



Briefrapport 630800001/2008

W.P. Jongeneel | B.A.M. Staatsen | E.E.M.M. van Kempen | P.H. Fischer

Gezondheidseffecten van wegverkeer: een quickscan

RIVM Briefrapport 63080001/2008

Gezondheidseffecten van wegverkeer: een quick scan

Jongeneel, W.P.
Staatsen, B.A.M.
Kempen, E.E.M.M. van
Fischer, P.H.

Contact:
Rob Jongeneel
Centrum voor Milieu-Gezondheid Onderzoek
rob.jongeneel@rivm.nl

Rapport met een beknopt overzicht van de beschikbare kennis over de belangrijkste gezondheidseffecten van wegverkeer.

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, in het kader van THE PEP (Transport, Health and Environment Pan-European Programme), projectnummer E/630800/02/VW.

© RIVM 2008

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Wegverkeer leidt, via luchtverontreiniging, geluid en verkeersveiligheid, tot gezondheidseffecten. In dit rapport wordt de meest recente informatie hierover samengevat. De nadruk ligt op RIVM-onderzoek, maar ook informatie van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) en de World Health Organisation (WHO) is meegenomen.

Wegverkeer kan leiden tot luchtwegklachten, verminderde longfunctie, hart- en vaatziekten, hinder en slaapverstoring, letsel bij verkeersongevallen en sterfte.

Maatregelen die worden genomen om de gezondheidseffecten van wegverkeer te verminderen, worden niet altijd geëvalueerd. Dit is jammer, omdat informatie over de bereikte gezondheidswinst gebruikt kan worden om de maatregelen effectiever in te zetten.

Dit rapport is geschreven in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Trefwoorden:

verkeer, gezondheidseffecten, luchtverontreiniging, geluid, verkeersongevallen

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Methoden en leeswijzer	7
2	Luchtverontreiniging	9
2.1	Wat is wegverkeergerelateerde luchtverontreiniging?	9
2.2	Hoe wordt de bijdrage van wegverkeer aan luchtverontreiniging gemeten?	9
2.3	Welke componenten in wegverkeergerelateerde luchtverontreiniging vormen een risico voor de gezondheid?	9
2.4	Hoeveel draagt wegverkeer bij aan de totale luchtverontreiniging in Nederland?	12
2.5	Wat zijn de gezondheidseffecten van het wonen bij een drukke weg?	13
2.6	Wat is de omvang van de verkeersgerelateerde gezondheidseffecten van luchtverontreiniging in Nederland?	13
2.7	Wat is de blootstelling van de verschillende verkeerdeelnemers?	14
2.8	Wat is de trend van uitstoot van luchtverontreiniging in tijd?	15
2.9	Wat is de trend in blootstellingsniveaus van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging in tijd?	16
3	Geluid	17
3.1	Hoeveel mensen zijn blootgesteld aan verkeersgeluid?	17
3.2	Wat is de trend in blootstellingsniveaus?	17
3.3	Wat zijn de gezondheidseffecten van wegverkeergerelateerde geluidsblootstelling?	17
3.3.1	Hinder	18
3.3.2	Slaapverstoring	18
3.3.3	Overige effecten	18
3.4	Wat is de omvang van de effecten van geluid door wegverkeer?	20
4	Verkeersongelukken	23
4.1	Hoeveel verkeersongelukken komen er voor?	23
4.2	Zijn er kwetsbare groepen of risicogroepen?	24
4.3	Wat is de trend in tijd?	25
5	Interventies	27
5.1	Is fietsen een gezond alternatief voor korte autoritten?	27
5.2	Wat is het effect van roetfilters?	27
5.3	Wat zijn de effecten van de Europese maatregelen om de uitstoot van vervuilende stoffen van wegverkeer te verminderen?	28
5.4	Wat is het effect van snelheidsvermindering op de uitstoot van weggerelateerde luchtverontreiniging en de gezondheid?	29
5.5	Wat is het effect van geluidsreducerende maatregelen, zoals stille banden?	30
5.6	Wat is er bekend over de effectiviteit van cordon en gebiedsheffingen in de stad?	31
6	Eindbeschouwing	33
	Afkortingen	34
	Referenties	35

1 Inleiding

Het ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft het Centrum voor Milieu-Gezondheid Onderzoek (MGO) van het RIVM gevraagd een quick scan uit te voeren naar de gezondheidseffecten van wegverkeer in Nederland. Doel van deze quick scan is het geven van een beknopt overzicht van de beschikbare kennis over de belangrijkste gezondheidseffecten van wegverkeer die worden veroorzaakt door luchtverontreiniging, geluid en verkeersveiligheid. De focus ligt hierbij op vragen die op het moment van schrijven bij het ministerie leefden. Om een meer totaal beeld van de gezondheidsproblematiek gerelateerd aan wegverkeer te krijgen is verkeersveiligheid ook in dit overzicht opgenomen. In deze quick scan ligt de nadruk op de Nederlandse situatie en op informatie beschikbaar uit recente RIVM projecten.

Wegverkeer draagt bij aan de uitstoot van, voor de volksgezondheid, schadelijke stoffen in de vorm van luchtverontreiniging. Naast de uitstoot van schadelijke stoffen produceert het wegverkeer ook geluid wat tot overlast in de omgeving kan zorgen. Ook heeft deelname aan het wegverkeer invloed op de fysieke gesteldheid van de bestuurder (gebrek aan beweging) en ander weggebruikers (verkeersveiligheid). Wegverkeer kan zodoende via verschillende routes leiden tot gezondheidseffecten. De sociale gevolgen van wegverkeer en indirecte gezondheidsaspecten via de uitstoot van CO₂ (klimaatsverandering) of minder fysieke activiteit blijven in deze quick scan buiten beschouwing.

1.1 Methoden en leeswijzer

In deze quick scan is nader gekeken naar de gezondheidseffecten van luchtverontreiniging, geluid en verkeersveiligheid als gevolg van wegverkeer. Per thema wordt achtereenvolgens de huidige stand van kennis over de bronnen, gezondheidseffecten en trends in tijd besproken. Als input is voornamelijk informatie uit recente Nederlandse overzichtsrapporten van RIVM en Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) gebruikt, aangevuld met informatie uit internationale reviews (WHO 2005) en de websites van het Milieu & Natuurcompendium (MNC) en de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV). Het overzicht is beknopt en niet uitputtend.

In de paragraaf interventies worden een aantal onderzoeken beschreven naar de effectiviteit van enkele verkeersmaatregelen. Dit is echter geen volledig overzicht van interventies die de gezondheidseffecten van wegverkeer kunnen beperken. De eindbeschouwing bevat aanbevelingen voor de evaluatie van interventies.

2 Luchtverontreiniging

2.1 Wat is wegverkeergerelateerde luchtverontreiniging?

Luchtverontreiniging door wegverkeer bestaat uit een complex mengsel van vervuulende stoffen. De verkeersgerelateerde luchtverontreiniging is het gevolg van drie verschillende processen: emissie uit de uitlaat (verbrandingsproducten); slijtage processen (o.a. bandenslijtage, remvoering, bewegende motoronderdelen) en opwaaiend wegstof (bestaat gedeeltelijk uit neergeslagen verbrandings- en slijtageproducten.)

De emissie als gevolg van deze processen bevatten honderden stoffen, waarvan maar gedeeltelijk bekend is of ze schadelijk zijn of niet. Wegverkeer draagt bij aan een reeks van schadelijke gassen en ‘deeltjesvormige luchtverontreiniging’ ook wel fijn stof genoemd (zie tekstbox). Belangrijke stoffen die door het wegverkeer uitgestoten worden zijn: (ultra)fijne stofdeeltjes, stikstofdioxide (waaronder NO₂), koolmonoxide en benzene.

Stof tot nadenken.... PM_{10-2.5-0.1}, zwarte rook en DEP's nader verklaard

Er zijn verschillende manieren om de ‘deeltjesvormige luchtverontreiniging’ aan te duiden. Afhankelijk van de doorsnee van de stofdeeltjes wordt gesproken van PM₁₀ (deeltjes <10µm), PM_{2.5} (deeltjes <2.5µm) of PM_{0.1} (deeltjes <0.1µm). Deeltjes kleiner dan 10µm kunnen na inademing doordringen in de diepere luchtwegen. De concentratie fijn stof wordt genormeerd op basis van de massa per m³. Daarnaast kan het worden gekarakteriseerd door meten van de aantallen per cm³ of het oppervlak van het stof. Fijn stof varieert in samenstelling afhankelijk van ruimte en tijd (b.v. binnen 24 uur, dagelijks of seizoen). Naast een onderscheid op grootte kan ook naar de chemische samenstelling of de herkomst gekeken worden.

Zwarte rook is gerelateerd aan de hoeveelheid elementair koolstof in het stof. Wegverkeer is een van de grootste bronnen van zwarte rook.

“Diesel Exhaust Particles”(DEP) zijn de stofdeeltjes die vrijkomen uit de uitlaat van een dieselmotor. DEP worden vooral gebruikt in experimentele studies.

2.2 Hoe wordt de bijdrage van wegverkeer aan luchtverontreiniging gemeten?

Een indicator die vaak gebruikt wordt om de bijdrage van het verkeer aan luchtverontreiniging te meten is NO₂. Deze indicator is sterk gerelateerd aan de verkeersintensiteit maar zegt minder over de mogelijke gezondheidsgevolgen. Uit verkennend onderzoek van het RIVM blijkt dat zwarte rook een adequate indicator is voor de verkeersgerelateerde bijdrage aan luchtverontreiniging. Zwarte rook metingen zijn daarmee bruikbaar voor onderzoek naar de effecten van beleidsmaatregelen. Om de effecten van specifieke lokale verkeersmaatregelen te evalueren wordt aanbevolen om de opzet van het zwarte rook netwerk aan te passen (Bloemen, Meulen van der et al. 2007).

2.3 Welke componenten in wegverkeergerelateerde luchtverontreiniging vormen een risico voor de gezondheid?

Gezondheidseffecten door luchtverontreiniging zijn een gevolg van blootstelling aan het totale mengsel van schadelijke gassen en fijn stof. Ozon en fijn stof zorgen voor de meeste gezondheidsschade, daar-

naast zijn stikstofoxiden (NO_x) en vluchtige organische stoffen (VOS), waaronder benzeen, ook belangrijk.

Fijn stof is een verzamelnaam voor een complex mengsel van allerlei grote en kleinere stofdeeltjes met verschillende chemische eigenschappen. Er is nog veel onduidelijkheid over welke deeltjesgrootte en welke chemische componenten van het fijn stof verantwoordelijk zijn voor de gevonden gezondheidseffecten. Vrij algemeen wordt PM_{2,5} als meest gezondheidsrelevant beschouwd, maar de relevantie van het grovere deel van fijn stof (PM_{2,5-10}) is bepaald niet te verwaarlozen. De laatste jaren is veel discussie ontstaan over de rol van ultrafijne stofdeeltjes (PM_{0,1}). De hypothese hierbij is dat deze deeltjes zo klein zijn dat ze via andere routes dan grotere deeltjes voor hart- vaatziekten kunnen zorgen. De aanwijzingen hiervoor komen vooral voort uit laboratorium onderzoek, waar PM_{0,1} toxischer is dan grotere deeltjes, maar is nog niet aangetoond in populatie studies. Ook al wordt nog onvoldoende begrepen welke chemische bestanddelen van (ultra) fijn stof gezondheidseffecten veroorzaken, aan zwarte rook wordt een belangrijke rol toegeschreven.

Na een kortdurende piekblootstelling kunnen acute effecten optreden zoals hoesten en benauwdheid en verergering van luchtwegklachten, ziekenhuisopnames en toename in de dagelijkse sterfte. Mensen met bestaande luchtwegaandoeningen of met hart- en vaatziekten behoren tot de gevoeligste groepen. De klachten verdwijnen meestal weer zodra de concentratie van fijn stof in de lucht daalt. Over de gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan fijn stof is minder bekend en de onzekerheid groter. Uit enkele internationale onderzoeken (cohortstudies¹) blijkt dat langdurige blootstelling kan leiden tot gezondheidsschade zoals verminderde longfunctie, verergering van luchtwegklachten en vroegtijdige sterfte aan luchtwegklachten en hart- en vaatziekten (RIVM 2007b).

Ozon is een reactieve stof die onder zonlicht wordt gevormd uit andere verbrandingsgassen (voornamelijk VOS en koolmonoxide). Het dringt bij inademing door tot in de kleinste luchtwegen en de longblaasjes en zorgt voor prikkeling van de slijmvliezen. De meest typische klachten van acute blootstelling aan ozon zijn een prikkelende ademhaling (hoesten) en irritatie van de ogen. Ook kan men last krijgen van verergering van luchtwegklachten, duizeligheid, misselijkheid of hoofdpijn. De klachten nemen toe als de hoeveelheid ozon en de duur van de blootstelling toenemen. Op dit moment is nog onduidelijk of ozon de longen en de slijmvliezen blijvend kan beschadigen (RIVM 2007a).

Omdat stikstofdioxide voor een belangrijk gedeelte door het wegverkeer wordt geproduceerd, is het een belangrijke indicator voor de luchtverontreiniging door verkeer. Verhoogde concentraties worden dan ook voornamelijk gevonden in en rond grote steden. De laatste jaren zijn er meer aanwijzingen gevonden dat blootstelling aan de concentraties stikstofdioxide, zoals gevonden nabij steden, negatieve gezondheidseffecten kunnen veroorzaken. Het gaat voornamelijk om acute luchtwegklachten bij gevoelige groepen, zoals kinderen en astmatici, bij kortdurende piekblootstellingen (EPA 2008).

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de verschillende stoffen en hun effect op de gezondheid en de wetenschappelijke bewijslast van deze relaties. Deze effecten zijn gevonden met behulp van bevolkingsonderzoek en toxicologisch onderzoek.

¹ Bij cohortstudies wordt de blootstelling en gezondheidstoestand van een groep mensen voor lange tijd gevolgd. In het algemeen levert dit type onderzoek de sterkste aanwijzingen voor gezondheidsrisico's.

Tabel 1: Overzicht van de bewijslast van studies naar de gezondheidseffecten van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging (aangepast van WHO 2005).

Gezondheidseffect	Populatie studies		Laboratorium studies		Opmerkingen
	Stof	Bewijs*	Stof	Bewijs*	
Sterfte	Zwarte rook Ozon PM _{2,5}	Redelijk Redelijk Redelijk			Geen laboratorium studies
Luchtweg aandoeningen (niet-allergisch)	Zwarte rook Ozon Stikstofdioxide VOS	Redelijk Redelijk Redelijk Redelijk	Diesel Stikstofdioxide Ozon Fijn stof	Voldoende Voldoende Voldoende Voldoende	Sterk experimenteel bewijs voor ontstekingsreacties bij relatief hoge concentraties.
Luchtweg aandoeningen (allergisch)	Ozon Stikstofdioxide VOS	Redelijk Redelijk Redelijk	Stof deeltjes Diesel Stikstofdioxide Fijn stof	Redelijk Voldoende Redelijk Redelijk	Sterk experimenteel bewijs voor versterking van allergieën door diesel uitlaatdeeltjes
Hart- en vaatziekten	Zwarte rook	Redelijk	Fijn stof	Redelijk	
Kanker	Diesel uitlaatgassen Stikstofdioxide	Redelijk Redelijk	Diesel uitlaatgassen VOS	Redelijk Onvoldoende	
Voortplantings-effect	Stikstofdioxide Koolmonoxide Zwaveloxide TSP**	Onvoldoende Onvoldoende Onvoldoende Onvoldoende	Diesel uitlaatgassen	Redelijk	

* De sterke van het wetenschappelijke bewijs is opgedeeld in drie categorieën: voldoende, redelijk en onvoldoende. Dit is vrij vertaald van de WHO definities "strong", "some" en "equivocal".

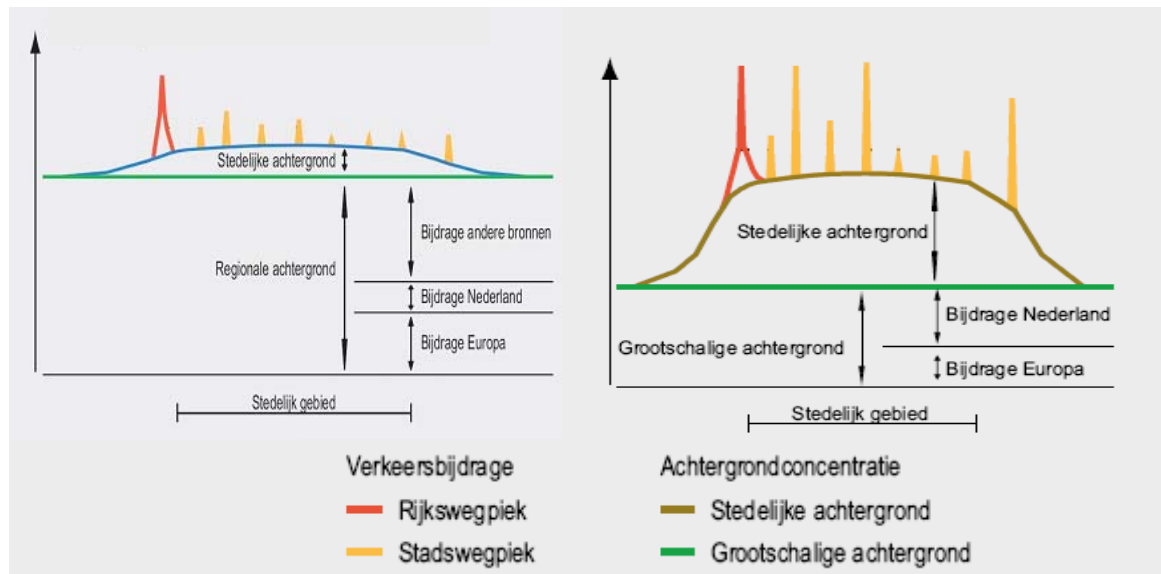
** Total Suspended Particles; vrij vertaald: totaal zwevende deeltjes.

Er is op dit moment voldoende wetenschappelijk bewijs voor een verband tussen verkeersgerelateerde luchtverontreiniging en negatieve gezondheidseffecten. Er zijn indicaties dat vooral dieselemissies en zwarte rook geassocieerd zijn met de negatieve gezondheidseffecten. Door het beperkte aantal studies en de onzekerheden in causaliteit is het echter nog niet mogelijk om met zekerheid te zeggen welke componenten in luchtverontreiniging voor de waargenomen gezondheidseffecten zorgen.

Uit laboratorium studies komen aanwijzingen dat verkeersgerelateerde luchtverontreiniging het risico op de ontwikkeling van een allergie kan vergroten; dit is echter nog niet aangetoond in grote populatie studies. Sommige studies rapporteren een verhoogde kans op longkanker en nadelige gevolgen in zwangerschap, zoals een laag geboortegewicht en vroeggeboorte, bij mensen met een langdurige blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtverontreiniging. Echter, de beschikbare bewijzen hiervoor zijn inconsistent (WHO 2005).

2.4 Hoeveel draagt wegverkeer bij aan de totale luchtverontreiniging in Nederland?

Nabij drukke verkeerswegen zorgt het wegverkeer voor verhoogde concentraties van luchtverontreinigende stoffen waaronder NO_2 , NO , CO en stofdeeltjes. Het aandeel van het wegverkeer binnen Nederland voor de totale achtergrond concentratie van PM_{10} en $\text{PM}_{2.5}$ in Nederland is ongeveer 5%.



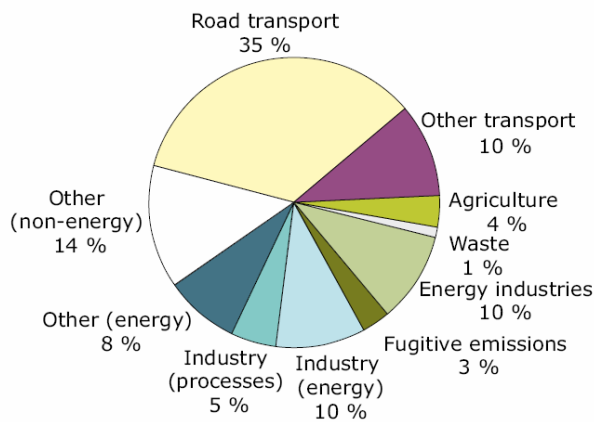
Figuur 1: Een voorbeeld van de concentratieopbouw van PM_{10} (links) en NO_2 (rechts) in een stedelijk gebied. (aangepast van MNP en RIVM 2005; MNP 2007).

In stedelijke gebieden is de concentratie van NO_2 en fijn stof (PM_{10} en $\text{PM}_{2.5}$) hoger dan de landelijke achtergrondconcentratie (zie figuur 1). Deze extra bijdrage in stedelijke gebieden wordt vooral door het wegverkeer veroorzaakt. Afhankelijk van de totale verkeersdrukke kan dit oplopen tot 30-60 % van de totale stofdeeltjes concentratie (MNP en RIVM 2005; Matthijsen en Brink ten 2007).

Ozon wordt niet direct door het wegverkeer uitgestoten maar onder zonlicht gevormd uit andere uitlaatgassen. Op leefniveau wordt ozon gevormd uit vluchtige organische stoffen (VOS) en koolmonoxide (CO). Verder zijn stikstofoxiden (NO_x) nodig als katalysator. De ozonvormende stoffen komen tegenwoordig vooral in de atmosfeer door activiteiten van de mens.

In bevolkte gebieden leidt de uitstoot van vluchtige organische stoffen, koolmonoxide en stikstofoxiden door verkeer, industrie en consumenten tot extra ozonvorming (MNC 2007b). De exacte bijdrage van wegverkeer in Nederland is niet bekend. Echter, in West-Europa² is wegtransport verantwoordelijk voor meer dan een derde van de totale antropogene uitstoot van ozon vormende stoffen (zie figuur 2).

² De EU-15 landen: België, Frankrijk, Italië, Zweden Luxemburg, Duitsland, Spanje, Denemarken, Ierland, Finland, Verenigd Koninkrijk, Portugal, Griekenland, Finland en Oostenrijk.



Figuur 2: De bijdrage van de verschillende sectoren aan de uistoot van ozon vormende stoffen in 2004 in de EU-15 landen (EEA 2007).

2.5 Wat zijn de gezondheidseffecten van het wonen bij een drukke weg?

Nabij drukke verkeerswegen zorgt het wegverkeer voor verhoogde concentraties van luchtverontreinigende stoffen. Het is op dit moment nog niet bekend welke componenten in dit mengsel exact verantwoordelijk zijn voor de gezondheidseffecten bij drukke verkeerswegen. Recent is een beknopt overzicht gemaakt van epidemiologische studies over de relatie tussen gezondheidseffecten en het wonen bij een drukke verkeersweg (Fischer, Wesseling et al. 2007). Zowel in Nederland als in het buitenland is een aantal studies uitgevoerd naar de relatie tussen het wonen (of op school zitten) in de buurt van drukke verkeerswegen en de gezondheid van de bewoners of van schoolkinderen. Wonen langs drukke verkeerswegen (of het zitten op scholen nabij snelwegen) is ongezonder dan wanneer er een grotere afstand is tussen woon- en schoollocatie en drukke verkeerswegen. De ongezondere situatie kan zich uiten door luchtwegklachten (o.a. hoesten en piepen op de borst), een verminderde longfunctie, verergering van hart- en vaatziekten en levensduurverkorting. Er kan geen veilige afstand afgeleid worden vanaf drukke verkeerswegen tot waar de schadelijke gezondheidseffecten ophouden.

2.6 Wat is de omvang van de verkeersgerelateerde gezondheidseffecten van luchtverontreiniging in Nederland?

Hoeveel mensen er negatieve gezondheidseffecten ondervinden door luchtverontreiniging van wegverkeer is niet exact bekend. Er zijn wel gegevens over de omvang van de gezondheidseffecten van de totale luchtverontreiniging in Nederland. De bijdrage van wegverkeer aan enkele indicatoren van luchtverontreiniging (PM_{10} , $PM_{2.5}$ en ozon) staat hierboven beschreven.

Gezondheidseffecten waargenomen in populatiestudies in relatie tot luchtverontreiniging zijn o.a. luchtwegklachten, hart- en vaatziekten en voortijdig overlijden. In veel gevallen zijn de gezondheidseffecten die zijn gevonden in deze studies niet enkel gerelateerd aan de gemeten indicator van luchtverontreiniging (zoals NO_2 , PM_{10} , $PM_{2.5}$) maar zijn ze een gevolg van blootstelling aan het gehele mengsel van schadelijke gassen en fijn stof. Doorgaans zijn de indicatoren ook hoog gerelateerd waardoor het

lastig is om de effecten aan één component (bijvoorbeeld fijn stof) toe te schrijven. Ozon vormt hierop een uitzondering.

De effecten van luchtverontreiniging kunnen worden onderverdeeld in gezondheidseffecten door dagelijkse schommelingen in blootstelling en een langdurige of levenslange blootstelling aan de achtergrondconcentratie.

Veel internationaal en nationaal onderzoek wijst op een verband tussen kortdurende hoge concentratie aan fijn stof en ozon en verhoogde sterfte bij mensen die gevoelig zijn voor luchtverontreiniging (mensen die al ziek zijn, oudere mensen). Naar schatting sterven in Nederland ca. 3500 mensen voortijdig door kortdurende (acute) blootstelling aan luchtverontreiniging (zie tabel 2). De duur van deze levensverkorting is vermoedelijk kort: enkele dagen tot maanden. De geschatte risico's geassocieerd met fijn stof zijn groter dan die van ozon. Niet alleen in Nederland maar ook in internationaal onderzoek zijn dergelijke relaties aangetoond (MNP en RIVM 2005; MNC 2007d)

Als resultaten van bepaalde Amerikaanse studies naar de effecten van langdurige blootstelling toepasbaar zijn op de Nederlandse situatie, dan volgt hieruit dat Nederlanders mogelijk een verminderde levensduur hebben van ongeveer 1 jaar door langdurige blootstelling aan fijn stof, onder de aanname dat de fijn stof niveaus tot $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terug gebracht kunnen worden. Mogelijk zijn negatieve gezondheidseffecten zoals verminderde longfunctie omkeerbaar als men naar een schoner gebied verhuist (MNP en RIVM 2005; RIVM 2007b). Het vertalen van dit Amerikaanse onderzoek naar de Nederlandse situatie kent mogelijk beperkingen. De bevindingen in het Amerikaanse onderzoek komen echter overeen met andere internationale studies.

Tabel 2: *Vroegtijdige sterfte en spoedopnamen in Nederland geassocieerd met luchtverontreiniging door fijn stof en ozon in 2006. (MNC 2007d). De bijdrage van wegverkeer aan de achtergrondconcentratie PM_{10} in Nederland is ongeveer 5%. Voor ozon is de bijdrage niet exact bekend; echter in West-Europa is wegverkeer verantwoordelijk voor 35% van de uitstoot van ozon vormende stoffen.*

	Totaal	Waarvan	
	Nederland	Fijn stof (PM_{10})	Ozon
Vroegtijdige sterfte	Aantal mensen		
Alle oorzaken	130 000	2 080 (1 607 - 2 540)	1 480 (980 - 1 970)
Luchtweg aandoeningen	14 000	680 (550 - 810)	190 (0 - 380)
COPD ¹	6 000	290 (210 - 370)	130 (20 - 230)
Longontsteking	6 000	300 (210 - 380)	140 (20 - 250)
Hart- en vaataandoeningen	42 000	470 (230 - 680)	420 (150 - 680)
Spoedopnamen			
Alle luchtweg aandoeningen	74 000	980 (610 - 1380)	0
Hart- en vaataandoeningen	106 000	1280 (880 - 1640)	220 (0 - 980)

¹ *Chronic Obstructive Pulmonary Disease.*

2.7 Wat is de blootstelling van de verschillende verkeerdeelnemers?

Blootstelling aan luchtverontreiniging is niet beperkt tot omwonenden van drukke verkeerswegen. Verkeersdeelnemers zelf zijn ook blootgesteld aan de schadelijke emissies waaronder uitlaatgassen, stof van remmen, banden en wegdek. In verschillende studies is gekeken naar het verschil in blootstelling

Luchtvervuiling door brommers: “Brommers zijn ultrafijn stofkanonnen”

Recent verscheen een publicatie in de Vogelvrije Fietser, het magazine van de fietsersbond, met als titel: Brommers zijn ultrafijn stofkanonnen. Dit artikel heeft veel publiciteit gekregen en er zijn zelfs Kamervragen over gesteld. In het artikel wordt vooruitgelopen op de resultaten van een onderzoeksrapport van Boogaard en Hoek.

De gemiddelde concentratie van (ultra)fijn stof in de auto is meestal hoger dan op de fiets. Een fietser is echter blootgesteld aan kortstondige hoge pieken. Metingen suggereren een aantal situaties waar deze hoge blootstellingen van fietsers plaatsvinden, onder meer bij het passeren van bromfietzers (Boogaard en Hoek 2008).

tussen automobilisten, buspassagiers, fietsers en wandelaars. In de meeste onderzoeken wordt een hogere blootstelling gevonden bij inzittenden van auto's en bussen in vergelijking met fietsers en wandelaars. In Nederland is recent een onderzoek afgerond naar de blootstelling aan (ultra)fijn stof van automobilisten en fietsers in 11 steden. Ook hier worden hogere waarden gevonden voor automobilisten dan voor fietsers (Boogaard en Hoek 2008) (zie tekstbox).

Omdat fietsers en wandelaars echter een fysieke inspanning leveren is de ingeademde hoeveelheid lucht hoger dan van automobilisten. Hierdoor kunnen fietsers en wandelaars toch meer vervuilende stoffen binnen krijgen dan automobilisten. Toch zijn de positieve effecten van fietsen of wandelen op de gezondheid belangrijker dan de nadelige gevolgen door mogelijke blootstelling aan luchtverontreiniging. (zie ook het hoofdstuk *Interventies: Is fietsen een gezond alternatief?*)

2.8 Wat is de trend van uitstoot van luchtverontreiniging in tijd?

Sinds 1990 is de uitstoot van luchtverontreiniging door wegverkeer met 50 tot 70 % afgenomen, met uitzondering van kooldioxide. Het aantal voertuigkilometers is echter met bijna 40 procent gestegen (CBS 2007). De dalingen zijn het gevolg van steeds strengere Europese milieueisen. Naar verwachting zal zowel het personen- als goederenvervoer de komende jaren verder blijven groeien.

Ondanks de stijging van de automobiliteit zal de verwachte uitstoot van *fijn stof*³ door het wegverkeer komende jaren nog verder afnemen met 25-40% (MNP en RIVM 2005; MNP 2007). Dit is het gevolg van o.a de reeds gerealiseerde Euro I-IV normen en nog geplande invoering van strengere Europese emissie normen voor wegverkeer (de zogenaamde Euro-5 en Euro-6).

De uitstoot van *ozonvormende stoffen* is sinds de jaren negentig met gemiddeld 44% afgenomen. Nederland behoort tot één van de koplopers op het gebied van afname in uitstoot van ozonvormende stoffen. Dit is echter nog niet voldoende, de uitstoot van *stikstofoxiden* en *vluchtige organische stoffen* voor 2010 is Europees vastgelegd in nationale emissieplafonds. Wanneer deze in 2010 niet gehaald worden kan de EU sancties opleggen.

De gemiddelde emissie per voertuigkilometer van *stikstofoxiden* (NO_x) door personenauto's is sinds 1990 met bijna 75% gedaald. De lagere emissie van stikstofoxiden kan met name op het conto geschreven worden van de driewegkatalysator, die sinds eind jaren tachtig als gevolg van emissienormstelling zijn intrede deed bij personenauto's en bestelauto's. De gemiddelde emissie per kilometer door zware bedrijfsvoertuigen is eveneens gedaald met ruim 40% (MNC 2008a). Ondanks de lagere emissie door

³ Hier gedefinieerd als de fractie fijn stof die gevormd wordt door verbrandingsprocessen en vrijkomt uit de uitlaat

wegverkeer blijft de uitstoot van stikstofoxiden een knelpunt voor het halen van het nationale emissieplafond. Wegverkeer is verantwoordelijk voor ongeveer 38% van de totale emissie van stikstofoxiden in Nederland. Extra maatregelen om toch het emissieplafond te halen zijn in 2006 en 2007 genomen (voor meer informatie zie: Kamerbrief 2007 (VROM 2007b); NEC-rapportage 2006 (VROM 2006) en Haalbaarheid nationale emissieplafonds in 2010 (MNP 2006)).

Het is mogelijk dat de emissie van stikstofdioxide (NO₂) door wegverkeer weer licht gaat oplopen door de introductie van fijn stof filters, gecombineerd met oxidatiekatalysatoren. Bij deze combinatie lijkt de fractie stikstofdioxide in de uitlaatgassen te stijgen. Het gaat hier om de relatieve verhouding tussen NO₂ en NO, de absolute uitstoot zou toch nog kunnen dalen door de steeds schoner wordende auto's (Cassee 2008).

2.9 Wat is de trend in blootstellingsniveaus van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging in tijd?

De trend in blootstellingsniveaus voor het verkeersgerelateerde deel van luchtverontreiniging is niet bekend. De emissie van luchtverontreinigende stoffen per gereden kilometer is sterk gedaald (zie bovenstaand) maar het aantal gereden kilometers is toegenomen. Wel is er informatie over de landelijke *totale* concentratie van enkele luchtverontreinigende stoffen.

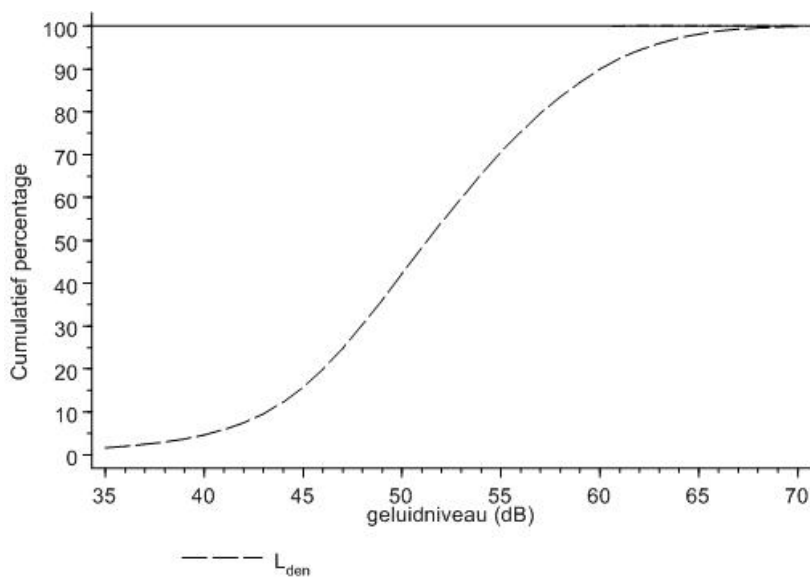
Voor zowel *fijn stof* als *stikstofdioxide* geldt dat de landelijke concentraties op langere termijn (15 jaar) duidelijk gedaald zijn met 2 a 3% per jaar. Echter, in straten en langs drukke wegen zorgt wegverkeer voor een sterke verhoging van de landelijke concentraties (zie ook 2.5 *Hoeveel draagt wegverkeer bij aan de totale luchtverontreiniging in Nederland?*). De waargenomen daling van stikstofdioxide blijft echter de laatste jaren (vanaf 2000) op de straatstations achter bij de landelijke trend en is niet langer significant. Een mogelijke oorzaak kan de introductie van nieuwe fijn stof filters zijn (zie bovenstaand). Ook voor fijn stof geldt dat er de laatste jaren (vanaf 2000) er op regionale- en straatstations geen significante trend zichtbaar is (Beijk, Mooibroek *et al.* 2007).

In de eerste helft van de jaren negentig zijn de *ozonconcentraties* sterk afgenomen. De laatste jaren echter laten geen verdere daling zien. De meest waarschijnlijke oorzaak hiervoor is de aanzienlijke reductie van de uitstoot van ozonvormende stoffen in Europa. De laatste jaren zien we echter in Nederland, maar ook elders in Europa, geen verdere daling van de ozonconcentraties meer, terwijl er toch nog steeds een verdere reductie in uitstoot plaatsvindt. Het meest waarschijnlijk is dat emissies buiten Europa, op de schaal van het noordelijk halfrond, de positieve effecten van Europese emissiereducties grotendeels teniet hebben gedaan. Veranderingen in de weersomstandigheden en ook de specifieke chemie tussen ozon en stikstofoxiden spelen hierbij mogelijk ook een rol. Ondanks emissie beperkende maatregelen is de verwachting dat in de periode tot 2010 bij extreem warm en zonnig weer matige of ernstige smog kan voorkomen (MNC 2007c).

3 Geluid

3.1 Hoeveel mensen zijn blootgesteld aan verkeersgeluid?

Wegverkeer is een belangrijke bron van geluid in de woonomgeving. In figuur 3 wordt het cumulatieve percentage van de bevolking dat is blootgesteld aan verschillende geluidsniveaus van wegverkeer weergegeven.



Figuur 3: De verdeling van de blootstelling van geluid (L_{den}) afkomstig van alle wegen in de Nederlandse bevolking in 2004 (op basis van model berekeningen met EMPARA; data afkomstig van het MNP) (Houthuijs en Kempen van 2008).

3.2 Wat is de trend in blootstellingsniveaus?

Over het algemeen zijn de geluidsniveaus door wegverkeer het afgelopen decennia niet toegenomen. Bij veel woningen langs rijksverkeerswegen is de hoogte van de geluidbelasting afgenomen. Voor een deel is dit het gevolg van gericht beleid zoals de plaatsing van geluidsschermen langs (spoor)wegen. Bovendien zijn vrachtwagens nu stiller dan twintig jaar geleden. Dit is te danken aan het gebruik van nieuwe technologieën, hiertoe kan ook het geluidsreducerende effect van stil asfalt (ZOAB) worden gerekend (MNC 2008b).

3.3 Wat zijn de gezondheidseffecten van wegverkeergeluidgerelateerde geluidsblootstelling?

Langdurige blootstelling aan geluid kan tot uiteenlopende gezondheidseffecten leiden. Hierbij wordt meestal een onderscheid gemaakt tussen welzijnseffecten, zoals hinder en slaapverstoring, enerzijds en

meer klinische gezondheidseffecten, zoals gehoorschade en hartvaatziekten, anderzijds. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) en de Gezondheidsraad concluderen dat er voldoende bewijs is voor een verband tussen blootstelling aan geluid en effecten zoals hinder, slaapverstoring en verandering van de slaapkwaliteit (Berglund, Lindvall *et al.* 1999; Gezondheidsraad 2004).

3.3.1 Hinder

Hinder is een gevoel van afkeer, boosheid, onbehagen, onvoldaanheid of gekwetstheid dat optreedt wanneer geluid iemands gedachten, gevoelens of activiteiten beïnvloedt (Gezondheidsraad 1999). Hinder wordt meestal gemeten met behulp van een gestandaardiseerde vraag als onderdeel van een vragenlijst of interview. Naast de blootstelling aan geluid spelen individuele eigenschappen zoals geluidgevoeligheid en angst een belangrijke rol bij de mate waarin iemand zich gehinderd voelt. Ook contextuele aspecten zoals de houding ten opzichte van de geluidbron en de verwachtingen die mensen hebben ten aanzien van de huidige of toekomstige geluidssituatie zijn belangrijk. Hinder kan al optreden vanaf geluidsniveaus van 40 dB(A) L_{den} of meer. Ernstige hinder door het geluid van wegverkeer neemt sinds 1993 toe (zie figuur 5).

Bromfietsen, motoren en vrachtwagens zorgen voor de meeste ernstige hinder (zie figuur 4), de trend voor auto's en vrachtauto's is dalend, die voor bromfietsen stijgt. In 2009 komen nieuwe cijfers uit de Nationale hinderinventarisatie beschikbaar.

3.3.2 Slaapverstoring

Geluid kan de slaap op verschillende manieren beïnvloeden. Blootstelling voorafgaand en tijdens de slaap kan leiden tot verlenging van de inslaaptijd, verandering in slaappatronen, tussentijds wakker worden en vervroegd ontwaken. Maar ook de volgende dag, na een verstoorde slaap kunnen effecten optreden. Dit zijn bijvoorbeeld een slecht humeur, vermoeidheid en een verminderd prestatievermogen. Slaapverstoring is een specifieke vorm van hinder en wordt, net als hinder, vaak gemeten met behulp van een directe vraag in een vragenlijst. Ernstige slaapverstoring door geluid van wegverkeer neemt sinds 1998 toe. Vooral bromfietsen zijn een bron van slaapverstoring (zie figuur 5).

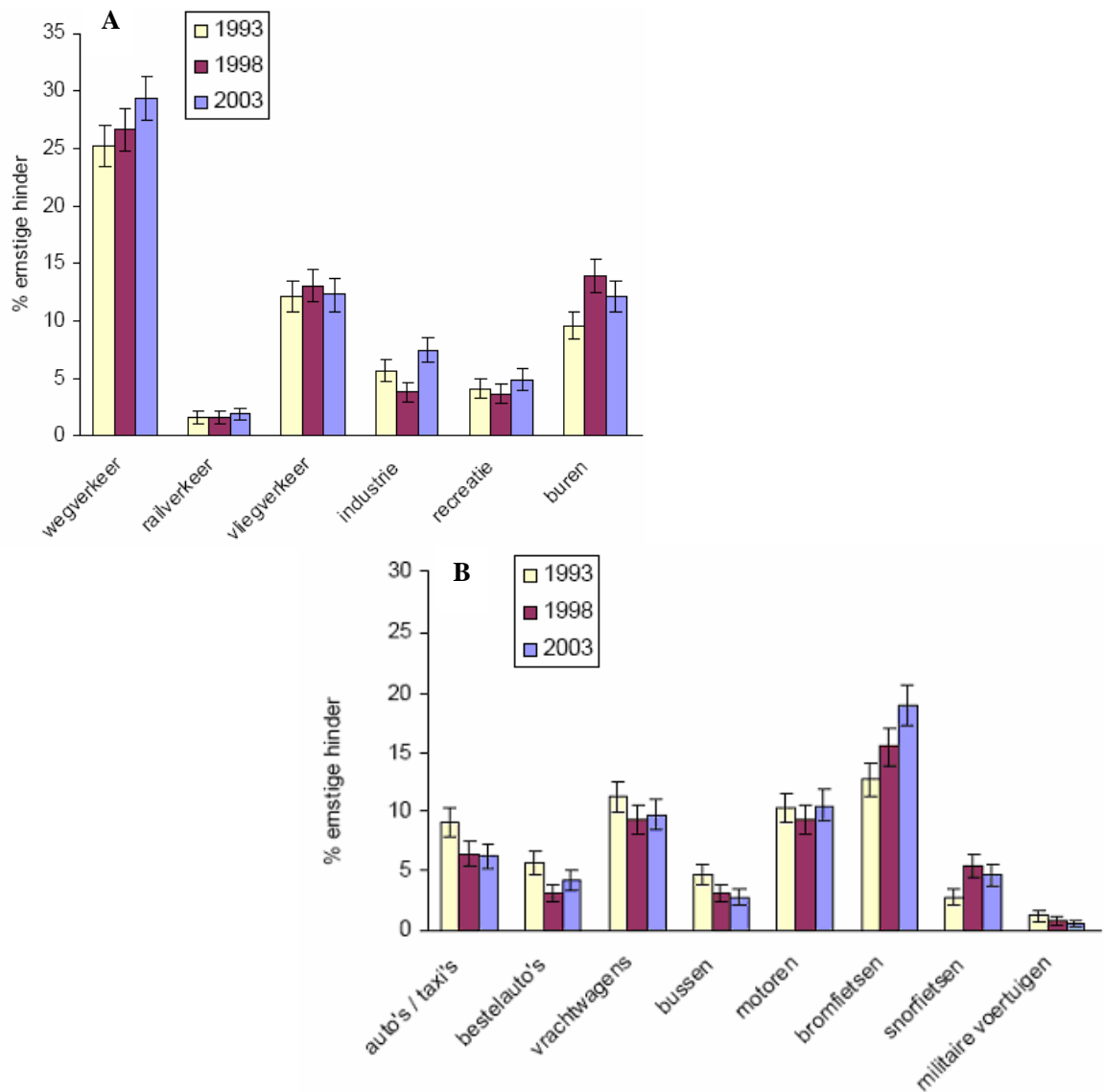
3.3.3 Overige effecten

De WHO concludeert dat cardiovasculaire effecten (hartvaatziekten) samenhangen met lange termijn blootstelling aan geluidsniveaus in de range van 65-70 dB (L_{Aeq-24}). De gevonden associaties tussen geluid en cardiovasculaire effecten werden als zwak gekenschetst; de effecten waren iets sterker voor ischemische hartziekten dan voor hoge bloeddruk. De Gezondheidsraad stelde dat er voldoende bewijs is voor een relatie tussen geluid overdag en hoge bloeddruk. Ook bestaat er enig, zij het niet consistent, bewijs voor cognitieve effecten zoals verminderde leesvaardigheid bij kinderen.

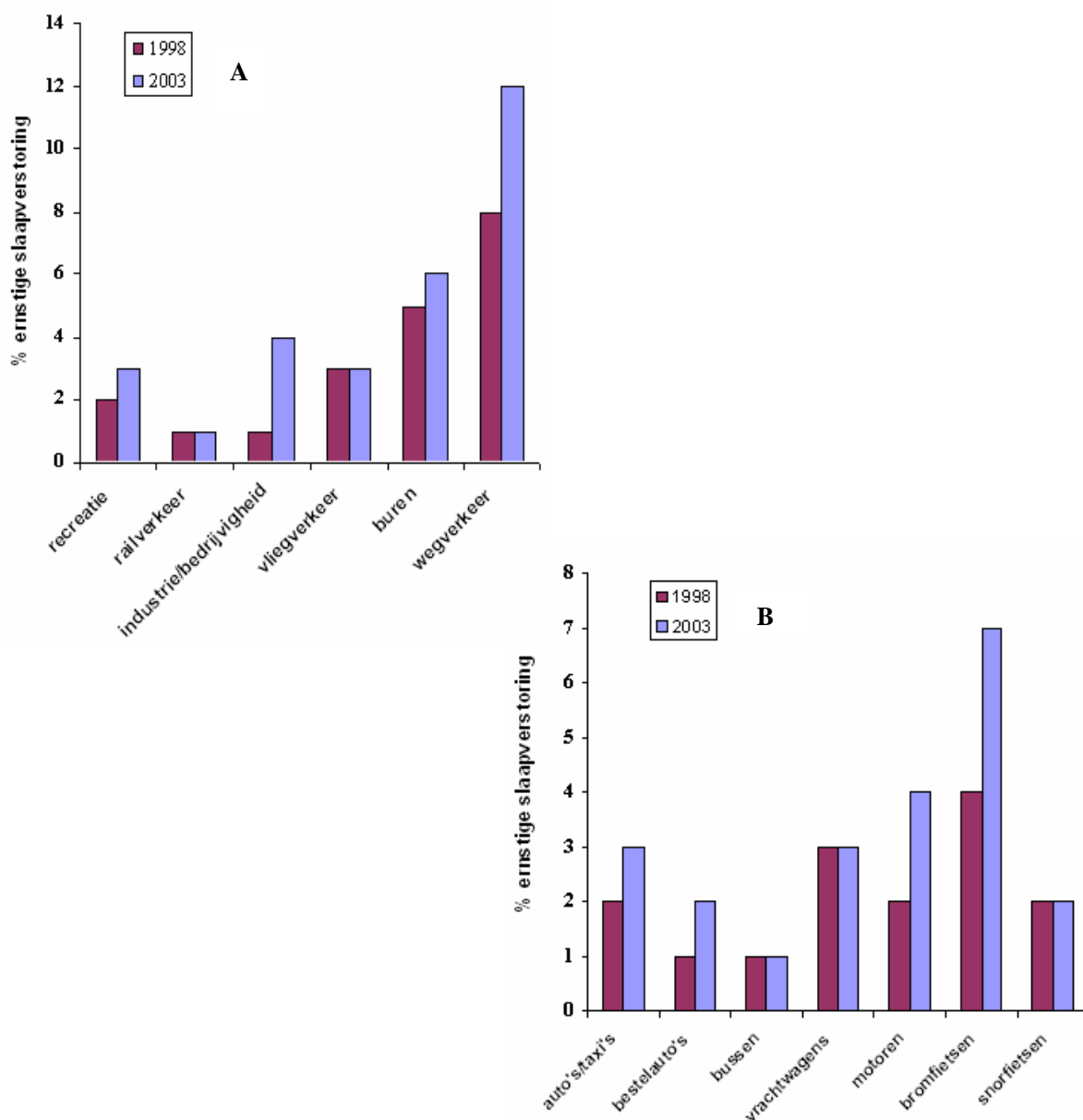
Geluidsniveaus uitgedrukt in L_{Aeq} , L_{etmaal} of L_{den}

Er zijn verschillende maten waarin blootstelling aan geluid kan worden weergegeven. Wanneer over één periode variërende geluidsniveaus gemiddeld worden tot één waarde spreekt men van het equivalente (A-gewogen) geluidsniveau (L_{Aeq}). Zowel de hoogte als het verloop van het geluidsniveau speelt hierbij een rol. De niveaus tijdens de avond- en nachtperiode tellen even zwaar als tijdens de dag.

Een andere maat is de L_{etmaal} ; hierbij wordt een straffactor toegepast bij geluidsniveaus in de avond of de nacht. Bij L_{etmaal} wordt het geluidsniveau gemeten tijdens de dag, avond en nacht waarbij er resp. 5 en 10 dB bij de avond en nacht wordt bijgeteld. Het hoogste geluidsniveau van de drie perioden is de L_{etmaal} . Bij de L_{den} wordt dezelfde straffactor gebruikt als bij de L_{etmaal} alleen worden alle geluidsniveaus over 24 uur gemiddeld tot één waarde.



Figuur 4: De trend in ernstige hinder door brongroepen (A) en verder onderverdeeld per type voertuig (B) bij wegverkeer. Er kan overlap tussen de verschillende type voertuigen zitten (aangepast van Franssen, Dongen van et al. 2004).



Figuur 5: De trend in ernstige slaapverstoring door brongroepen (A) en verder onderverdeeld per type voertuig (B) bij wegverkeer. Er kan overlap tussen de verschillende type voertuigen zitten (aangepast van Franssen, Dongen van et al. 2004).

3.4 Wat is de omvang van de effecten van geluid door wegverkeer?

Recent zijn opnieuw de gevolgen van geluidsoverlast door wegverkeer doorgerekend. In tabel 3 wordt het aantal personen aangegeven dat door de blootstelling aan geluid afkomstig van verkeer op alle Nederlandse wegen een gezondheids- of welzijnseffect ondervindt. Deze aantallen zijn geschat door geluidgegevens te combineren met bevolkingscijfers en blootstellingrespons relaties.

Tabel 3: De omvang van de effecten op gezondheid en welbevinden in de Nederlandse bevolking door geluid afkomstig van wegverkeer op alle wegen (Houthuijs en Kempen van 2008).

Omschrijving effect	Aantal personen		Indicator	Toegepast vanaf
		95% btbi		
Acuut myocard infarct per jaar ¹⁾	84	21-150	$L_{Aeq,16u}$ ⁶⁾	60 dB
Ernstige hinder ^{2,3)}	640.000	480.000-830.000	L_{den}	42 dB
Ernstige slaapverstoring ^{3,5)}	290.000	180.000-450.000	L_{night} ⁶⁾	40 dB

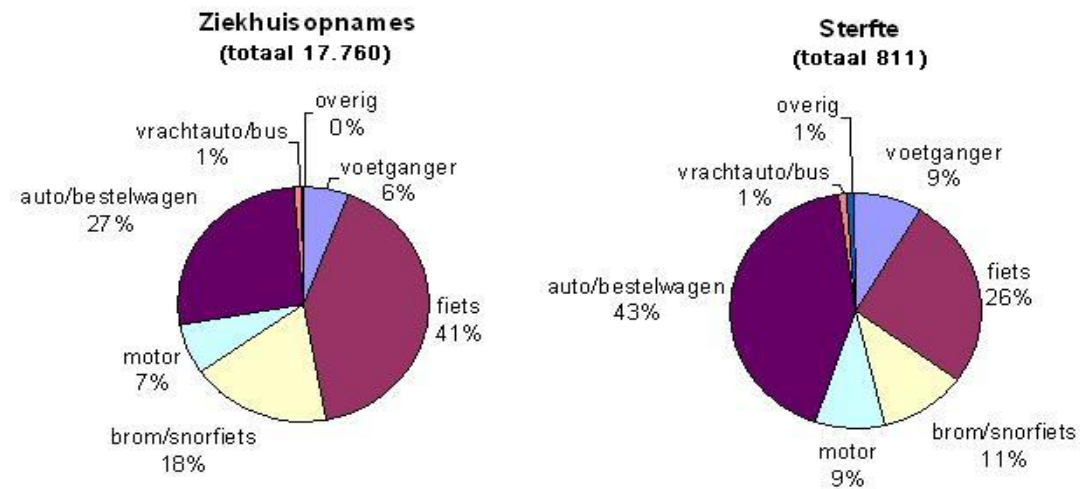
- 1 Op basis van resultaat van meta-analyse voor mannen (RR per 5 dB(A) 1,06 [95%BI: 1,01-1,11]). In 2003 bedroeg in Nederland de incidentie van acute hartinfarcten onder mannen en vrouwen 28.200 (Feskens, Merry *et al.* 2006);
- 2 Relatie voor wegverkeer afkomstig uit (Miedema en Oudshoorn 2001);
- 3 Onder volwassenen;
- 4 Relatie voor weg- en railverkeer afkomstig uit (Passchier-Vermeer, Vos *et al.* 2007);
- 5 Relatie voor wegverkeer afkomstig uit (Miedema, Passchier-Vermeer *et al.* 2002);
- 6 Bij omrekening van L_{den} naar $L_{Aeq,16u}$ en L_{night} is binnenstedelijke situatie aangenomen; afkortingen: 95% btbi = 95% betrouwbaarheidsinterval.

Het berekende aantal personen dat een acuut myocard infarct krijgt door geluid van wegverkeer is 84 per jaar met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 21 tot 150 per jaar. Dit is ca. 0,30% van het aantal acute myocard infarcten dat jaarlijks in Nederland optreedt. Dit percentage is aanmerkelijk lager dan voor Europa wordt aangegeven (3%), mede door de gunstiger blootstellingverdeling (Babisch 2006). Het aantal mensen dat ernstige hinder of ernstige slaapverstoring ondervindt is enkele ordes groter (respectievelijk 640.000 en 290.000) (Houthuijs en Kempen van 2008).

4 Verkeersongelukken

4.1 Hoeveel verkeersongelukken komen er voor?

De kans op een verkeersongeluk heeft met verschillende factoren te maken, zoals vermoeidheid, zicht en snelheid. Beleidsmatig zijn niet alle factoren te beïnvloeden, denk aan het weer, emoties en agressie in het verkeer. Andere factoren zijn wel te beïnvloeden, zoals de snelheid van het verkeer. Bijna de helft van de ziekenhuisopnamen door verkeersongelukken in Nederland betreffen fietsers. De meeste dodelijke ongelukken betreffen inzittenden van (bestel)auto's (zie figuur 6).



Figuur 6: De verdeling van verkeersdeelnemers bij ziekenhuisopnamen en sterfte als gevolg van verkeersongelukken in 2006 (SWOV 2006a).

De meeste sterfgevallen vallen op wegen met een snelheidslimiet <90 km/uur. Meer dan de helft van de gewonden valt op wegen binnen de bebouwde kom, met een snelheidsbeperking tussen de 0 en 50 km/uur (zie tabel 4). In tabel 4 staat ook welke tegenpartij verantwoordelijk is voor het aantal dodelijke slachtoffers en ziekenhuisopnames.

Deze cijfers zijn gebaseerd op *schattingen* van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) omdat niet elke verkeersdode of gewonde geregistreerd wordt. Bij ziekenhuisopnamen is de registratie graad ongeveer 55%, bij verkeersdoden ruim 90%.

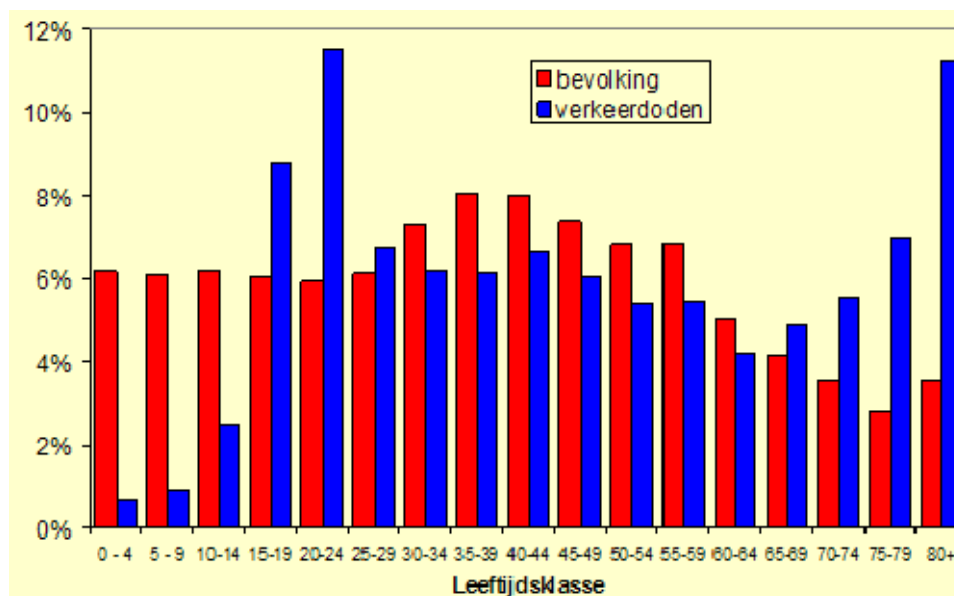
Meer dan de helft van de ziekenhuisopnamen na een verkeersongeval is vanwege een fractuur (52%), 20% vanwege hersenletsel. Van alle medisch behandelde slachtoffers na een verkeersongeval heeft 40% meer dan vijf jaar last van het opgelopen letsel en 8% houdt blijvende gevolgen van letsel over (gemeten over de periode 1999-2003) (RIVM 2003).

Tabel 4: Het percentage sterfgevallen en ziekenhuisopnamen per wegtype en per type tegenpartij in 2004-2006 (SWOV 2006b; SWOV 2006c).

	Aantal sterfgevallen	Aantal ziekenhuisopnamen
Snelheidslimiet		
0-50 km/uur	38%	57%
60-90 km/uur	48%	34%
100-120 km/uur	14%	9%
Type tegenpartij		
(bestel)Auto	40%	59%
Zwaar verkeer	15%	5%
Eenzijdig of obstakel	35%	25%
Overig	10%	11%

4.2 Zijn er kwetsbare groepen of risicogroepen?

De slachtoffers van verkeersongelukken zijn niet gelijk verdeeld over de bevolking. Er zijn zogenaamde risico groepen; bevolkingsgroepen met een grotere kans op een verkeersongeluk. Dit is goed te zien uit de verdeling van het aantal verkeersdoden naar leeftijd (zie figuur 7).



Figuur 7: De aandelen verkeersdoden en bevolking naar leeftijdsklassen van 5 jaar, 2004-2006 (SWOV 2006d).

De voornaamste risicogroepen zijn:

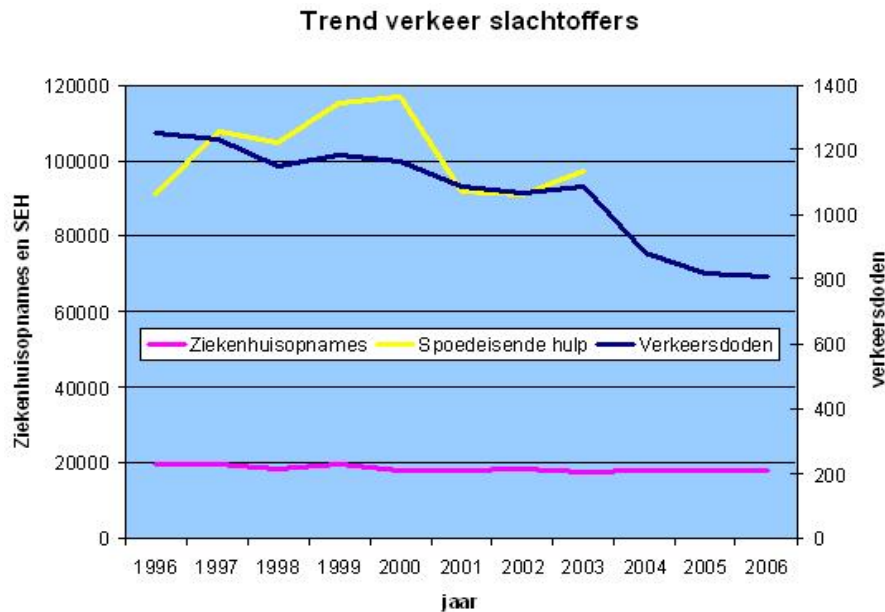
- Jonge bromfietzers (16-17 jaar) lopen een enorm hoog risico slachtoffer te worden van een verkeersongeval. Jonge bromfietzers lopen een meer dan vijftig keer zo groot risico als gemiddeld over alle leeftijdsgroepen en vervoerswijzen. Dat heeft enerzijds te maken met het voertuig zelf en anderzijds met leeftijdsgebonden onveilig gedrag in combinatie met een gebrek aan kennis en ervaring.
- Jonge, beginnende automobilisten (18-24 jaar) hebben een ruim viermaal zo groot ongevalrisico als ervaren automobilisten. Het risico van jonge mannen is zelfs ruim zes keer zo groot. Jonge manne-

lijke automobilisten zijn verhoudingsgewijs erg vaak betrokken bij een enkelvoudig (zonder betrokkenheid van andere weggebruikers) ongeval.

- Ouderen lopen een verhoogd risico ten gevolge van een verkeersongeval ernstig gewond te raken of te overlijden. Voor de leeftijdsgroep 65-74 is het overlijdensrisico ongeveer twee keer zo hoog als voor de groep 30-64 jaar. Voor mensen van 75 jaar en ouder is het risico zelfs ruim acht keer zo hoog. Het overlijdensrisico van oudere automobilisten is aanzienlijk lager dan het overlijdensrisico van oudere fietsers en voetgangers (SWOV 2007).

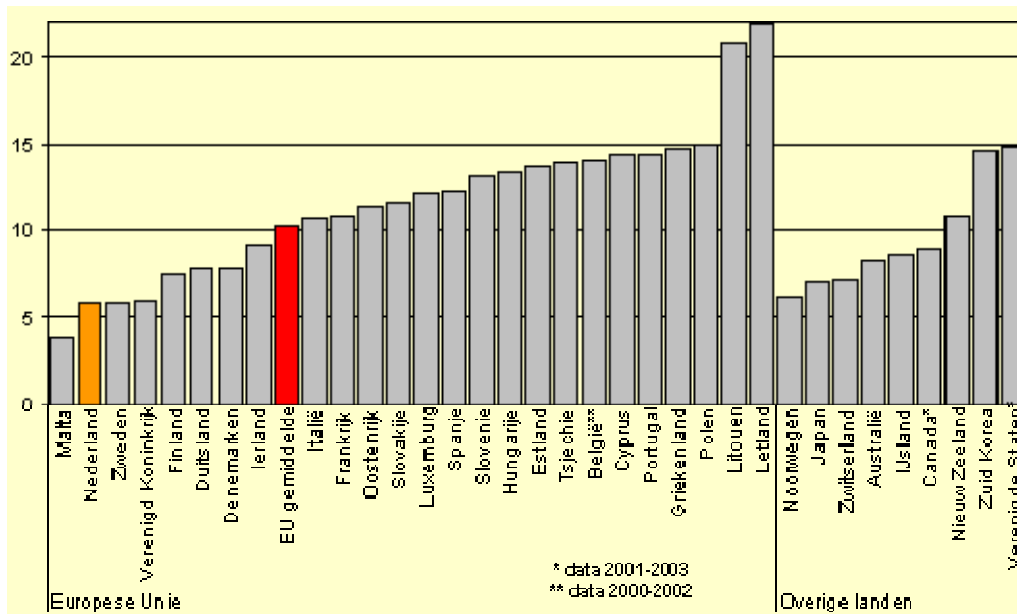
4.3 Wat is de trend in tijd?

De afgelopen jaren daalt het aantal verkeersdoden in het verkeer gestaag: vergeleken met 1996 is het aantal verkeersdoden gedaald met 35%. Het aantal ziekenhuisopnamen is minder sterk gedaald (zie figuur 8). De ernst van het letsel is echter wel afgenomen. De verwachte toename in mobiliteit maakt het verkeer drukker, complexer en het aantal ontmoetingen tussen verkeersgebruikers neemt toe. Dit is slecht voor de verkeersveiligheid. De toename in mobiliteit zorgt echter ook voor een verlaging van de snelheid en, met enige vertraging, voor nieuwe verkeersmaatregelen. Dit is goed voor de verkeersveiligheid. De taakstelling voor 2020 is een vermindering van het aantal verkeersdoden tot 580 (afname van 28%) (VenW en VROM 2005).



Figuur 8: De trend in het aantal ziekenhuisopnamen, spoedeisende hulp en verkeersdoden van 1996-2006 (SWOV 2006e).

In vergelijking tot andere Europese landen scoort Nederland goed op verkeersveiligheid. Nederland heeft een laag aantal verkeersdoden per 100.000 inwoners, samen met Zweden en Engeland (zie figuur 9).



Figuur 9: Het aantal verkeersdoden per 100.000 inwoners in verschillende Europese en niet-Europese landen (gemiddelde over 2002-2004) (SWOV 2004).

5 Interventies

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de effectiviteit van enkele verkeersmaatregelen. Dit is geen uitputtend overzicht maar een weergave van recente resultaten van potentieel interessante maatregelen.

5.1 Is fietsen een gezond alternatief voor korte autoritten?

Een vraag die de laatste tijd meer aandacht heeft gekregen is de vraag wat gezondheidseffecten zijn van fietsen of wandelen in stedelijk gebied. De eerste indruk is dat bewegen gezond is en dat daarom fietsen of wandelen gezonder is dan in de auto zitten. Echter, er zijn meerdere zaken die meespelen. Zo moet men denken aan verkeersveiligheid (fietsers zijn een kwetsbare groep in het verkeer) en de blootstelling aan luchtverontreiniging (diepere ademhaling bij inspanning en tijd blootgesteld). Op dit moment zijn er verschillende studies die hiernaar kijken. Zo is men in België bezig met het “Shapes” project, dit project heeft als doelstelling:

“een systematische vergelijking te maken van alle vrijwillige en onvrijwillige gezondheidsrisico’s die verbonden zijn aan de substitutie van de auto door de fiets in het dagelijks pendelverkeer (ongevallen, letsels, (gebrek aan) lichaamsbeweging en blootstelling aan luchtvervuiling).”

Ook in Nederland doet men een vergelijkbaar soort onderzoek, in een samenwerkingsverband tussen de Universiteit Utrecht en de Hulpverlening Gelderland Midden. Hier wordt gekeken naar het verschil in blootstelling aan luchtverontreiniging bij verkeersgebruikers in auto’s, in bussen of op de fiets.

Bij het RIVM wordt momenteel onderzocht wat het mogelijke effect is als korte autoritten vervangen worden door fietsritten. Hier wordt, door middel van model berekeningen, gekeken naar het effect op de luchtkwaliteit, verkeersveiligheid, geluid en beweging. Vervolgens wordt gekeken wat dit betekent voor de gezondheid van de verkeersdeelnemers zelf of voor de bewoners in de omgeving. De resultaten worden eind 2008 verwacht.

5.2 Wat is het effect van roetfilters?

Roet is een belangrijke component van verkeers gerelateerde luchtverontreiniging. Het toepassen van roetfilters zorgt voor een lagere emissie (massa) van fijn stof als gevolg van de verbrandingsprocessen. Roetfilters kunnen direct in de fabriek worden ingebouwd (gesloten filters) of op een later tijdstip (retrofit) na de productie (half open filters). Bij nieuwe dieselmotoren met een gesloten filter wordt de uitstoot van fijn stof met meer dan 90% gereduceerd. Op bestaande auto’s die worden voorzien van een half open (retrofit) filter wordt de uitstoot van stofdeeltjes met ongeveer 30-50% gereduceerd (MNP 2007). De effectiviteit voor het reduceren van de aantallen van de allerkleinste (ultrafijn stof) deeltjes is slechts marginaal onderzocht en daarover is nog geen eenduidig beeld. De beperkte metingen hierover geven als indicatie dat ook de hoeveelheid ultrafijn stof afneemt. Op dit moment wordt zowel de aanschaf van een nieuwe auto met roetfilter en het aanbrengen aan een retrofit roetfilter op bestaande auto’s nog door VROM gesubsidieerd (VROM 2007a).

Het stimuleren van de aanschaf van roetfilters zal zorgen voor een afname van de emissie van fijn stof door het wegverkeer, dit heeft positieve effecten op de luchtkwaliteit in Nederland. Dit geldt hoofdzakelijk voor de lokale luchtkwaliteit nabij drukke verkeerswegen. Dit komt omdat vlak bij drukke ver-

keerswegen de bijdrage van het wegverkeer aan de achtergrond concentratie fijn stof het hoogst is (zie figuur 1). Binnen 100 meter dalen de luchtverontreiniging niveaus sterk, maar de invloed van de emissies kan nog op 1000 meter merkbaar zijn. Naar verwachting zal de verbetering in luchtkwaliteit dus zorgen voor een lokale verlaging van de negatieve gezondheidseffecten veroorzaakt door roet. Een recent onderzoek van het RIVM naar de introductie van retrofit roetfilters voor dieselauto's geeft aan dat de verwachte gezondheidseffecten per saldo positief zijn. Wel is er nog weinig kennis over ongewenste neveneffecten, zoals een mogelijke verhoogde uitstoot van stikstofdioxide (NO₂), als gevolg van een retrofit roetfilter (Cassee 2007). Een verkennend onderzoek van TNO en het RIVM geeft aan dat er vooralsnog geen toename te verwachten valt van de negatieve effecten van dieselmotoruitstoot op de volksgezondheid door toepassing van de door VROM gesubsidieerde retrofit roetfilters (Verbeek, Vermeulen *et al.* 2007). Wel is het zaak om bij stimuleren van roetfilters elke keer goed te evalueren of de emissie op alle fronten omlaag gaan, niet alleen de massa maar ook aantallen en gasvormige componenten. Dit om er zeker van te zijn dat het daadwerkelijk bijdraagt aan vermindering van gezondheidsproblemen door luchtverontreiniging.

In 2005 hebben Van den Brink en Van Bree (2005) een schatting gemaakt van de gezondheidswinst bij het implementeren van roetfilters op 1 januari 2005. Zij berekenden in dat er in 2010 40 tot 130 personen minder vroegtijdig zouden overlijden bij een daling in de PM₁₀ concentratie door de invoering van roetfilters (Brink van den en Bree van 2005).

5.3 Wat zijn de effecten van de Europese maatregelen om de uitstoot van vervuilende stoffen van wegverkeer te verminderen?

Wegvoertuigen worden steeds schoner door verscherpte typekeuringseisen die zijn opgelegd door de EU en zijn opgenomen in de Nederlandse wetgeving. Om de luchtverontreiniging door het wegverkeer terug te dringen, zijn vanaf het begin van de jaren zeventig door de EG/EU normen vastgesteld waaraan voertuigen moeten voldoen om op de markt te komen. Deze typekeuringseisen zijn vervolgens in de nationale wetgevingen opgenomen en in de loop der jaren steeds verder aangescherpt (Euronormen) (MNC 2008c). Op dit moment moeten nieuwe personen auto's voldoen aan de Euro-IV norm, eind 2008 zal de nieuwere Euro-V norm in werking treden. Een strengere Euro-VI norm staat gepland voor 2013.

Op basis van de Euro normen zijn eisen gesteld aan de uitstoot van fijn stof en NO_x. De invoering van de Euro-5 norm eind dit jaar voor nieuwe *personenauto's* zal waarschijnlijk rond 2020 zijn maximale effect hebben. Dit komt omdat het wagenpark tijd nodig heeft om te vernieuwen. In Nederland wordt het effect van de Euro-5 norm in 2020 geschat op een 50% reductie van fijn stof emissies door het *totale wegverkeer*. Voor NO_x is het effect wat geringer; een 7% reductie van NO_x emissies door het *totale wegverkeer*. Hoewel elke afname in emissie van NO_x bijdraagt aan een betere luchtkwaliteit, is de Euro-5 norm niet afdoende om alle knelpunten in Nederland rond een te hoge NO₂ concentratie te verhelpen (Wesselink, Buijsman *et al.* 2006)

De strengere Euro-VI norm voor *zwaar wegverkeer* betreft een aanscherping van de emissie eisen per 2013 voor fijn stof (-67%) en NO_x (-80%) ten opzichte van de Euro-V emissie eisen voor *zwaar wegverkeer*. Invoering van dit voorstel zal, gecombineerd met het effect van de Euro-5 norm voor personenauto's, in Nederland leiden tot een vermindering van de NO_x-emissie van het *totale wegverkeer* van 27% in 2020. De fijn stof emissie van het *totale wegverkeer* neemt door de gecombineerde effecten van de Euro-V, VI en Euro-5 en 6-maatregel af met 56% in 2020 (Visser, Smeets *et al.* 2008).

Ook zal in 2013 de nieuwe Euro-VI norm voor *personenauto's* ingevoerd worden. Op dit moment zijn er nog geen berekeningen beschikbaar die het effect van deze maatregel op de emissie van fijn stof en NO_x door het *totale wegverkeer* beschrijven. Er wordt echter vanuit gegaan dat deze maatregel bijdraagt aan een substantiële afname van uitstoot van NO_x. Voor fijn stof is de afname beperkter.

De invoering van de Euro-VI emissie eisen voor *zwaar wegverkeer* per 2013 zal het aantal lokale overschrijdingen van de NO₂-luchtkwaliteitsnorm, waar Nederland in 2015 aan moet voldoen, verminderen met circa 30%. De aanscherping komt te laat om een bijdrage te kunnen leveren aan de oplossing van de problemen met lokale overschrijdingen van de fijn stof norm in Nederland, omdat uiterlijk in 2011 aan deze norm moet worden voldaan. De Euro-VI maatregel zal wel een bijdrage leveren aan het halen van de nieuwe PM_{2,5}-normen in 2015 en 2020 (Visser, Smeets *et al.* 2008).

Invoering van de Euro-V en Euro-VI normen heeft positieve effecten op de menselijke gezondheid in Nederland. Het voorstel grijpt namelijk aan op de kleinere, verbrandingsgerelateerde fractie van het stof, PM_{2,5}. Deze fractie wordt volgens de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) als meest gezondheidsrelevant beschouwd (WHO 2006). Het gezondheidseffect zal het grootst zijn voor mensen die wonen of werken op locaties langs wegen met veel vrachtverkeer.

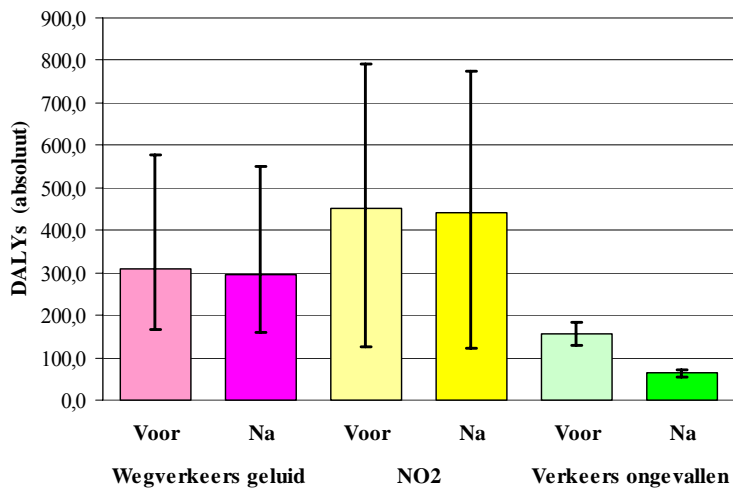
5.4 Wat is het effect van snelheidsvermindering op de uitstoot van weggerelateerde luchtverontreiniging en de gezondheid?

In 2005 is in Nederland op 4 trajecten een snelheidsverlaging ingevoerd met als doel een verbetering van de lokale luchtkwaliteit. Aanvankelijk waren in totaal 10 locaties geselecteerd als mogelijke trajecten voor deze snelheidsverlaging. Voor 9 van deze trajecten is met behulp van modelberekeningen gekeken wat de mogelijke gezondheidseffecten zijn als gevolg van een snelheidsverlaging. Er is gekeken naar luchtverontreiniging, geluidsoverlast en verkeerveiligheid.

De snelheidsverlaging zou zorgen voor een gemiddelde afname van NO_x en PM₁₀ emissie door wegverkeer van respectievelijk 8-19% en 9-40%. Ook het geluidsniveau neemt tussen de 0-1 dB(A) af (AVV 2004). Deze schattingen komen redelijk overeen met metingen op de 4 trajecten waar de snelheidsverlaging daadwerkelijk is ingevoerd (Rijkswaterstaat 2007).

Door de verminderde uitstoot door het wegverkeer daalt ook de achtergrond concentratie NO₂ en PM₁₀ naast de weg met gemiddeld 3% en 1% (AVV 2004). De verandering in achtergrond concentratie en geluidsoverlast is doorgerekend naar gezondheidseffecten voor de mensen die <500 meter van de betreffende snelwegtrajecten wonen. De verandering in snelheid is doorgerekend naar verkeersongevallen bij de weggebruikers.

Vervolgens zijn de gezondheidsgevolgen berekend voor de situatie voor en na de interventie (figuur 10). Alleen de gezondheidsschade door verkeersongelukken zal naar verwachting sterk afnemen bij de snelheidsverlaging. De gezondheidsgevolgen van de geluid- en luchtverontreinigingsafname lijken klein, maar de onzekerheden in de schattingen zijn groot.



Figuur 10: De gezondheidsschade, uitgedrukt in Disability Adjusted Life Years⁴ (DALY's), voor en na de introductie van de snelheidsbeperking. Het betrouwbaarheidsinterval geeft een schatting van de variatie veroorzaakt door onzekerheid in de parameters gebruikt in de DALY berekening (Kempen van, Knol et al. 2006).

5.5 Wat is het effect van geluidsreducerende maatregelen, zoals stille banden?

Het gebruik van stille banden is één van de meest kosteneffectieve maatregelen voor het verminderen van verkeersgerelateerde geluidsemissie (zie tabel 5 en Nijland 2008). In Europees beleid zijn er in het verleden nog weinig eisen gesteld aan het geluidsniveau van banden. Dit komt vooral door de invloed van auto- en bandenindustrie die fel gekant is tegen beperkende eisen, zoals geluidseisen (Welkers 2007). Hierin lijkt verandering te komen; in 2008 komt er een voorstel voor een nieuwe regelgeving voor autobanden. Dit zou moeten leiden tot een geluidsafname van geluid geproduceerd door banden van gemiddeld 2 - 5 dB(A). Een bijkomend voordeel van strengere eisen voor autobanden is dat nieuwere type banden minder slijten (minder stof deeltjes) en energie zuiniger zijn (verminderde uitstoot van uitlaatgassen).

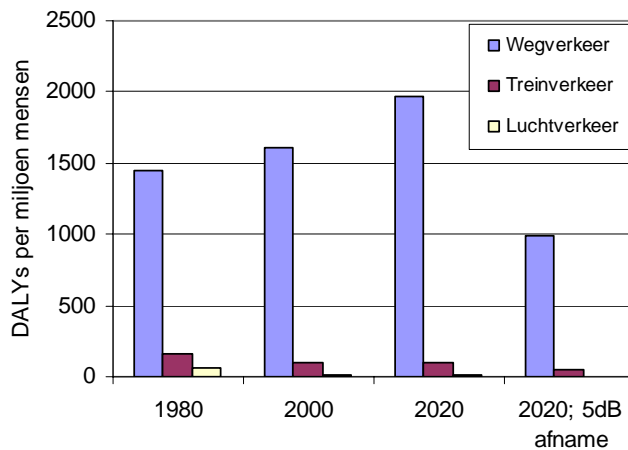
Tabel 5: De kosten en de geluidsafname van enkele geluidsreducerende maatregelen (Jabben, Potma et al. 2007).

Geluid afname (dB(A))	Type maatregel	Kosten per km (mln)
3	Stille banden	< 0.1
4	Dubbel ZOAB (tov ZOAB)	0.2
10	Scherm 3m	1.4
15	Scherm 8m	3.7
20	Scherm 15m	15
30	Tunnel	85

ZOAB = zeer open asfalt beton.

⁴ De DALY kwantificeert gezondheidsverlies en is opgebouwd uit 2 componenten: de jaren verloren door vroegtijdige sterfte en de jaren geleefd met ziekte. De jaren geleefd met ziekte worden met behulp van wegingsfactoren, gewogen voor de ernst van de ziekte, zodat ze vergelijkbaar worden met door sterfte verloren levensjaren en ze mogen worden opgeteld tot DALYs.

Een schatting van de directe gezondheidswinst als gevolg van afname in geluidsniveaus is complex, de onzekerheden zijn groot. Afname in geluidsniveaus kan leiden tot minder hinder, slaapverstoring en hart- en vaatziekten. Een afname van 5 dB door beleidsmaatregelen in 2020 zou de gezondheidsschade veroorzaakt door hinder en slaapverstoring ongeveer halveren (zie figuur 11).



Figuur 11: De gezondheidsschade, uitgedrukt in DALY's (Disability Adjusted Life Year) per miljoen mensen, veroorzaakt door ernstige hinder of ernstige slaapverstoring als gevolg van weg-, trein- en luchtverkeergeluid voor 1980, 2000 en 2020, inclusief een alternatief scenario voor 2020. In dat scenario is aangenomen dat geluidmaatregelen zijn geïmplementeerd die leiden tot een 5 dB afname in blootstelling aan geluid van weg- en treinverkeer (Knol en Staatsen 2005).

5.6 Wat is er bekend over de effectiviteit van cordon en gebiedsheffingen in de stad?

Het concept cordon- en gebiedsheffing in de binnenstad bestaat uit tol heffen op wegverkeer dat naar de binnenstad wil. In de spitsuren wordt er eventueel meer tol gevraagd dan buiten de spits en het openbaar vervoer wordt vaak geïntensiveerd. Dit alles zou moeten leiden tot minder verkeer dat gelijkmatiger over de dag gespreid is om zo opstoppingen in de (binnen)stad tegen te gaan.

Londen (gebiedsheffing zonder differentiatie naar tijd) en Stockholm (cordonheffing met differentiatie naar tijd) zijn twee grote steden waar zo'n concept is geïntroduceerd. Na invoering van de heffing verminderde het totale wegverkeer met 16% (Londen) en 22% (Stockholm). Dit resulteerde in een verminderde uitstoot van luchtverontreiniging en een toename van de verkeersveiligheid (zie tabel 6).

Het invoeren van de heffing heeft per saldo een positief effect op de verkeersveiligheid. De gemiddelde snelheid zal licht stijgen maar met een verminderd verkeersvolume resulteert dit in een verbetering van de verkeersveiligheid.

Tabel 6: Schattingen van de afname van luchtverontreiniging door introductie van heffingen voor Stockholm en Londen (Johansson en Burman 2006; TFL 2007).

	Afname van NO _x		Afname van PM ₁₀	
	Emissie door wegverkeer (%)	Totale concentratie (%)	Emissie door wegverkeer (%)	Totale concentratie (%)
<i>Stockholm binnenstad</i>	8.5	10	13	7.6
<i>Stockholm agglomeratie</i>	1.3	5.3	1.5	3.8
<i>Londen</i>	8	0*	7	0*

* Hier is de afname van de achtergrond concentratie niet berekend maar is gekeken naar meetgegevens van meetstations.

Op basis van de gemodelleerde afname van luchtverontreiniging in Stockholm is een gezondheidseffect berekend. Op jaarbasis zouden voor de hele Stockholm agglomeratie (1.4 miljoen inw.) maximaal 30 vroegtijdige sterftegevallen vermeden worden door de cordonheffing. Van de maximaal 30 vroegtijdige sterftegevallen kunnen er maximaal 25 herleid worden tot bewoners van de binnenstad (350.000 inw.) (Johansson en Burman 2006). Voor Londen zou volgens een zelfde soort berekening op jaarbasis voor de hele Londen agglomeratie (7.2 miljoen inw) maximaal 57 vroegtijdige sterftegevallen vermeden worden door de gebiedsheffing. Hiervan kunnen er maximaal 22 worden herleid tot de bewoners van de binnenstad (370.000 inw.) (berekening gebaseerd op cijfers van Tonne, Beevers *et al.* 2008).

Er zit een zekere mate van onzekerheid en onderschatting in deze getallen; vroegtijdige sterfte is niet het enige gezondheidseffect van luchtverontreiniging. (zie ook paragraaf 2.4).

De gezondheidseffecten als gevolg van de verbeterde verkeersveiligheid zijn voor zowel Londen en Stockholm geschat op een vermindering van ongelukken met 40-70 botsingen per jaar in de heffing zone. Voor Londen is deze schatting gebaseerd op meetgegevens van 5 jaar, in Stockholm is dit gemodelleerd (Johansson en Burman 2006; TFL 2007).

6 Eindbeschouwing

Op verzoek van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een overzicht opgesteld met informatie over de gezondheidseffecten gerelateerd aan wegverkeer in drie thema's: luchtverontreiniging, geluid en verkeersveiligheid. De sociale gevolgen van wegverkeer en indirecte gezondheidsaspecten via uitstoot van CO₂ en gebrek aan lichaamsbeweging zijn in dit rapport buiten beschouwing gelaten.

Wegverkeer leidt tot negatieve gezondheidseffecten door luchtverontreiniging, geluidsoverlast en verkeersongevallen. Dat blijkt uit een overzicht van de huidige stand van kennis van recente rapporten van het RIVM, PBL, MNC, SWOV en internationale reviews. De gevonden gezondheidseffecten zijn onder andere: luchtwegklachten, verminderde longfunctie, hart- en vaatziekten, (ernstige) hinder en slaapverstoring, (ernstig) letsel bij verkeersongevallen en vroegtijdige sterfte. Echter, er kunnen geen concrete schattingen worden gegeven over de omvang van de effecten bij de Nederlandse bevolking door blootstelling aan wegverkeer gerelateerde luchtverontreiniging.

Om de negatieve gezondheidseffecten van wegverkeer in te perken worden op Europees, nationaal en lokaal niveau maatregelen genomen. De impact van deze maatregelen op de gezondheid wordt niet altijd of te beperkt geëvalueerd. Het beoordelen en evalueren van de gezondheidseffecten kan echter meerwaarde geven. Op deze manier kan een maatregel, het beleid of een programma beoordeeld worden in termen van hoeveelheid gezondheidswinst bij een populatie. Verder kan er ook worden gekeken naar de verdeling van die gezondheidswinst binnen een populatie. Dit kan bijvoorbeeld van belang zijn bij maatregelen die alleen van invloed zijn op de hoogste blootstellingsniveaus. Daarnaast wordt bij een integrale benadering van gezondheid naar meerdere effecten en factoren tegelijk gekeken: welke maatregelen leveren nu zowel milieu- als gezondheidswinst, zoals bijvoorbeeld het bevorderen van fietsen en wandelen. De evaluatie van beleidsmaatregelen is een taak van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL); het RIVM kan ondersteunen door onderzoek naar de impact op de gezondheid.

Op dit moment loopt er een gezamenlijk onderzoek van RIVM, IRAS, GGD's en enkele gemeenten naar de lokale impact van verkeersmaatregelen op de wegverkeergerelateerde luchtverontreiniging en respiratoire gezondheid. De resultaten zullen over enkele jaren bekend zijn. Ook binnen verschillende Europese projecten (THE PEP⁵, PRONET⁶) wordt gewerkt aan de evaluatie van, onder andere, de gezondheidseffecten van ingevoerde maatregelen op het gebied van wegverkeer en mobiliteit. De uitkomsten hiervan worden begin en medio 2009 verwacht.

⁵ <http://www.thepep.org/CHWebsite/>

⁶ <http://www.proneteurope.eu/>

Afkortingen

CO:	koolmonoxide
DEP:	Diesel Exhaust Particle
GGD:	Gemeentelijke Gezondheidsdienst
IRAS:	Institute for Risk Assessment Sciences
L _{den} :	Level day-evening-night
L _{Aeq} :	Level A-gewogen equivalent
L _{etmaal} :	Level etmaal
MNC:	Milieu en Natuurcompendium
MGO:	Centrum voor Milieu-Gezondheid Onderzoek
MNP:	Milieu- en Natuurplanbureau; tegenwoordig het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
NO:	stikstofoxide
NO _x :	stikstofoxiden
NO ₂ :	stikstofdioxide
PBL:	Planbureau voor de Leefomgeving (voorheen Milieu- en Natuurplanbureau (MNP))
PM ₁₀ :	“Particulate Matter” (fijn stof) <10 µm
PM _{2,5} :	“Particulate Matter” (fijn stof) <2.5 µm
PM _{0,1} :	“Particulate Matter” (fijn stof) <0.1 µm
RIVM:	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SWOV:	Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
TNO:	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
TSP:	Total Suspended Particles
VenW:	Ministerie van Verkeer en Waterstaat
VOS:	Vluchtige Organische Stoffen
VROM:	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
WHO:	Wereldgezondheidsorganisatie

Referenties

- AVV (2004). Lucht voor 10!, Adviesdienst Verkeer en Vervoer: 1-43.
- Babisch, W. (2006). "Transportation noise and cardiovascular risk: Updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased." Noise and Health 8(30): 1-29.
- Beijk, R., D. Mooibroek, *et al.* (2007). Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2003-2006 Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: 1-170.
- Berglund, B., T. Lindvall, *et al.* (1999). WHO Guidelines for Community Noise. Kopenhagen, WHO.
- Bloemen, H. J. T., A. Meulen van der, *et al.* (2007). Monitoring Black Smoke? Monitoring the impact of abatement measures. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: 1-36.
- Boogaard, H. en G. Hoek (2008). Blootstelling aan ultrafijn stof tijdens fietsen en autorijden in Nederlandse steden. Utrecht, Universiteit Utrecht.
- Brink van den, R. M. M. en L. Bree van (2005). Reduce health risks by subsidizing particulate traps on new diesel cars. Proceedings of the eleventh International Conference on Urban Transport and the Environment in the 21st Century. C. A. Brebbia en L. C. Wadwha: 441-54.
- Cassee, F. (2008). Persoonlijke mededeling. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Cassee, F. R. (2007). Gezondheidsrisico's van retrofit-roetfilters. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: 1-5.
- CBS. (2007). "Minder uitlaatgassen door wegverkeer dan eerder was aangenomen " Opgevraagd 06-02-2008, van <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/natuur-milieu/publicaties/artikelen/archief/2007/2007-2197-wm.htm>.
- EEA (2007). Air pollution in Europe 1990-2004. Copenhagen, European Environmental Agency.
- EPA (2008). Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (Second External Review Draft). Washington, U.S. Environmental Protection Agency.
- Feskens, E. J. M., A. H. H. Merry, *et al.* (2006, 19-06-2006). "Coronaire hartziekten. Omvang van het probleem. Hoe vaak komen coronaire hartziekten voor en hoeveel mensen sterven eraan? ." Opgevraagd 08-07-2008, van http://www.rivm.nl/vtv/object_document/o1309n17964.html.
- Fischer, P., J. P. Wesseling, *et al.* (2007). Invloed van de afstand tot een drukke verkeersweg op de luchtkwaliteit en gezondheid: een quick scan. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Franssen, E. A. M., J. E. F. Dongen van, *et al.* (2004). Hinder door milieufactoren en de beoordeling van de leefomgeving in Nederland. Inventarisatie verstoringen 2003. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: 1-100.
- Gezondheidsraad (1999). Grote luchthavens en gezondheid. Den Haag, Gezondheidsraad: 1-186.
- Gezondheidsraad (2004). Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid. Den Haag, Gezondheidsraad: 1-206.

- Houthuijs, D. J. M. en E. E. M. M. Kempen van (2008). Omvang van de effecten op gezondheid en welbevinden in de Nederlandse bevolking door geluid van weg- en railverkeer Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
- Jabben, J., C. Potma, *et al.* (2007). Baten van geluidmaatregelen. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: 1-52.
- Johansson, C. en L. Burman (2006). Effects on air quality and health. Stockholm, City of Stockholm Environment and Health Administration: 1-62.
- Kempen van, E. E. M. M., A. B. Knol, *et al.* (2006). Transport-related health impact assessment; A first estimation of the health benefits of speed limit reduction at 9 highway sections in the Netherlands. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu: 1-32.
- Knol, A. B. en B. A. M. Staatsen (2005). Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands, 1980 - 2020. Bilthoven, RIVM: 1-97.
- Matthijsen, J. en H. M. Brink ten (2007). PM_{2,5} in the Netherlands. Bilthoven, Milieu- en Natuurplanbureau: 1-77.
- Miedema, H. M. E. en C. G. M. Oudshoorn (2001). "Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals." *Environmental Health Perspectives* **109**(4): 409-416.
- Miedema, H. M. E., W. Passchier-Vermeer, *et al.* (2002). Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance. Delft, TNO.
- MNC. (2007b, 12-12-2007). "Fotochemische luchtverontreiniging: oorzaken en effecten." Opgevraagd 11-02-2008, van <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0473-Fotochemische-luchtverontreiniging%3A-oorzaken-en-effecten.html?i=14-65>.
- MNC. (2007c, 21-12-2007). "Ozonconcentraties en volksgezondheid, 1990-2006." Opgevraagd 11-02-2008, van <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0238-Ozonconcentraties-en-volksgezondheid.html?i=14-66>.
- MNC. (2007d, 19-11-2007). "Gezondheidseffecten van fijn stof en ozon, 2006 " Opgevraagd 11-02-2008, van <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0340-Gezondheidseffecten-van-fijn-stof-en-ozon.html?i=13-128>.
- MNC. (2008a, 16-05-2008). "Wegverkeer: volumeontwikkeling en milieudruk, 1990-2006." Opgevraagd 01-09-2008, van <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0127-Wegverkeer%3A-volumeontwikkeling-en-milieudruk.html?i=23-69>.
- MNC. (2008b, 30-05-2008). "Geluidbelasting weg-, rail- en vliegverkeer in Nederland, 2005." Opgevraagd 17-06-2008, van <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0296-Geluidbelasting--door-weg-%2C-rail--en-vliegverkeer-in-Nederland.html?i=13-45>.
- MNC. (2008c, 16-05-2008). "Wegvoertuigen naar milieuklasse, 1986-2006." 10. Opgevraagd 20-05-2008, van <http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0388-Wegvoertuigen-naar-milieuklasse.html?i=16-102>.

- MNP (2006). Haalbaarheid nationale emissieplafonds in 2010. Bilthoven, Milieu- en Natuurplanbureau: 1-68.
- MNP (2007). Milieubalans 2007. R. Koelemeijer en S. Kruitwagen. Bilthoven, Milieu- en Natuurplanbureau 1-215.
- MNP en RIVM (2005). Fijn stof nader bekeken: De stand van zaken in het dossier fijn stof. Bilthoven, Milieu- en Natuurplanbureau: 1-63.
- Nijland, H. (2008). Theory and practise of the assessment and valuation of noise from roads and railroads in Europe. Delft, The Netherlands TRAIL Research School. **TRAIL Thesis Series nr. T2008/10:** 1-104.
- Passchier-Vermeer, W., H. Vos, *et al.* (2007). Slaap en verkeersgeluid. Delft, TNO.
- Rijkswaterstaat (2007). Evaluatie 80 km zones, eindrapportage 2007, Ministerie van Verkeer en Waterstaat: 1-26.
- RIVM. (2003, 13-12-2007). "Nationaal Kompas Volksgezondheid; verkeersongevallen." 3.12. Opgevraagd 12-02-2008, van http://www.rivm.nl/vtv/object_document/o4507n31351.html.
- RIVM. (2007a, 20-09-2007). "Website Gezondheid en Milieu - thema lucht." Opgevraagd 11-02-2008, van http://www.rivm.nl/gezondheidenmilieu/themas/Luchtvervuiling/luvo_ozon/.
- RIVM. (2007b, 04-09-2007). "Website Gezondheid en Milieu - thema lucht." Opgevraagd 11-02-2008, van <http://www.rivm.nl/gezondheidenmilieu/themas/Luchtvervuiling/fijnstof/>.
- SWOV. (2004, 01-10-2007). "Mortaliteit: het aantal verkeersdoden per 100.000 inwoners." Opgevraagd 12-02-2008, van http://www.swov.nl/nl/research/kennisbank/inhoud/00_trend/25_internationaal/mortaliteit_het_aantal_verkeersdoden_per_100_000_inwoners.htm.
- SWOV. (2006a, 01-10-2007). "Slachtoffers naar verkeersdeelname." Opgevraagd 12-02-2008, van http://www.swov.nl/nl/research/kennisbank/inhoud/00_trend/01_monitor/slachtoffers_naar_verkeer_sdeelname.htm.
- SWOV. (2006b, 01-10-2007). "Slachtoffers naar wegsoort." Opgevraagd 12-02-2008, van http://www.swov.nl/nl/research/kennisbank/inhoud/00_trend/01_monitor/slachtoffers_naar_wegsoort.htm.
- SWOV. (2006c, 01-10-2007). "Slachtoffers naar ongevalstype/tegenpartij." Opgevraagd 12-02-2008, van http://www.swov.nl/nl/research/kennisbank/inhoud/00_trend/01_monitor/slachtoffers_naar_ongevalstype_tegenpartij.htm.
- SWOV. (2006d, 01-10-2007). "Slachtoffers naar leeftijd." Opgevraagd 20-03-2008, van http://www.swov.nl/nl/research/kennisbank/inhoud/00_trend/01_monitor/slachtoffers_naar_leeftijd.htm.
- SWOV. (2006e, 01-10-2007). "Het aantal verkeersslachtoffers." Opgevraagd 12-02-2008, van http://www.swov.nl/nl/research/kennisbank/inhoud/00_trend/01_monitor/het_aantal_verkeersslachtoffers.htm.

- SWOV. (2007, 01-10-2007). "Risicogroepen." Opgevraagd 20-03-2008, van http://www.swov.nl/nl/research/kennisbank/inhoud/30_risco/riscogroepen.htm.
- TFL (2007). Transport for London: Impacts monitoring - fifth annual report. London, Transport for London: 1-279.
- Tonne, C., S. Beevers, *et al.* (2008). "Air pollution and mortality benefits of the London Congestion Charge: spatial and socioeconomic inequalities." *Occup Environ Med*: oem.2007.036533.
- VenW en VROM. (2005). "Nota Mobiliteit deel III." van <http://www.notamobiliteit.nl/pdf/nm3/PKB3NL.pdf>.
- Verbeek, R., R. J. Vermeulen, *et al.* (2007). Onderzoek naar het effect van retrofit roetfilters op de emissies van personenwagens met een dieselmotor. Delft, TNO: 1-34.
- Visser, M., W. L. M. Smeets, *et al.* (2008). Effecten van de Euro-VI-emissie-eisen voor zwaar wegverkeer in Nederland. Bilthoven, Milieu-en Natuurplanbureau: 1-13.
- VROM (2006). NEC-rapportage 2006. Den Haag, Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijk Ordening en Milieu: 1-32.
- VROM. (2007a). "Dossier roetfilters." Opgevraagd 13-02-2008, van <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=20473#>.
- VROM (2007b). NEC-rapportage 2007. Den Haag, Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu: 1-6.
- Welkers, D. (2007, 01-04-2007). "State of the Art: Aanscherping van de internationale geluideisen aan banden en wegvoertuigen." versie 7. Opgevraagd 12-02-2008, van http://www.innovatieprogrammageduid.nl/data/files/algemeen/24_SotA_Aanscherping%20banden%20en%20voertuigen_april2007.pdf.
- Wesselink, L. G., E. Buijsman, *et al.* (2006). The impact of Euro 5: Facts and Figures. Bilthoven, Milieu-en Natuurplanbureau: 1-10.
- WHO (2005). Health effects of transport-related air pollution. Copenhagen, World Health Organisation Regional office for Europe.
- WHO (2006). Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment. Geneva, World Health Organisation.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl