</i>	<i>Conclusie</i>	<i>Eindoordeel</i>
12	Belojevic et al.	1997	Woonduur gebied tenminste 1 jaar	LAeq (0-5)	LAeq, belast gebied=69,5 LAeq, controle=39,8	29,7	Vragenlijst: ontwakingen	Leeftijd, SES, geslacht, woonduur, geluidgevoeligheid	In belast gebied meer ontwakingen	Relatief kleine aantallen
13	Yoshida et al.	1997	geen info	LAeq (24 hr)	40-75 dB(A)		Vragenlijst: hoge responsontwakingen tijdens de nacht	Leeftijd, woonduur, type / leeftijd woning (maar niet gebruikt in analyse)	Toename van hoge respons ontwaken in de nacht vanaf 70 dB(A)	Geen info inclusiecriteria, geen confounders in analyse

Tabel 6 Beoordeling interventiestudies naar de effecten van geluid door wegverkeer op ontwaken

Studie	Jaar	Inclusiecriteria steekproef	Blootstellings maat (lokatie meting)	Niveaus nachtelijke blootstelling	Verskil in blootstelling	Methode effectmeting	Confounders	Conclusie	Eindoordeel
14	Öhrström, Björkman	1983 Personen die in vragenlijst aangaven 's nachts verstoord te zijn door geluid	LAeq (22-8) (buiten bij raam en binnen in slaapkamer)	LAeq, binnen (zonder isolatie)=35 LAeq, binnen (met isolatie)=26 LAeq, buiten=66	9	Vragenlijst, ochtend: number of awakenings als onderdeel van Sleep Quality Index (SQI)	-	Alleen resultaten voor SQI gegeven, niet specifiek voor ontwaken	Studie niet geschikt. Geen resultaten m.b.t. ontwaken Zeer klein aantal (3) Geen confounders
15	Vallet et al.	1983 Geen slaappillen, minimaal 4 jaar blootgesteld aan verkeersgeluid, goed gehoor, gezond	LAeq nacht (slaapkamer)	slaapkamer voorzijde (noisy): 39-51 slaapkamer achter (quiet): 27-42	2 tot 14	EEG: wake stage (min), changes to wakening (number) Vragenlijst, ochtend: number of wakenings	-	Minder en kortere ontwaakperioden in quiet situatie tovnoisy	Geen confounders in analyse.
16	Wilkinson, Campbell	1984 Geen medicijngebruik, goed gehoor, goede algemene gezondheid	LAeq, nacht (slaapkamer)	LAeq (zonder dubbel glas)=46,6 (42-52) LAeq (met dubbel glas)=40,8 (36-47)	5,8	EEG: stage wake (min), changes to wakening (number), Vragenlijst, ochtend; No.wakenings, Av. Period awake (min)	Invloed van leeftijd en geslacht onderzocht, niet voor gecorrigeerd in analyse (geen indicatie invloed)	EEG: geen sign. verschil na interventie Vragenlijst: aantal ontwaken met dubbel glas kleinder dan zonder dubbel glas. Periode wakker geen verschil.	Kleine aantallen (n=12)
17	Griefahn, Gros	1986 Leeftijd 20-65 jaar, echtparen, geen ziekte, geen regelmatige consumptie van alcohol en/of drugs, geen babies, woonduur minimaal 1 jaar, afstand huis tot centrum weg maximaal 50 meter, slaapkamer aan weg- of zijkant huis, geen geluidsisolatie. Eerste 2 nachten uitgesloten van analyse.	LAeq, nacht, L1, nacht (slaapkamer)	Leq (raam open)=46,3 Leq (raam dicht)=39,8 L1 (raam open)=56 L1 (raam dicht)=46,6 Leq (geen oordopjes)= 43,0 Leq (oordopjes)=33,7 L1 (geen oordopjes) =50,4 L1 (oordopjes)=41,3 Leq (controle)= 35,4-48,2, L1 (controle)= 41,0-56,6	6,5 9,4 9 9	Vragenlijst, ochtend: % nights with recalled awakenings, frequency of awakenings per night and time awake	Subgroepen naar leeftijd, geslacht, woonduur	Effecten geluid op ontwaken niet significant	Blootstelling gemeten Confounders in analyse

<i>Studie</i>	<i>Jaar</i>	<i>Inclusiecriteria steekproef</i>	<i>Blootstellings maat (lokatie meting)</i>	<i>Niveaus nachtelijke blootstelling</i>	<i>Verskil in blootstelling</i>	<i>Methode effectmeting</i>	<i>Confounders</i>	<i>Conclusie</i>	<i>Eindoordeel</i>
18 Eberhardt, Akselsson	1987	Mannen, normaal gehoor, geen gebruik slaappillen, goede slaper	N55=aantal auto's 's nachts met LAmax>55 dB(A) in slaapkamer N50=aantal auto's 's nachts met LAmax>50 dB(A) in slaapkamer Log N55 en log N50 L <sub>T</sub> Aeq gebaseerd op passages >40 dB(A)	L <sub>T</sub> Aeq in situatie zonder isolatie=36 ± 4	8	Vragenlijst 's ochtends: did you wake up during the night, if yes, how many times?	-	Significant meer ontwaken gedurende de nacht met hoog geluidniveau tov laag niveau. Voor ontwaken geen regressie uitgevoerd	Kleine aantallen (n=7) Geen confounders Geen regressie-analyse m.b.t. ontwaken
19 Gomez-Jacinto, Moral-Toranzo	1999	Geen info	LAeq	Belast (zonder isolatie): 67,3-74,9 dB(A) Onbelast (met isolatie): 57,3-62,0 dB(A)	11 (gem)	Vragenlijst: arousal provoked by traffic noise (als een van de indicatoren voor ervaren geluidbelasting)	geen info	Ervaren geluidbelasting sterkt gecorreleerd aan gezondheid, ook (in mindere mate) na isolatie.	Studie heeft tot doel de relatie tussen ervaren geluidbelasting en gezondheid te kwantificeren voor en na isolatie. Niet specifiek gericht op het kwantificeren van de relatie tussen geluid en ontwaken.

## 4. Conclusies en aanbevelingen

Deze literatuurstudie is uitgevoerd met als doel inzicht te krijgen in de aanwezige kennis over de effecten van geluid door wegverkeer op de slaap. Hiervoor zijn

34 veldstudies bestudeerd die aan de vooraf geformuleerde selectiecriteria voldeden. Het betreft zowel dwarsdoorsnede als interventiestudies, voor het merendeel uitgevoerd in Europa in de jaren tachtig. De studies bestudeerden vooral volwassenen, zowel mannen als vrouwen. Een klein aantal studies heeft ook ouderen bestudeerd. In bijna alle studies zijn meerdere slaapparameters gemeten. Dit zijn met name ontwakingen, slaapkwaliteit, moeilijkheden met inslapen en slaapstadiaveranderingen. De blootstelling is meestal (binnen in de slaapkamer) gemeten.

Voor twee slaapparameters, ervaren slaapkwaliteit en ontwakingen, is nagegaan of een kwantitatieve samenvatting van de studieresultaten (meta-analyse) mogelijk was. Hoewel de kwaliteit van een aantal studies goed is, zijn ze niet geschikt om samen te voegen in een meta-analyse vanwege de heterogeniteit:

- De definities en methoden voor het bepalen van de ervaren slaapkwaliteit en ontwakingen verschillen. Hierdoor zijn ze onderling onvoldoende vergelijkbaar.
- Ook de periode waarvoor de blootstelling aan wegverkeer is bepaald verschilt tussen de studies. Het is niet altijd duidelijk hoe de nachtperiode gedefinieerd is, deze wordt niet altijd gespecificeerd. Daarnaast wordt ook vaker alleen de LAeq, 24 uur gepresenteerd.
- Confounders zijn vaak niet gemeten of niet meegenomen in de analyses. Hierdoor kan het effect van de geluidsbelasting overschat worden. Als confounders wel waren meegenomen in deze analyses was het effect van de geluidbelasting mogelijk minder sterk of zelfs afwezig.

Het is op basis van de bestudeerde studies dus niet mogelijk om met een meta-analyse een blootstelling-respons relatie op te stellen voor ervaren slaapkwaliteit en ontwakingen die is gebaseerd op veldstudies en specifiek geldt voor wegverkeer. Van de bestaande blootstellings-respons relaties die zijn gebaseerd op eerdere meta-analyses voldoet alleen de recentelijk opgestelde relatie door Miedema (2003) aan de randvoorwaarden voor deze studie (alleen wegverkeer, alleen veldstudies). Deze is opgesteld voor slaapverstoring en is gebaseerd op een analyses van originele data van 12 veldstudies uit het Kennisbestand Verstoring. Deze relatie kan gebruikt worden voor het schatten van de omvang van slaapverstoring met behulp van EMPARA.

Om een meta-analyse van bestaande studies mogelijk te maken dienen studies vergelijkbare elementen te bevatten, zoals een gezamenlijk design, gestandaardiseerde vragenlijsten en vergelijkbare blootstellingsmaten (Griefahn, 2000).

De resultaten van de bestudeerde studies naar ervaren slaapkwaliteit en ontwakingen geven aanwijzingen dat blootstelling aan het geluid van wegverkeer leidt tot een slechtere ervaren slaapkwaliteit en meer (of langer)

ontwaken. Bij de interpretatie van deze resultaten moeten bovengenoemde bevindingen, zoals het ontbreken van versturende variabelen in de analyse of het gebruik van verschillende maten, in acht worden genomen. Andere factoren die van invloed zijn op de ervaren slaapkwaliteit zijn o.a. leeftijd, geslacht, gezondheidstoestand, hinder door andere milieufactoren en welzijn. Uit aanvullende analyses naar slaapverstoring door wegverkeer in de omgeving van Schiphol komen aanwijzingen dat slaapverstoring, slaapklachten en het gedrag van mensen beïnvloed worden door blootstelling aan weggeluid. Er zijn geen aanwijzingen voor een effect van weggeluid op het gebruik van slaapmiddelen. Verminderde slaapkwaliteit komt vaker voor naarmate de geluidsbelasting door wegverkeer toeneemt. Ditzelfde geldt, in sterkere mate, voor ernstige verstoring van de slaap door wegverkeer. Naarmate de geluidsbelasting toeneemt, wordt het risico dat men minstens een maal per week verstoord wordt bij de slaap groter. Isolatie van huizen tegen geluid van wegverkeer komt vaker voor naarmate de geluidsbelasting door wegverkeer hoger is. Ook is men in dat geval geneigd tot minder ventileren van de woning. Verder is ook de kans dat men nooit met het raam open slaapt groter bij toenemende blootstelling aan wegverkeer.

De hier beschreven studie biedt een goede basis voor de voorbereiding van een onderzoek naar slaapverstoring door wegverkeer. De resultaten van dit onderzoek ondersteunen de noodzaak om een veldstudie, zoals voorzien, in Nederland uit te voeren. Deze veldstudie zal blootstelling-respons relaties voor diverse slaapparameters moeten opleveren. Deze relaties kunnen vervolgens gebruikt worden voor het, met behulp van een model (bijvoorbeeld EMPARA), schatten van de omvang van slaapverstoring door wegverkeer op landelijke schaal.

## Literatuur

- Belojevic G, Jakovljevic B, Oleksic O. Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits. *Environment International*, 1997; 23/2, 221-226.
- Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. Guidelines for Community Noise. 3. Adverse health effects of noise. World Health Organisation 1999.
- Bitter C. Research Inst for EnvHygiene Netherlands. Perception and Experience of Traffic Noise in a Residential District. *Urban Ecol*, 1979; v4, n2, p161(17).
- Carter NL. Transportation noise, sleep, and possible after-effects. *Environment International*, 1996; 22(1), 105-116.
- Carter NL, Ingham P, Tran K, Hunyor SN. A field-study of the effects of traffic noise on heart-rate and cardiac-arrhythmia during sleep. *Journal Of Sound and Vibration*, 1994; 169(2), 211-227.
- Dongen van JEF. Beleving van Geluidwerende Voorzieningen Tegen Snelverkeerslawaai in de Woonsituatie -een Vergelijkende Studie-. IMG-TNO report D-65. IMG-TNO, Delft, 1982.
- Dormolen van M, Kamp van I, Vries-Griever de AHG, Altena K. Omgevingslawaai, slaap en gezondheid. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1988; Rapport nrGA-HR-01-03, blz 1.1 – 1.3.
- Eberhardt JE. The disturbance by road traffic noise of the sleep of prepuberal children as studied in the home. In: Berglund B, Lindvall T, Red. Proceedings of the 5<sup>th</sup> congress on noise as a public health problem. Vol 5. Stockholm: Swedisch council for Building Research, 1990; 65-79.
- Eberhardt JL, Akselsson KR. The disturbance by road traffic noise of the sleep of young male-adults as recorded in the home. *Journal Of Sound and Vibration*, 1987; 114(3), 417-434.
- Eberhardt JL. Disturbance by road traffic noise of the sleep of young and elderly males as recorded in the home. In: Koella, WP. (ed.). Sleep, 1982. Physiology, pharmacology, sleep factors, memory, sleep deprivation, hypnotics; 6th European congress on sleep research, Zurich, March 23-26, 1982. XIV+435p. S. Karger: Basel, Switzerland; New York. ISBN 3-8055-3577-5.: 0 (0), 1983; 298-300.
- FICON. FederalInteragency Committee on Noise. Federal Agency review of selected airport noise analysis issues. Washington, DC: FICON, 1992.
- Fidell S, Pearsons K, Tabachnick B, Howe R, Silvati L, Barber DS. Field study of noise-induced sleep disturbance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 1995; 98/2 I, 1025-1033.
- FinegoldLS, Harris CS, vonGierke HE. Community annoyance and sleep disturbance: updated criteria for assessing the impacts of generaltransportation noise on people. *Noise Contro Engineering Journal*, 1994; 42 (1), 25-30.
- FinegoldLS, Elias B. A predictive model of noise induced awakenings from transportation noise sources. *Internoise*, 2002; August 19-21. Dearborn, Michigan, USA.
- Garcia A, Miralles JL, Garcia AM, Sempere MC. Community response to environmental noise in Valencia. *Environment International*, 1990; 16/4-6, 533-541.
- Gezondheidsraad. Grote luchthavens en gezondheid. De Haag: Gezondheidsraad, 1999; nr. 1999/14.

- Gomez Jacinto L, Moral Toranzo F. Urban traffic noise and self-reported health. *Psychol-Rep*, 1999; 84 (3 Pt 2), 1105-8.
- Griefahn B, Gros E. Zur wirkung von Strassengeräuschen auf den Schlaf. Ergebnisse einer Feldstudie. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin*, 1985; 20/4, 73-77.
- Griefahn B, Jansen G, Klosterkötter W. Zur Problematik lärmbedingter Schlafstörungen: eine Auswertung von Schlaf-Literatur. *Umweltbundesamt*, 1976; 4, 1-251.
- Griefahn B. Präventivmedizinische Vorschläge für den nächtlichen Schallschutz. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 1990; 37, 7-14.
- Griefahn B. Sleep disturbances related to environmental noise. *Noise and Health*, 2000; 4:15, 57-60.
- Griefahn B, Gros E. Noise and sleep at home, a field study on primary and after-effects. *J. Sound Vibrat*, 1986; 105/3, 373-383.
- Gros E, Griefahn B. Habituelle Schlafqualität und Lärmbelästigung bei Anwohnern von Strassen mit hoher Verkehrsdichte. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 1985; 32/4, 100-107.
- Hall FL, Taylor SM, Birnie SE. Activity interference and noise annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 1985; 103 (2), 237-252.
- Hofman W. Sleep disturbance and sleep quality. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, Faculteit der Psychologie. Thesis Universiteit van Amsterdam, 1994.
- Hofman WF, Kumar A, Tulen JHM. Cardiac reactivity to traffic noise during sleep in man. *Journal Of Sound and Vibration*, 1995; 179(4), 577-589.
- Hollander de AEM, Preller EA, Heisterkamp SH, Jansen J. Meta-analyse van observationeel onderzoek. Mogelijkheden en beperkingen bij toepassingen ten behoeve van het kwantificeren van gezondheidsrisico's (1996). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. Rapportnummer 263610002.
- Jong de RG. Beleving van Geluidwerende Voorzieningen Langs Rijksweg 10. Geluid en Omgeving, 1981; 4(1), 16-8. Dokumentnr: 801. IMG-TNO, Delft.
- Kabuto M, Kageyama T. National Institute for Environmental Studies, Ibaraki, Japan. Nighttime Road Traffic Noise and Sleep Quality. *Proceeding of the 1994 Int .Congress on Noise Control Engineering*. Inter Noise '94, Noise-Quantity and Quality, Yokohama, Japan: v2, p1041(6).
- Kageyama T, Kabuto M, Nitta H, Kurokawa Y, Taira K, Suzuki S, Takemoto T. A population study on risk factors for insomnia among adult Japanese women: a possible effect of road traffic volume. *Sleep*, 1997; 20(11), 963-71.
- Kempen van EEMM, Kruize H, Boshuizen HC, Ameling CA, Staatsen BAM, Hollander de AEM. (2001/1). The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease. A meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 2002; 110(3), 307-317.
- Labiale G, Vallet M. Comparative study of effects of noise on sleep in the laboratory and at home. *Travail Humain*, 1984; 47(2), 143-154.
- Labiale G, Vallet M. (1981). Etude comparative du sommeil perturbé par le bruit en laboratoire et adomicile. Analyse physiologique et psychologique. Institut de recherche de transports, Centre d'évaluation et de recherche des nuisances et de l'énergie. AER IV.2 (7917).

- Langdon FJ, Buller IB. Road traffic noise and disturbance to sleep. *Journal of Sound and Vibration*, 1977; 50(1), 13-28.
- Lercher P, Kofler WW. Behavioral and health responses associated with road traffic noise exposure along alpine through-traffic routes. *Science of the Total Environment*, 1996; 189-190/- (85-89).
- Liu Xiaotu. Analysis of the acoustical environment of urban dwellings. *Applied Acoustics*, 1990; 29(4), 273-87.
- Lukas JS. Measures of noise level: their relative accuracy in predicting objective and subjective responses to noise during sleep. EPA-600/1-77-010, Office of Health and Ecologic Effects, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, 1977.
- Lukas JS. Noise and sleep: a literature review and a proposed criterion for assessing effect. *J. Acoust. Soc. Am.* 1975; 58(6), 1232-1242.
- Maschke C, Ising H, Hecht K. Schlaf-nächtlicher Verkehrslärm - Stress - Gesundheit: Grundlagen und aktuelle Forschungsergebnisse. *Bundesgesundhbl.* 1997; vol 3, 86-95.
- Meijer H, Knipschild P, Sallé H. Road traffic noise annoyance in Amsterdam. *Int-Arch-Occup-Environ-Health*, 1985; 56(4), 285-97.
- Miedema HME, Passchier-Vermeer W, Vos H. Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. Delft: TNO Inro. TNO Inro Report 2002-59, 2003.
- Miedema HME, van den Berg R. Hinder Door Geluid van Tram- en Wegverkeer. Rapport GA-HR-08-02. Ministerie van VROM, 1985.
- Miedema HME. Response functions for environmental noise in residential areas. Leiden: TNO-PG, 1992. Publikatienr. 92.021.
- Moehler U (Reprint), Liepert M, Schuemer R, Griefahn B. Differences between railway and road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 2000; 231(3), 853-864.
- Nivison ME, Endresen IM. An analysis of relationships among environmental noise, annoyance and sensitivity to noise, and the consequences for health and sleep. *J-Behav-Med*, 1993; 16(3), 257-76.
- Öhrström E, Björkman M. Sleep disturbance before and after traffic noise attenuation in an apartment building. *J-Acoust-Soc-Am*, 1983; 73(3), 877-9.
- Öhrström E. Long-term effect in terms of psycho-social wellbeing, annoyance and sleep disturbance in areas exposed to high levels of road traffic noise. In M. Vallet (ed.) *Noise & Man '93. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Congress Noise as a Public Health Problem. Vol 2.* Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité Nice, France 5-9 Juillet 1993; vol 2, 209-212.
- Öhrström E. Adverse health effects before and after reduction in road traffic. Paper ICAA, 14 juni 2001.
- Öhrström E. Psycho-social effects of traffic noise exposure. *J Sound Vibr.* 1991; 151, 513-518.

- Öhrström E. Sleep disturbance, psycho-social and medical symptoms - a pilot survey among persons exposed to high-levels of road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 1989; 133(1), 117-128.
- Passchier-Vermeer W. *Geluid en Gezondheid. Achtergrondstudie*. Den Haag: Gezondheidsraad, 1993; publikatie nr. A93/02.
- Pearsons KS, Barber DS, Tabachnick BG, Fidell S. Predicting noise-induced sleep disturbance. *J. Acoust. Soc. Am.* 1995; 97(1), 331-338.
- Porter N, Kershaw A, Ollerhead J. Adverse effects of night-time aircraft noise: review of 1992 UK findings and introduction to new UK work. In: *Internoise 2000. The 29<sup>th</sup> International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. 27-30 August 2000, Nice France.
- RIVM. Rijksofficial voor Volksgezondheid en Milieu. *Ontwikkelingen en implementatie kennisfunctie Verstoring RIVM. Plan van aanpak. Tweede concept*, 1998.
- Schuemer R, Zeichart K. *Strukturanalysen zur Reaktion auf Verkehrslärm. Teil 1: Untersuchungsansatz*. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*. 1989; 36/1, 12-18.
- TNO-PG & RIVM. *Hinder, slaapverstoring, gezondheids- en belevingsaspecten in de regio Schiphol, resultaten van een vragenlijstsonderzoek*. RIVM rapport 441520010; TNO rapport 98.039, 1998.
- Tulen JHM, Kumar A, Jurriens AA. Psychophysiological acoustics of indoor sound due to traffic noise during sleep. *Journal of Sound and Vibration*, 1986; 110(1), 129-141.
- Vallet M, Gagneux JM, Blanchet V. Long term sleep disturbance due to traffic noise. *J. Sound Vibrat.* 1983; 90/2, 173-191.
- VROM. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. *Directoraat-Generaal Milieubeheer. Naar een landelijk beeld van verstoring. Publikatiereeks Verstoring, nr 12/1997*.
- Wehrli B, Nemecek J, Turrian V, Hofmann R, Wanner HU. *Belästigung durch Strassenverkehrslärm in der Nacht*. *Soz-Praventivmed*, 1978; 23(4), 305-6.
- Wilkinson RT, Campbell KB. Effects of traffic noise on quality of sleep: assessment by EEG, subjective report, or performance the nextday. *J-Acoust-Soc-Am.* 1984; 75(2), 468-75.
- Yoshida T (Reprint), Osada Y, Kawaguchi T, Hoshiyama Y, Yoshida K, Yamamoto K. Effects of road traffic noise on inhabitants of Tokyo. *Journal of Sound and Vibration*, 1997; 205(4), 517-522.

## Bijlage I Gepubliceerde blootstelling-respons relaties geluid en slaap

Auteur	Effect	Expositie maat	Bron	Aantal studies	Type studies	Land/periode	Blootstelling-respons relatie
Miedema, Passchier-Vermeer, Vos, 2003	Motiliteit	L <sub>night</sub>	vliegverkeer	1	Veld	Nederland	Max aantal bewegingen per jaar <sup>(a)</sup> = $N \times [0,0001233x(L_{night} + 70,2-10\log N - LDiff1 - LdDiff2)^2 - 0,007415x(L_{night} + 70,2-10\log N - LDiff1 - LdDiff2) + 0,0994]$
Miedema, Passchier-Vermeer, Vos, 2003	Motiliteit	L <sub>night</sub>	vliegverkeer	1	Veld	Nederland	Toename in gemiddeld aantal bewegingen tijdens slaap <sup>(a)</sup> = $0,000192x(L_{night}-LDiff1-LDiff2)$
Miedema, Passchier-Vermeer, Vos, 2003	Slaapverstoring	L <sub>night</sub>	Wegverkeer	12	Veld	Europa, Noord-Amerika, Australië, Japan	%ernstig slaapverstoord=20,8 - 1,05L <sub>night</sub> + 0,01486L <sub>night</sub> <sup>2</sup> %slaapverstoord=13,8 - 0,85L <sub>night</sub> + 0,01670L <sub>night</sub> <sup>2</sup> %(tenminste) enigszins slaapverstoord=-8,4 + 0,16L <sub>night</sub> + 0,01081 L <sub>night</sub> <sup>2</sup>
			railverkeer	12	Veld	Europa, Noord-Amerika, Australië, Japan	%ernstig slaapverstoord=11,3 - 0,55L <sub>night</sub> + 0,00759L <sub>night</sub> <sup>2</sup> %slaapverstoord=12,5 - 0,66L <sub>night</sub> + 0,01121L <sub>night</sub> <sup>2</sup> %(tenminste) enigszins slaapverstoord=4,7 - 0,31L <sub>night</sub> + 0,01125 L <sub>night</sub> <sup>2</sup>
Finegold & Elias, 2002	Ontwakingen	SEL (indoor)	Div soorten verkeersgeluiden, m.n. vliegverkeer	8	Veld	Europa, Amerika	%ontwakingen=0,58 + (4,30 x 10 <sup>-8</sup> ) SEL <sup>4,11</sup>
Pearsons et al, 1995	Ontwaken	L <sub>Amax, binnenshuis</sub> L <sub>Amax, binnenshuis</sub>	<sup>(b)</sup>	16	Lab	1971-1983	%arousedor awakened = -9,48 + 0,57 x
			Traffic, aircraft, rail	5	Veld		%arousedor awaked = -4,72 + 0,12 x
		SEL <sub>binnenshuis</sub> SEL <sub>binnenshuis</sub>	<sup>(b)</sup>	16	Lab	1971-1983	%arousedor awaked = -31,97 + 0,82 x
			Traffic, aircraft, rail	5	Veld		%arousedor awaked = -6,91 + 0,14 x
Pearsons et al, 1995	Slaapstadiumveranderingen	L <sub>Amax, binnenshuis</sub> L <sub>Amax, binnenshuis</sub>	<sup>(b)</sup>	16	Lab	1971-1983	%slaapstadiaveranderingen = -34,68 + 1,21 x
			Traffic, aircraft, rail	5	Veld		%slaapstadiaveranderingen = -22,07 + 0,77 x
		SEL <sub>binnenshuis</sub> SEL <sub>binnenshuis</sub>	<sup>(b)</sup>	16	Lab	1971-1983	%slaapstadiaveranderingen = -36,13 + 1,17 x
			Traffic, aircraft, rail	5	Veld		%slaapstadiaveranderingen = -23,66 + 0,71 x

Auteur	Effect	Expositie maat	Bron	Aantal studies	Type studies	Land/periode	Blootstelling-respons relatie
Hofman, 1994	Ontwaken	$L_{Amax}$	Vliegverkeer	11	Lab en veld	1964-1991	kans op ontwaken = $0,43462 \times -9,1415$
		$L_{Amax}$	Wegverkeer	18	Lab en veld		Kans op ontwaken = $1,0357 \times -42,749$
Miedema, 1992	% personen dat vaak in slaap wordt gestoord	$L_{Aeq, 24 h}^{(c)}$	Div. soorten verkeersgeluiden				<60 dB(A) 0%; 60-65 dB(A) 14%; 65-70 dB(A) 31%; 70-75 dB(A) 45%; > 75 dB(A) 60%. <sup>(d)</sup>
FICON, 1992 Finegold, 1994	Ontwakingen	SEL (indoor)	Div soorten verkeersgeluiden, m.n. vliegverkeer	?	Lab & veld		%ontwakingen= $7,079 \times$ geluidbelasting <sup>3,496</sup>
Griefahn, 1976 & 1990	Ontwakingen Afwezigheid van slaapstadiumveranderingen	$L_{Amax}$	Vliegtuigen, treinen, wegverkeer, sonic booms, ruis	10	Vnl lab		Kans op ontwaken = $1,32 \times -79,67$
Lukas, 1977	Ontwaken Slaapstadiumveranderingen	EPNL <sup>(d)</sup> EPNL <sup>(d)</sup>	Wegverkeer, vliegverkeer en sonic booms	26	Lab & veld	Zestiger jaren	
Lukas, 1975	Afwezigheid van slaapstadiumveranderingen	EPNL <sup>(d)</sup>	Vliegverkeer, Sonic boom, wegverkeer	7	Lab		% personen zonder slaapverstoring = $-1,552 \times$ geluidbelasting + a

a) N=aantal 'aircraft noise events' boven effectdrempel (voor  $L_{max}$ , buiten  $>53$  dB(A)),  $LDiff1$ =verschil tussen  $L_{night}$  (aan meest blootgestelde gevel) en de  $L_{Aeq}$  aan de gevel van de slaapkamer.  $LDiff2$ =verschil tussen  $L_{Aeq}$  over de nacht, buiten aan de gevel van de slaapkamer en in de slaapkamer gedurende de slaaperiode.

b) Sonic boom, transformer line, transmission, air conditioner, traffic, artificial ping, white noise, jet flyover, DCB landing, nacelles, pinknoise burst, Blown flap STOL, turbo fan STOL, Aircraft, Rail Truck.

c) De door Miedema gegeven relatie gebruikte oorspronkelijk de  $L_{Aeq, 23-07h}$  als geluidmaat. Later is deze omgezet in  $L_{Aeq, 24 h}$ .

d) EPNL=Effective perceived noise level

## Bijlage II      Analyse gegevens uit vragenlijst- onderzoek Schiphol (1996) op wegverkeer

*Auteur: Linda Verhoef, Centrum voor MilieuGezondheidsOnderzoek (RIVM)*

### Inleiding

In 1996 is een vragenlijstonderzoek uitgevoerd in een gebied met een straal van 25 km rond de luchthaven Schiphol (TNO-PG en RIVM, 1998). Doel van dit onderzoek was het beschrijven van het vóórkomen van hinder, slaapverstoring, gezondheids- en belevingsaspecten in de regio Schiphol en de relatie van deze klachten met vliegverkeer. In het studiegebied vindt ook blootstelling aan wegverkeer plaats. In de vragenlijst zijn vragen opgenomen welke gekoppeld kunnen worden aan de geluidsbelasting door wegverkeer. Op deze manier kan een indruk gekregen worden van de omvang van slaapverstoring, medicijngebruik en blootstellings-reducerende maatregelen in relatie tot wegverkeer.

### Methode

Voor het bepalen van de blootstelling aan wegverkeer zijn X en Y coördinaten van de 11.812 respondenten van het Schipholonderzoek gekoppeld aan de geluidbelasting door wegverkeer. De geluidbelasting is berekend met behulp van EMPARA voor gebiedjes van 100\*100 meter. Gebruikte blootstellingsmaten zijn Letmaal, Lden en Lnight (23-07), van het jaar 2000, binnen een straal van 25 km rondom Schiphol. Er is gekeken naar de gecumuleerde blootstelling aan geluid van rijkswegen, provinciale wegen, binnen- en buitenstedelijke wegen.

De volgende effectvariabelen zijn geanalyseerd:

#### *Slaapverstoring*

- Gebruik van door arts voorgeschreven slaap- of kalmeringsmiddelen;
- Gebruik van slaap- of kalmeringsmiddelen op eigen initiatief;
- Iedere nacht of regelmatig gebruik van slaap- of kalmeringsmiddelen;
- 4 of meer klachten op Ervaren Slaapkwaliteitschaal (verminderde ervaren slaapkwaliteit);
- In ernstige mate verstoord bij slaap door wegverkeer (hoogste score van binnen- en buitenstedelijk wegverkeer, afkappunt 8);
- Minstens eens per week verstoord bij slaap door wegverkeer (laagste score van binnen- en buitenstedelijk wegverkeer).

#### *Blootstellings-reducerende variabelen*

- Isolatie huis tegen geluid van wegverkeer (vraag E11a);
- Minder ventileren huis door geluid van wegverkeer (E13a);
- Nooit met het raam open slapen (vraag G5).

Voor de analyses is gebruik gemaakt van de modellen uit het Schipholonderzoek (zie TNO-PG en RIVM, 1998), met enkele aanpassingen voor

gebruik voor wegverkeer. In tabel 1 is per effectvariabele weergegeven welke determinanten in de modellen gebruikt zijn en hoe ze geoperationaliseerd zijn. Vliegtuiggeluid is in de huidige analyse tevens opgenomen, opdat het effect hiervan niet verdisconteerd wordt in de blootstellingsvariabele voor wegverkeer. In de analyse van slaapmiddelengebruik en slaapverstoring zijn mensen met reumatische aandoeningen en hart- en vaatziekten niet meegenomen. In de analyses voor de blootstellings-reducerende variabelen zijn enkele eigenschappen van woningen opgenomen, aangezien aangenomen wordt dat deze samenhangen met de te onderzoeken relatie. Indien in een woning gerookt wordt, is het aannemelijk dat hier vaker geventileerd wordt. Het type woning zal samenhangen met de blootstelling aan geluid, zowel qua bouw als qua geografische ligging. Koopwoningen zijn vaak van betere kwaliteit dan huurwoningen. Verder is aangenomen dat naarmate een woning nieuwer is, de kans op geluidsisolatie groter is.

*Tabel 1 Overzicht van determinanten en hun operationalisatie in de analyses voor wegverkeer*

<b>Effectvariabele</b>	<b>Determinanten</b>	<b>Categorieën</b>
Gebruik slaapmiddelen, door arts voorgeschreven	Leeftijd	17-24 jaar (referentie)/ 25-34/35-44/45-54/55-64/65-74/≥75
Gebruik slaapmiddelen, zelfmedicatie	Geslacht	man(referentie)/vrouw
Frequent gebruik slaapmiddelen (regelmatig/elke nacht)	Opleiding	geen opleiding, lagere school en lager beroepsonderwijs (referentie)/mavo, middelbaar beroepsonderwijs, havo, vwo/hbo, wo
Verminderde slaapkwaliteit (meer dan 4 slaapkachten)	Etniciteit	niet Nederlands (referentie)/Nederlands
Ernstige verstoring van de slaap door geluid van wegverkeer	Stedelijkheid	weinig-niet stedelijk (referentie)/(sterk stedelijk/ zeer sterk stedelijk
Minimaal 1 keer per week in slaap gestoord door geluid van wegverkeer	Blootstelling aan vliegverkeer	Letmaal per 10 db(A)
	Blootstelling aan wegverkeer	L24, Lnight of Lden
<b>Blootstellings-reductie variabele</b>	<b>Determinanten</b>	<b>Categorieën</b>
Isolatie huis tegen geluid van wegverkeer	Leeftijd	17-24 jaar (referentie)/ 25-34/35-44/45-54/55-64/65-74/≥75
Minder ventileren door geluid van wegverkeer	Geslacht	man(referentie)/vrouw
Nooit slapen met raam open	Opleiding	geen opleiding, lagere school en lager beroepsonderwijs (referentie)/mavo, middelbaar beroepsonderwijs, havo, vwo/hbo, wo
	Etniciteit	niet Nederlands (referentie)/Nederlands
	Stedelijkheid	weinig-niet stedelijk (referentie)/(sterk stedelijk/ zeer sterk stedelijk
	Eigendom huis	koop (referentie)/huur
	Bouwjaar huis	na 1980 (referentie)/1945-1980/voor 1945
	Type huis	vrijstaand, 2 onder 1 kap (referentie)/flat/rijtjeshuis
	Roken in huis	nee (referentie)/ja
	Blootstelling vliegverkeer	Letmaal per 10 db(A)
	Blootstelling aan wegverkeer	L24, Lnight of Lden

## Resultaten

*Tabel 2 Odds ratios voor slaapverstoring en reductie van de blootstelling bij blootstelling aan L24*

Effectvariabele	L24 in categorieën dB(A)				L24 per dB(A)
	<50 (n=1.645)	50-55 (n=2.287)	55-60 (n=1.936)	>60 (n=1.315)	Trend
<b>Slaap</b>	Ref	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)
Slaapmiddelen arts (n=7175)	1,0	1,0 (0,8-1,3)	0,7 (0,6-0,9)	0,9 (0,6-1,1)	0,99 (0,98-1,01)
Slaapmiddelen zelf (n=7175)	1,0	0,8 (0,6-1,2)	0,9 (0,6-1,2)	0,8 (0,5-1,1)	0,99 (0,97-1,01)
Frequent slaapmiddelen (n=7175)	1,0	1,3 (0,9-1,8)	0,6 (0,4-0,9)	0,5 (0,3-0,8)	0,97 (0,95-0,99)
Verminderde slaapkwaliteit (n=7175)	1,0	1,4 (1,0-1,9)	1,2 (0,9-1,6)	1,3 (1,0-1,9)	1,02 (1,00-1,03)
Ernstige verstoring bij slaap (n=7087)	1,0	2,4 (1,6-3,5)	1,4 (0,9-2,1)	2,6 (1,7-3,8)	1,03 (1,01-1,05)
Min 1xpw verstoring bij slaap (n=7021)	1,0	1,4 (1,1-1,7)	1,4 (1,1-1,6)	1,9 (1,5-2,3)	1,03 (1,02-1,04)
<b>Blootstellings-reductie</b>	<50 (n=2.403)	50-55 (n=3.530)	55-60 (n=2.986)	>60 (n=2.016)	Trend
Isolatie huis (n=10676)	1,0	1,5 (1,2-1,8)	1,8 (1,5-2,2)	3,1 (2,5-3,8)	1,07 (1,06-1,08)
Minder ventilatie huis (n=10318)	1,0	1,2 (0,9-1,5)	1,4 (1,1-1,7)	2,7 (2,2-3,4)	1,06 (1,05-1,08)
Nooit slapen met ramen open (n=10638)	1,0	1,5 (1,3-1,8)	1,3 (1,1-1,6)	2,3 (1,9-2,7)	1,03 (1,02-1,04)

*Tabel 3 Odds ratios voor slaapverstoring en reductie van de blootstelling bij blootstelling aan Lnight*

Effectvariabele	Lnight in categorieën dB(A)				Lnight per dB(A)
	<40 (n=1.683)	40-45 (n=2.302)	45-50 (n=2.056)	>50 (n=1.142)	Trend
<b>Slaap</b>	Ref	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)
Slaapmiddelen arts (n=7175)	1,0	1,2 (0,9-1,5)	0,7 (0,6-1,0)	0,9 (0,7-1,2)	0,99 (0,97-1,00)
Slaapmiddelen zelf (n=7175)	1,0	0,9 (0,7-1,3)	0,9 (0,7-1,2)	0,7 (0,5-1,0)	0,99 (0,97-1,01)
Frequent slaapmiddelen (n=7175)	1,0	1,4 (0,9-2,0)	0,5 (0,3-0,8)	0,6 (0,3-0,9)	0,96 (0,94-0,99)
Verminderde slaapkwaliteit (n=7175)	1,0	1,4 (1,0-1,9)	1,0 (0,8-1,5)	1,5 (1,0-2,0)	1,02 (1,00-1,04)
Ernstige verstoring bij slaap (n=7087)	1,0	2,1 (1,5-3,1)	1,2 (0,8-1,8)	2,1 (1,4-3,2)	1,03 (1,01-1,05)
Min 1xpw verstoring bij slaap (n=7021)	1,0	1,3 (1,1-1,6)	1,3 (1,1-1,6)	1,7 (1,4-2,1)	1,03 (1,02-1,04)
<b>Blootstellings-reductie</b>	<40 (n=2.440)	40-45 (n=3.583)	45-50 (n=3.164)	>50 (n=1.748)	Trend
Isolatie huis (n=10676)	1,0	1,6 (1,3-1,9)	1,8 (1,4-2,1)	3,1 (2,5-3,8)	1,07 (1,06-1,08)
Minder ventilatie huis (n=10318)	1,0	1,3 (1,1-1,7)	1,6 (1,2-1,9)	3,0 (2,4-3,7)	1,07 (1,06-1,08)
Nooit slapen met ramen open (n=10638)	1,0	1,5 (1,2-1,7)	1,2 (1,0-1,5)	2,2 (1,9-2,7)	1,04 (1,03-1,05)

Tabel 4 Odds ratios voor slaapverstoring en reductie blootstelling bij blootstelling aan Lden

Effectvariabele	Lden in categorieën dB(A)				Lden per dB(A)
	<50 (n=1.827)	50-55 (n=2.589)	55-60 (n=1.691)	>60 (n=1.076)	Trend
<b>Slaap</b>	Ref	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)	OR (95% CI)
Slaapmiddelen arts (n=7175)	1,0	0,9 (0,7-1,1)	0,8 (0,6-1,1)	0,8 (0,6-1,1)	0,99 (0,98-1,01)
Slaapmiddelen zelf (n=7175)	1,0	0,8 (0,6-1,1)	0,8 (0,6-1,2)	0,8 (0,6-1,1)	0,99 (0,97-1,01)
Frequent slaapmiddelen (n=7175)	1,0	1,3 (0,9-1,9)	0,7 (0,4-1,1)	0,6 (0,4-1,0)	0,97 (0,95-1,00)
Verminderde slaapkwaliteit (n=7175)	1,0	1,7 (1,3-2,3)	1,2 (0,9-1,7)	1,4 (1,0-2,0)	1,02 (1,00-1,04)
Ernstige verstoring bij slaap (n=7087)	1,0	1,9 (1,3-2,8)	1,4 (1,0-2,1)	2,5 (1,7-3,7)	1,04 (1,02-1,06)
Min 1xpw verstoring bij slaap (n=7021)	1,0	1,2 (1,0-1,5)	1,4 (1,1-1,6)	1,9 (1,6-2,4)	1,03 (1,02-1,04)
<b>Blootstellings-reductie</b>	<40 (n=2.667)	40-45 (n=4.023)	45-50 (n=2.585)	>50 (n=1.660)	Trend
Isolatie huis (n=10676)	1,0	1,4 (1,2-1,7)	1,8 (1,5-2,2)	3,3 (2,8-4,0)	1,07 (1,06-1,08)
Minder ventilatie huis (n=10318)	1,0	1,4 (1,1-1,7)	1,6 (1,3-2,0)	3,1 (2,5-3,9)	1,07 (1,06-1,08)
Nooit slapen met ramen open (n=10638)	1,0	1,4 (1,2-1,6)	1,2 (1,0-1,4)	2,1 (1,8-2,5)	1,03 (1,02-1,04)

Uit de analyses blijkt niet dat het slaapmiddelengebruik toeneemt naarmate de geluidsbelasting hoger is. Dit geldt zowel voor de voorgeschreven slaapmiddelen als zelfmedicatie van slaapmiddelen en de frequentie van het gebruik ervan, bij alle 3 de blootstellingsmaten. Verminderde slaapkwaliteit komt vaker voor naarmate de geluidsbelasting door wegverkeer toeneemt. Ditzelfde geldt, in sterkere mate, voor ernstige verstoring bij de slaap door wegverkeer. Naarmate de geluidsbelasting toeneemt, wordt het risico dat men minstens een maal per week verstoord wordt bij de slaap groter. Voor de blootstellings-reducerende variabelen zien we dat isolatie van huizen tegen geluid van wegverkeer vaker voorkomt naarmate de geluidsbelasting door wegverkeer hoger is. Ook is men geneigd tot minder ventileren van de woning, naarmate de blootstelling groter is. Huizen waarin gerookt wordt, worden vaker geventileerd. Verder is de kans dat men nooit met het raam open slaapt groter bij toenemende blootstelling aan wegverkeer.

## Conclusie en discussie

Deze analyse is uitgevoerd met het doel een indruk te geven van slaapverstoring door wegverkeer in de omgeving van Schiphol. De analyses geven geen aanwijzingen voor een effect van weggeluid op het gebruik van slaapmiddelen. Er zijn wel aanwijzingen dat slaapverstoring, slaapklachten en het gedrag van mensen beïnvloed worden door blootstelling aan weggeluid. Verminderde slaapkwaliteit en ernstige verstoring van de slaap door wegverkeer treden vaker op naarmate de geluidsbelasting door wegverkeer toeneemt. Ook wordt het risico dat men minstens een maal per week verstoord wordt bij de slaap groter.

Dit geldt niet voor het gebruik van slaapmiddelen. Huizen zijn vaker geïsoleerd tegen geluid van wegverkeer naarmate de geluidsbelasting door wegverkeer

hoger is. Ook is men dan geneigd tot minder ventileren van de woning en is de kans dat men nooit met het raam open slaapt groter.

De beperkingen van deze analyse hebben met name betrekking op het bepalen van de blootstelling aan wegverkeer. De gebruikte geluidmaat is een cumulatieve maat van wegverkeer op rijks-, provinciale-, binnen- en buitenstedelijke wegen. Er is een onzekerheidsmarge in bepaling geluidbelasting voor deze verschillende type wegen. Voor rijkswegen is deze onzekerheid tot een minimum beperkt. Gegevens voor provinciale en binnenstedelijk wegverkeer zijn mogelijk van mindere kwaliteit. Het model EMPARA berekent voor alle bewoners binnen een gebied van 100\*100 meter dezelfde blootstelling. Dit is voor het type blootstelling (wegverkeer) vrij grof. Hierdoor is de kans op misclassificatie van de (persoonlijke) blootstelling aanwezig. De voorkeur heeft een hogere resolutie, bijvoorbeeld 25\*25 meter. Tot slot is de blootstelling berekend voor het jaar 2000, de effecten zijn gemeten in 1996. Het is mogelijk dat de geluidsbelasting door wegverkeer kan in deze 4 jaar veranderd is.