

Relatie tussen luchtkwaliteit en gezondheid in Noord-Brabant

Gerard Hoek

Institute for Risk Assessment

Universiteit Utrecht Universiteit

28 februari 2012

Inleiding

Een groot aantal studies heeft aangetoond dat verontreiniging van de buitenlucht effecten heeft op de volksgezondheid (World Health Organization 2006). Deze gezondheidseffecten treden ook op bij de hedendaagse concentraties luchtverontreiniging. In deze notitie wordt een overzicht gegeven van de gevonden gezondheidseffecten, met speciale nadruk op verkeersgerelateerde en veehouderij gerelateerde luchtverontreiniging. Voor een provinciale / gemeentelijke overheid zijn vooral de bronnen verkeer en landbouw potentieel te beïnvloeden via beleid. Tevens wordt ingegaan op welke componenten van het complexe mengsel van luchtverontreinigende stoffen belangrijk zijn en wat de waarde is van verschillende indicatoren van luchtkwaliteit. Vanwege de gezondheidsrelevantie zal vooral aandacht aan (bestanddelen van) fijn stof worden besteed. Uit recent onderzoek is wel duidelijk geworden dat meerdere componenten verantwoordelijk zijn voor de gevonden gezondheidseffecten.

Uit metingen in het kader van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM blijkt dat de concentraties fijn stof en stikstofdioxide in de provincie Noord-Brabant tot de hogere concentraties in Nederland behoren. Meer informatie is te vinden op de website van het RIVM (www.lml.rivm.nl/Cached - Similar).

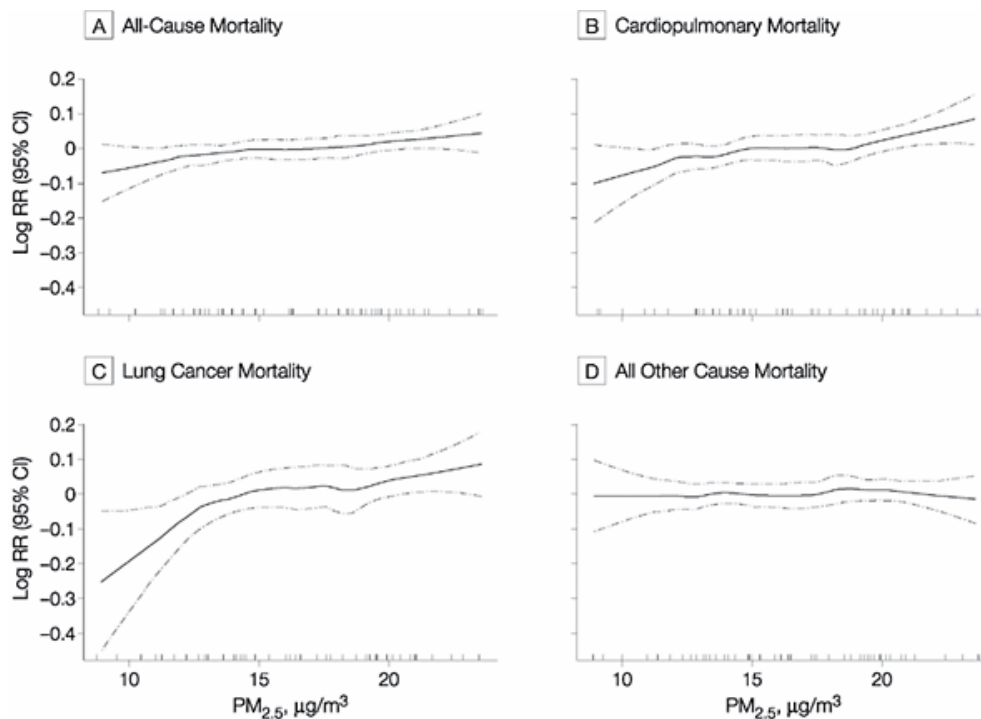
1. Karakterisering gezondheidseffecten

Een belangrijke bevinding van recent epidemiologisch onderzoek is dat er geen sprake lijkt te zijn van een drempelwaarde waar beneden geen effecten op de gezondheid optreden (World Health Organization 2006). De meeste studies vinden lineaire relaties tussen de hoogte van de concentratie luchtverontreiniging en de mate van gezondheidsverlies bijvoorbeeld aantal extra ziekenhuisopnamen voor astma. Figuur 1 geeft een voorbeeld. Dit heeft twee belangrijke consequenties voor het beleid. Ten eerste betekent het dat er ook onder de huidige luchtkwaliteitsnormen voor fijn stof, stikstofdioxide en ozon effecten op de gezondheid optreden. Ten tweede betekent het dat maatregelen die de luchtkwaliteit verbeteren, de volksgezondheid zullen verbeteren, ook als de concentraties boven de norm blijven. Ook geldt dat hoe verder de concentratie beneden de norm is, hoe meer gezondheidswinst geboekt wordt. Omgekeerd geldt ook dat het “opvullen van de norm” tot gezondheidsschade leidt. Beleid dat een toename van luchtverontreiniging toelaat wanneer de concentraties beneden de norm zal tot gezondheidsverlies leiden. Figuur 1 geeft ook een beeld welke aandoeningen met name beïnvloed worden: hart-en vaatziekten, luchtwegziekten en longkanker.

Onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat buitenluchtverontreiniging tot een scala aan negatieve gezondheidseffecten kan leiden (World Health Organization 2006). Verhoogde *daggemiddelde* concentraties leiden tot verhoogde dagelijkse sterfte aan vooral hart- en vaatziekten en luchtwegziekten en tot verhoogde ziekenhuisopnamen hiervoor. Ook is een verergering van (astmatische) luchtwegklachten en verminderde longfunctie aangetoond. Vanwege deze korte termijneffecten is er een norm voor de daggemiddelde concentratie. Effecten van *lange termijn blootstelling* blijken uit volksgezondheidsoogpunt belangrijker te zijn. Dit uit zich in grotere relatieve risico's op dezelfde aandoening. Een toename van de fijn stof concentratie met $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ leidt tot circa 0.6% toename in sterfte tengevolge van korte termijn blootstelling, terwijl het effect van lange termijn blootstelling circa 6% extra sterfte is (World Health Organization 2006). Gezondheidseffecten bij langdurige blootstelling zijn o.a. vervroegde sterfte t.g.v. hart- en vaatziekten en luchtwegziekten, longkanker verminderde longfunctie(groei) en chronische luchtwegklachten. Experimenteel onderzoek onder gecontroleerde omstandigheden bij

proefdieren en menselijke vrijwilligers heeft verschillende mechanismen aan het licht gebracht waarmee luchtverontreinigende stoffen deze effecten kunnen veroorzaken (Brunekreef and Holgate 2002). Vooral oxidatieve stress en daaruit voortvloeiende ontstekingsreacties spelen een rol. Dit onderzoek heeft de plausibiliteit van de gevonden relaties tussen luchtverontreiniging en gezondheid in de bevolking verder vergroot.

Figuur 1 Relatie tussen lange termijn blootstelling aan fijn stof ($PM_{2.5}$) en sterfte in de grootste Amerikaanse studie (Pope, Burnett et al. 2002).

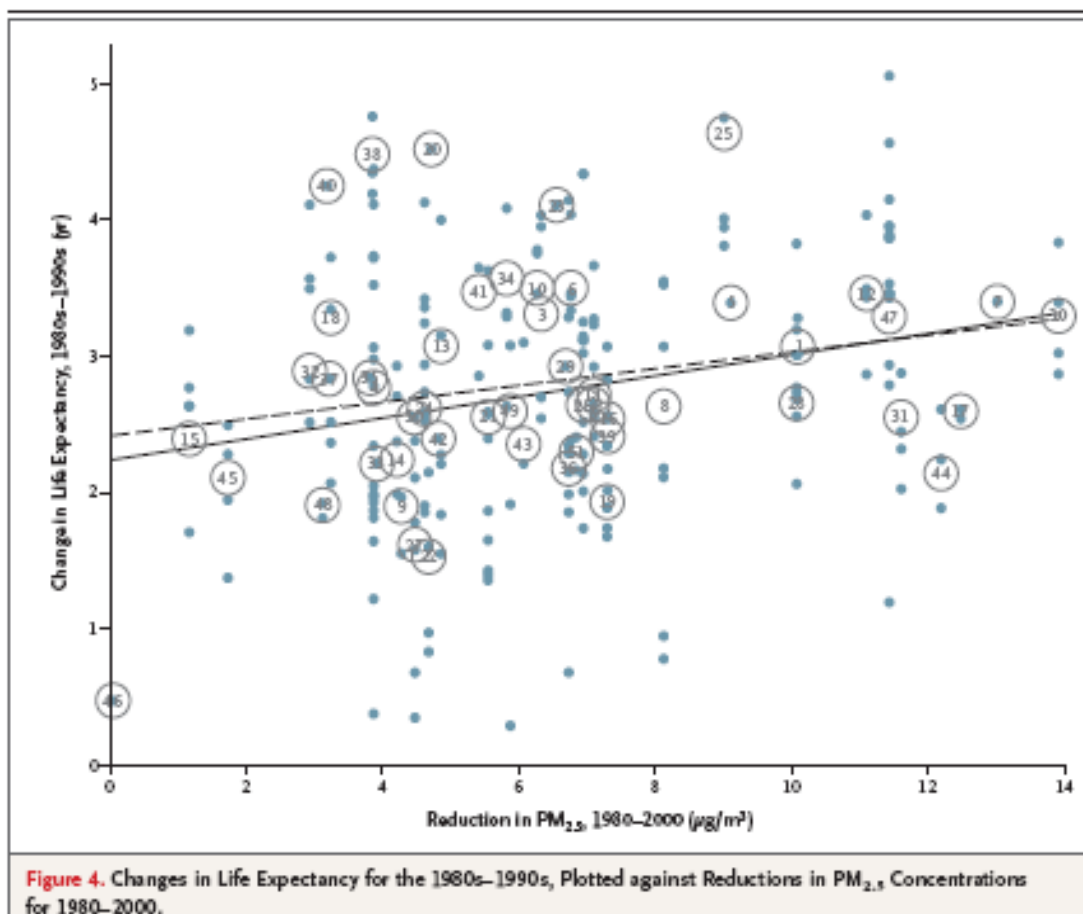


Noot: De verticale as geeft het verschil in risico aan op sterfte t.o.v. de gemiddelde $PM_{2.5}$ concentraties. Bij concentraties lager dan het gemiddelde is dit negatief. De figuur is hier opgenomen om de afwezigheid van een drempelwaarde te illustreren. De EU-norm voor $PM_{2.5}$ is $25 \mu g/m^3$.

Ondanks dat door het milieubeleid de concentraties van de meeste luchtverontreinigende stoffen op leefniveau gedaald zijn in de westerse wereld, worden er toch nog steeds gezondheidseffecten aangetoond. Dit zou de vraag kunnen oproepen of dit beleid wel zin heeft gehad. Een belangrijke recente studie in de Verenigde Staten heeft onderzocht of maatregelen die de concentratie fijn

stof (PM_{2.5}) verlaagd hebben tussen 1980 en 2000 ook tot gezondheidswinst hebben geleid (Pope, Ezzati et al. 2009). Figuur 2 laat zien dat in die gebieden met de grootste verbetering in luchtkwaliteit, de grootste winst in levensverwachting is geboekt. De resultaten zijn daarbij gecorrigeerd voor andere risicofactoren, zoals roken. Verder is duidelijk dat overal in de Verenigde Staten een toename van de levensverwachting optrad, onafhankelijk van de verandering in luchtkwaliteit. Dit is een gevolg van veranderingen in andere risicofactoren (bijvoorbeeld minder roken) en verbeteringen in medische zorg. De auteurs schatten dat de verlaging in PM_{2.5} concentratie verantwoordelijk was voor 15% van de winst in levensverwachting, een substantiële en waarschijnlijke fractie. Het is immers niet te verwachten dat luchtverontreiniging een groter effect op de totale sterfte heeft.

Figuur 2 Relatie tussen vermindering in PM_{2.5} concentratie (1980-2000, horizontale as) en de verandering in levensverwachting (verticale as, jaren) in de Verenigde Staten.



Noot: Elke stip is een Amerikaanse regio.

1.1 Verkeersgerelateerde luchtverontreiniging

Sinds begin jaren '90 zijn een groot aantal studies uitgevoerd naar de invloed van luchtverontreiniging van verkeer en gezondheid van mensen die wonen of naar school gaan nabij drukke wegen. Deze studies zijn uitgevoerd omdat nabij drukke wegen er (sterk) verhoogde concentraties luchtverontreiniging voorkomen. Het gaat dan om stoffen als roet, ultrafijn stof, stikstoddioxide en benzeen. Meer recent is er ook aandacht voor mogelijke effecten bij verkeersdeelnemers.

Diverse studies hebben aangetoond dat wonen of naar school gaan nabij drukke wegen geassocieerd is met negatieve effecten op de gezondheid (WHO,2006; HEI, 2010). In een recente evaluatie door internationale experts werd gesteld dat de meest consistente effecten gevonden zijn voor:

1. het ontstaan van astma bij kinderen;
2. voorkomen van astma bij volwassenen;
3. de verlaging van longfunctie;
4. de sterfte aan hart- en vaatziekten (HEI, 2010).

In Nederland zijn effecten op vervroegde sterfte en longkanker gevonden (Beelen, Hoek et al. 2008). In twee studies bij schoolkinderen die naar school gingen binnen 400 m van een snelweg zijn meer luchtwegziekten en een verlaagde longfunctie gevonden bij de snelwegen met meer vrachtverkeer (Brunekreef, Janssen et al. 1997; Vliet, Knape et al. 1997; Janssen, Brunekreef et al. 2003). Gemiddeld over vier studies in Nederland, Duitsland en Canada, is wonen nabij een drukke weg geassocieerd met 8% hogere sterftcijfers (Hoek, Boogaard et al. 2010).

Al enkele jaren is duidelijk dat verkeersdeelnemers aan hoge concentraties luchtverontreiniging worden blootgesteld. Dit geldt zowel voor automobilisten, fietsers als passagiers van bussen, treinen en metro's. Dit is een gevolg van het feit dat verkeersdeelnemers dicht bij de bron zijn en op vooral tijdstippen reizen met hoge concentraties. Concentraties zijn relatief hoog maar de duur van de blootstelling is kort (1-2 uur) ten opzichte van blootstelling op bijvoorbeeld het woonadres. In het verkeer blijkt onder meer de gekozen route een grote rol te spelen in de mate van

blootstelling (Zuurbier et al. 2010; Strak et al. 2010). Recent zijn er ook een aantal studies verschenen, onder meer in Nederland, waaruit blijkt dat deze hoge maar kortdurende blootstellingen tot negatieve effecten op de luchtwegen kunnen leiden (Zuurbier M, 2011; de Hartog e.a. 2010). De blootstelling aan luchtverontreiniging in het verkeer wordt slecht gekarakteriseerd door metingen op vaste meetlocaties, zoals het Landelijk Meetnet.

Daarnaast dragen emissies uit het verkeer ook bij aan achtergrondconcentraties van luchtverontreinigende stoffen. Dit geldt zowel voor de regionale achtergrond als voor de stadsachtergrond. Een deel van de effecten veroorzaakt door fijn stof in het algemeen is dus ook te wijten aan verkeersemisies. Ditzelfde geldt voor effecten van ozon (van Pul, et al. 2011).

1.2 Veehouderijgerelateerde luchtverontreiniging

De gezondheidseffecten van fijn stof afkomstig uit de veehouderij laten zich niet goed karakteriseren door gemeten concentraties van PM₁₀. Dit komt doordat de veehouderijemissies in samenstelling en deeltjesgrootte sterk afwijken van urbaan stof, wat in de meeste epidemiologische studies is onderzocht. In onderzoek gaat de aandacht vooral uit naar de intensieve veehouderij (IVH) (Dusseldorp, 2008). Omwonenden van IVH bedrijven kunnen blootgesteld worden aan verhoogde concentraties van ammoniak, fijn stof, specifieke componenten van fijn stof (bijv. endotoxinen, afkomstig van Gramnegatieve bacteriën) en micro-organismen (bv MRSA). Ook kan geuroverlast optreden. De veehouderij draagt daarnaast ook bij aan concentraties grof stof en via dieselmotoren ook aan roet. Over gezondheidseffecten van het wonen nabij IVH bedrijven is nog weinig bekend (Dusseldorp, 2008; O'Connor, 2010). Er zijn beperkte aanwijzingen dat klachten van de luchtwegen vaker voorkomen nabij IVH en er zijn enkele studies die suggereren dat de longfunctie mogelijk verlaagd is (Dusseldorp, 2008; O'Connor, 2010; Schulze, 2011; Schinasi, 2011). Een van de beperkingen van de studies was het karakteriseren van blootstelling aan verontreinigende stoffen. Van belang is nog om te vermelden dat buitenlandse studies naar blootstelling aan chemische en biologische agentia en gezondheidseffecten niet zondermeer toe te passen zijn op de Nederlandse situatie omdat bedrijfstypen, management, milieuregelgeving en de gezondheidszorg in sterke mate kunnen verschillen.. Recent is door het IRAS van de Universiteit Utrecht in samenwerking met het

NIVEL onderzoek gedaan naar de invloed van intensieve veehouderijen op blootstelling en mogelijke effecten op vooral luchtwegaandoeningen bij omwonenden gedaan in de provincies Noord-Brabant en Limburg (Heederik en IJzermans, 2011). Uit het onderzoek bleek een meetbaar verhoogde blootstelling aan fijn stof, endotoxinen en micro-organismen in de nabijheid van IVH bedrijven. Uit de gezondheidsanalyse van huisartsgegevens kwamen aanwijzingen naar voren dat nabij IVH bedrijven mensen met bestaand astma meer luchtweginfecties hadden; meer eczeem hadden; meer longontsteking hadden. Daarentegen kwam astma minder voor nabij IVH, consistent met eerder onderzoek waaruit bleek dat astma minder voorkwam bij kinderen die op een boerderij woonden. Samenvattend kan gesteld worden dat er beperkte aanwijzingen zijn dat IVH mogelijk tot gezondheidseffecten bij omwonenden kan leiden, maar dat het niet mogelijk is met de huidige kennis dit nader te kwantificeren. Nader onderzoek is nodig om een meer gefundeerde risicoschatting te maken. Recent is door de minister van Volksgezondheid, Welzijn en Sport aan de Gezondheidsraad gevraagd om voor eind 2012 een beoordeling van de risico's van de veehouderij te maken.

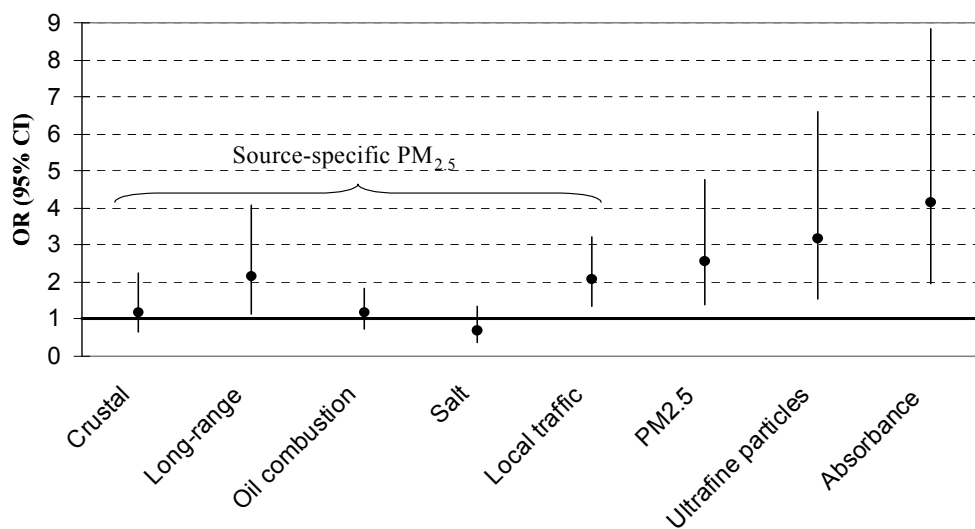
2. Gezondheidsrelevante componenten van het mengsel

Luchtverontreiniging is een complex mengsel van stoffen, veroorzaakt door een scala van bronnen. Voor het beleid is het belangrijk te weten welke stoffen het grootste risico voor de gezondheid met zich meebrengen. Van de stoffen waarvoor nu een luchtkwaliteitsnorm bestaat, zijn in Nederland vooral fijn stof (PM_{10} , $PM_{2.5}$), stikstofdioxide (NO_2) en ozon (O_3) van belang voor de gezondheid (Brunekreef and Holgate 2002). PM_{10} en $PM_{2.5}$ zijn deeltjes kleiner dan 10 respectievelijk 2.5 μm . Kleinere deeltjes kunnen na inademing dieper in de luchtwegen doordringen. Door de sterk gedaalde concentraties is de concentratie zwaveldioxide (SO_2) niet langer een belangrijke indicator voor gezondheidseffecten. Wel is zwaveldioxide een stof waaruit sulfaat deeltjes ontstaan, een belangrijke component van fijn stof. Het blijft daarom ook vanuit het oogpunt van volksgezondheid van belang om zwaveldioxide emissies te reguleren.

Fijn stof (PM_{10}) bestaat uit een complex mengsel van deeltjes afkomstig van verschillende bronnen, zoals het gemotoriseerde verkeer, industrie, ruimteverwarming, scheepvaart, landbouw en meer natuurlijke bronnen zoals zeezout en opwaaiend bodemstof. Afhankelijk van de dominante bron op een locatie, varieert het fijn stof in chemische samenstelling en deeltjesgrootte-verdeling. Toxicologische en epidemiologische studies hebben aangetoond dat dit

de mate van gezondheidseffecten beïnvloed. Figuur 3 en 4 laten zien dat de gezondheidsrisico's van fijn stof verschillen per bron. Twee onderzoeken laten zien dat vooral deeltjes uit verbrandingsprocessen schadelijk zijn, terwijl zeezout en door de wind opgewaaid stof niet schadelijk waren in deze studies (Laden, Neas et al. 2000; Lanki, de Hartog et al. 2006) zie figuur 3 en 4. Uit beide studies blijkt dat naast deeltjes uit het verkeer ook deeltjes uit andere bronnen schadelijk kunnen zijn, te weten lange afstandstransport in een studie en deeltjes uit kolenverbranding uit de tweede studie. Mede op basis van deze studies heeft de Wereldgezondheidsorganisatie vastgesteld dat deeltjes afkomstig van verbrandingsprocessen in brede zin het meest schadelijk zijn (World Health Organization 2006).

Figuur 3 Risico op ischemie (risicofactor voor hartinfarct) en bronnen / componenten fijn stof.



Noot: De verticale as geeft de Odds Ratio (OR), een maat voor het relatieve risico, hier uitgedrukt als de ratio van het optreden van ischemie bij matig hoge versus lage concentraties. De OR van 2 voor Long-range transport deeltjes betekent dat het risico op ischemie 2 maal groter is als de concentratie $7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hoger is. De lijn geeft het betrouwbaarheidsinterval weer. Absorbance is een maat voor roet. Bron: Lanki, 2006.

Figuur 4 Procentueel effect van bronnen van fijn stof op dagelijkse sterfte in zes Amerikaanse steden

	RR	95% betrouwbaarheidsinterval
Stof van bodem	0.98	0.94 – 1.01
Stof van verkeer	1.03	1.02 – 1.05
Stof van kolenverbranding	1.01	1.00 – 1.02

Noot: RR is het relatief risico als de concentratie met $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ toeneemt. Voor verkeer en kolenverbranding bevat het betrouwbaarheidsinterval niet de 1 (geen effect) en is er dus sprake van een statistisch significante toename. Voor opwaaiend bodemstof valt de 1 wel in het betrouwbaarheidsinterval, wat betekent dat er geen statistisch significante relatie is met sterfte in deze studie. Bron: Laden (2000).

Hoewel het dus kwalitatief bekend is dat de samenstelling van stof van invloed is op de optredende gezondheidseffecten, stelde de Wereldgezondheidsorganisatie in 2007 dat het niet eenvoudig is om gezondheidseffecten van specifieke componenten van fijn stof dan wel verschillende bronnen van fijn stof te kwantificeren (WHO, 2007). Inschatting van de risico's van fijn stof gebeurt daarom nog vaak met behulp van de concentratie PM_{10} of $\text{PM}_{2.5}$. Dit is een redelijke benadering als een gemiddelde situatie wordt beoordeeld bijvoorbeeld wat het gezondheidsverlies voor de gehele provincie Noord-Brabant tengevolge van blootstelling aan luchtverontreiniging is. PM_{10} en $\text{PM}_{2.5}$ zijn minder geschikte maten wanneer lokale situaties beoordeeld moeten worden bijvoorbeeld gezondheidsverlies nabij drukke wegen of nabij intensieve veehouderijen. Voor deze situaties kan beter naar andere indicatoren worden gekeken. In de volgende paragrafen zullen de volgende indicatoren besproken worden die een inzicht kunnen geven in de gezondheidseffecten van het complexe mengsel buitenluchtverontreiniging.

- 1 PM_{10}
- 2 $\text{PM}_{2.5}$
- 3 PM_1
- 4 Roet (EC)
- 5 Ultrafijn stof
- 6 Oxidatief potentieel
- 7 NO_2

PM₁₀

De in hoofdstuk 1 beschreven effecten op sterfte en ziekte zijn voor een belangrijk deel toe te schrijven aan fijn stof. Lang is hiervoor de concentratie PM₁₀ gebruikt in onderzoek en normstelling (WHO, 2006). Ondanks het feit dat de samenstelling van stof belangrijk is voor de gezondheidseffecten en er verschillen in samenstelling zijn tussen gebieden, zijn er toch consistente relaties tussen PM₁₀ en diverse gezondheidseffecten gevonden. Er zijn veel studies die hebben aangetoond dat kortdurende (24-48 uur) verhoging van PM₁₀ leidt tot een toename in sterfte aan hart-en vaatziekten en luchtwegziekten, een toename in ziekenhuisopnamen van dezelfde ziekten en een toename in klachten van de luchtwegen bij vooral astmatische kinderen. Er zijn ook studies waarin lange-termijn effecten op sterfte en ziekte zijn aangetoond.

Lang was de gedachte dat vooral deeltjes kleiner dan 2.5 micrometer verantwoordelijk zijn voor de aan fijn stof (PM₁₀) gerelateerde gezondheidseffecten. Meer recent is duidelijk geworden dat ook in de grove stoffractie (deeltjes tussen 2.5 en 10 µm) toxische componenten aanwezig zijn (Brunekreef and Forsberg 2005). De aangetroffen gezondheidseffecten van grof stof zijn vooral gerelateerd aan kortdurende blootstelling. Zeer recent hebben studies in Barcelona en Cyprus effecten van Sahara-stofstormen laten zien (Middleton, Yiallourous et al. 2008). De auteurs speculeren dat dit vermoedelijk een gevolg is van aan grof stof gehechte toxische componenten bijvoorbeeld organische componenten of metalen uit emissies van scheepvaart, tijdens transport over de Middellandse Zee. De gedachte is dus niet dat zanddeeltjes sec gezondheidseffecten teweegbrengen. Er zijn geen aanwijzingen voor effecten van lange termijn blootstelling aan grof stof. Er zijn echter maar weinig studies naar lange termijn blootstelling aan grof stof uitgevoerd. In de grote Amerikaanse studie die veel gebruikt wordt voor risicoschatting van PM_{2.5}, was geen relatie met grof stof aanwezig (Pope, Burnett et al. 2002). Een experimentele studie in ratten bevestigde dat zowel de fijne als de grove stoffractie gezondheidsrelevant is (Gerlofs-Nijland, Dormans et al. 2007). In het grove stof waren elementen afkomstig van slijtage van remmen en banden van belang. In de Verenigde Staten is daarom naast een norm voor fijn stof ook een norm voor grof stof opgenomen. In Europa is ervoor gekozen om zowel een PM_{2.5} als een PM₁₀ norm te hanteren. Recente metingen in Nederland van IRAS lieten zien dat het contrast in concentratie grof stof tussen drukke wegen en stadachtergrond minstens zo groot was als voor uitlaatemissies (roet, ultrafijn stof). Dit illustreert dat met de beperking van de uitlaatemissies relatief de bijdrage

van grof stof belangrijker wordt. In juni 2011 is in Nederland een workshop gewijd aan het probleem van 'non-tailpipe' emissies

(http://www.tno.nl/content.cfm?context=overtno&content=nieuwsbericht&laag1=37&laag2=2&item_id=2011-07-06%2016:44:39.0).

Zoals eerder genoemd zijn PM_{10} en $PM_{2.5}$ minder geschikte maten wanneer zeer specifieke situaties beoordeeld moeten worden bijvoorbeeld gezondheidsverlies nabij drukke wegen of nabij intensieve veehouderij. De verhoging van de concentratie bij een drukke weg is gewoonlijk gering, ten opzichte van de hoge achtergrondbelasting. Recent onderzoek in Nederland in het kader van de evaluatie van de milieuzones heeft aangetoond dat dit ook nu nog geldt in Nederland (Boogaard, 2011). Een geringe verandering van de PM_{10} of $PM_{2.5}$ concentratie geeft dus slechts een beperkte indicatie over de verwachte verandering in gezondheid. Dit geldt zowel voor verhoging van de concentratie (nieuwe bron of bouw van een gevoelige locatie nabij een drukke weg) als vermindering van concentraties (bijvoorbeeld verkeersmaatregelen). Er zijn andere componenten in het stof die meer direct gezondheidsrelevant zijn en grotere contrasten in relatie met gemotoriseerd verkeer geven, zoals roet, organische koolstof, ultrafijn stof of PAK's. PM_{10} en $PM_{2.5}$ blijven wel goede indicatoren voor het verwachte gezondheidsverlies op een grotere ruimtelijke schaal.

$PM_{2.5}$

$PM_{2.5}$ is een onderdeel van PM_{10} . Veel van de onder PM_{10} beschreven effecten zijn ook voor $PM_{2.5}$ beschreven. Daarom is er binnen de EU ook een norm voor $PM_{2.5}$ opgesteld die binnenkort van kracht wordt (2015). Vooral de lange termijn effecten lijken voor een belangrijk deel toe te schrijven aan de $PM_{2.5}$ fractie. Als indicator gelden dezelfde sterke en zwakke punten als voor PM_{10} . Ten opzichte van PM_{10} ontbreekt de grove stoffractie, die als beschreven ook toxische componenten bevat. $PM_{2.5}$ is daarom nog minder dan PM_{10} geschikt om de invloed van lokale bronnen te beschrijven. Vanwege de grote bijdrage van lange afstandstransport, is de $PM_{2.5}$ concentratie moeilijk met gericht regionaal/lokaal beleid te beïnvloeden.

PM1

Soms wordt voorgesteld om in plaats van $PM_{2.5}$ de concentratie PM1 te bepalen (deeltjes kleiner dan 1 micrometer). De motivatie daarvoor is dat deze fractie beter onderscheid maakt tussen de fijne en grove deeltjes. In de $PM_{2.5}$ deeltjes zit nog een staart van de verdeling van grove deeltjes, afkomstig van bijvoorbeeld opwaaiend straatstof. PM1 wordt relatief weinig gemeten en zijn dan ook weinig studies die de specifieke gezondheidseffecten van deze fractie hebben onderzocht. Zeer waarschijnlijk zullen de effecten van PM1 en $PM_{2.5}$ sterk vergelijkbaar zijn. Omdat PM1 ook weinig contrast laat zien nabij verkeer, is het weinig interessant om de stap van $PM_{2.5}$ te maken, waarvoor zeer recent normen zijn vastgesteld. Het is beter om voor additionele maten naar de samenstelling van het stof te kijken.

Roet (elementair koolstof)

In een zeer recente internationale publicatie van het RIVM, IRAS en TNO wordt voorgesteld om naast de indicatoren PM_{10} en $PM_{2.5}$ ook een roetmaat te hanteren voor situaties die gedomineerd worden door verbrandingsemissies zoals bijvoorbeeld nabij drukke wegen (Janssen et al 2011). Nadrukkelijk wordt in het artikel gemotiveerd dat deze roetmaat *aanvullend* dient te worden beschouwd en niet in plaats van de bestaande normen voor PM_{10} en $PM_{2.5}$. In een bijeenkomst van de WHO in mei 2011 werd deze gedachte ondersteund door de aanwezige experts. De WHO zal binnenkort een monograph aan dit onderwerp wijden. In Nederland is op 5 oktober 2011 ook aandacht aan dit onderwerp besteed (organisatie DCMR).

De concentratie roet kan beschreven worden door de concentratie van elementair koolstof. Een eenvoudige maat is de traditioneel gemeten indicator zware rook. Zwarte rook is in het verleden vooral gebruikt als maat voor deeltjes uit kolen verbranding, maar nu is het in Nederland vooral een maat voor dieselroet uit het gemotoriseerde wegverkeer, scheepvaart, industriële bronnen en houtverbranding. In Nederland bleek kortdurend verhoogde blootstelling aan zwarte rook samen te hangen met extra klachten van de luchtwegen, lagere longfunctie en verhoogd medicijngebruik bij kinderen (van der Zee, Hoek et al. 1999) en oudere volwassenen (van der Zee, Hoek et al. 2000) en verhoogde dagelijkse sterfte tengevolge van hart-en vaatziekten en luchtwegziekten (Hoek, Brunekreef et al. 2000). Lange termijn blootstelling aan zwarte rook in Nederland was geassocieerd met een lagere longfunctie en verhoogd voorkomen van astmatische klachten bij

kinderen die naar school gingen binnen 400 meter van een snelweg (Brunekreef, Janssen et al. 1997; van Vliet, Knape et al. 1997; Janssen, Brunekreef et al. 2003). Tenslotte bleek lange termijnblootstelling aan zwarte rook in een grote studie van 120, 000 volwassenen in Nederland samen te hangen met vervroegde sterfte ((Beelen, Hoek et al. 2008) . Ook internationaal is de interesse in zwarte rook of roet als indicator voor gezondheidseffecten groeiende. Een recente publicatie in het gezaghebbende blad the Lancet beschrijft effecten van zwarte rook op sterfte gebaseerd op Nederlandse en buitenlandse studies (Smith, Jerrett et al. 2009). Ook in de grote Amerikaanse studie waarop de PM_{2.5} norm grotendeels is gebaseerd, bleken hogere concentraties elementair koolstof tot vervroegde sterfte te leiden (Smith, Jerrett et al. 2009). Juist voor stedelijk beleid is dit een interessante ontwikkeling omdat de ruimtelijke variatie in de genormeerde stofcomponenten (PM₁₀, PM_{2.5}) gering is tengevolge van de hoge achtergrond. Door toetsing aan PM₁₀ en PM_{2.5} worden vermoedelijk belangrijke variaties in emissies van bijvoorbeeld wegverkeer en scheepvaart gemist. Deze emissies zijn veel beter weerspiegeld in variaties in zwarte rook concentraties zoals in diverse studies in Nederland en buitenland is aangetoond ((Fischer, Hoek et al. 2000; Hoek, Meliefste et al. 2002; Janssen et al. 2011).

Een illustratie van het verschil in beoordeling van de gezondheidseffecten van een hypothetische verkeersmaatregel op basis van PM_{2.5} en EC staat in tabel 1 (Janssen, 2011). Aangenomen wordt dat een maatregel (bijvoorbeeld vermindering van verkeersintensiteit) de PM_{2.5} concentratie met 1 µg/m³ verlaagd. Dit komt overeen met 0.55 µg/m³ roet uitgedrukt in elementair koolstof. Wanneer deze twee veranderingen gekoppeld worden aan uit de literatuur afgeleide relatieve risico's, blijkt dat op basis van PM_{2.5} een veel lagere gezondheidswinst berekend wordt dan op basis van roet. De risico's op basis van roet zijn meer realistisch.

Tabel 1. Vergelijking van het mogelijke effect op levensverwachting tengevolge van reducties in PM_{2,5} en roet

Component	RR ^a	Reductie (µg/m ³) ^b	Toename in levensverwachting per persoon
PM _{2,5}	1.007	1.00	21 dagen
Roet	1.06	0.55	210 dagen

^a RR is relatief risico voor een toename in concentratie van 1 µg/m³

^b Een verkeersmaatregel die deeltjes reduceert in de verhouding die nu langs drukke wegen wordt waargenomen.

Sommigen veronderstellen dat alle gezondheidseffecten aan primair verbrandingsaerosol zijn toe te schrijven. Dit is gebaseerd op experimenteel onderzoek waarbij van zuiver sulfaat en nitraat (componenten van stof die in de atmosfeer worden gevormd uit zwavel- en stikstofdioxide en daarom ook wel met de term secundair aerosol worden aangeduid) bij vrijwilligers geen gezondheidseffecten worden gevonden. Echter, hetzelfde argument geldt ook voor zuiver elementair koolstof (Smith, Jerrett et al. 2009). In epidemiologische studies worden zowel met sulfaat als met zwarte rook relaties gevonden met gezondheid, die aangeven dat zowel het primaire verbrandingsaerosol als het secundaire aerosol mengsel schadelijk kan zijn (Smith, Jerrett et al. 2009). In een recent overzicht van de internationale epidemiologische literatuur blijkt dat sulfaat concentraties consistent geassocieerd zijn met zowel korte termijneffecten als lange termijneffecten op sterfte ((Smith, Jerrett et al. 2009). De grote Amerikaanse studie naar lange termijneffecten (Pope, Burnett et al. 2002) liet zowel relaties tussen primair aerosol (elementair koolstof) als sulfaat zien (Smith, Jerrett et al. 2009). De meest waarschijnlijke verklaring voor de verschillen tussen epidemiologische en toxicologische studies betreft het feit dat in epidemiologisch onderzoek sulfaat een indicator voor een complex mengsel van stoffen is. In het toxicologisch, experimenteel onderzoek wordt de zuivere stof onderzocht, die kennelijk zelf weinig toxisch is. De gevonden gezondheidseffecten met sulfaat ondersteunen beleid om zwaveldioxide (precursor voor sulfaat) emissies te blijven beperken. Voor het stedelijk en regionaal beleid is secundair aerosol minder interessant omdat de ruimtelijke variatie gering is en

weinig beïnvloedbaar door lokaal beleid.

Een stof kan zelf toxisch zijn waardoor gezondheidseffecten optreden. Maar vaak kan een stof een indicatorfunctie hebben waarbij andere stoffen, die niet gemeten worden, gezondheidseffecten veroorzaken.

Ultrafijn stof

Met name uit experimenteel onderzoek komen aanwijzingen dat zeer kleine stofdeeltjes (kleiner dan 0.1 micrometer) gezondheidsschade kunnen veroorzaken. Recent heeft een groep internationale experts in een expert panel zich over de risico's van deze ultrafijne stofdeeltjes uitgesproken (Hoek, Boogaard et al. 2009; Knol, de Hartog et al. 2009). De experts vonden het bewijs voor effecten op sterfte, ziekenhuisopnamen en astma-aanvallen matig tot hoog. De experts hebben ook schattingen van de omvang van de effecten gemaakt op basis van studies. De omvang van het effect van ultrafijn stof op sterfte (3% toename in sterfte per 10 000 deeltjes per cm^3) was in dezelfde orde van grootte als het effect van fijn stof (6% toename in sterfte per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Hoek, Boogaard et al. 2010). Deze toenames zijn zowel voor fijn als ultrafijn stof ongeveer 50% toename ten opzichte van een karakteristieke stadachtergrondconcentratie.

Voor lokaal beleid is ultrafijn stof interessant omdat het grotere locale contrasten in relatie tot verkeer laat zien dan PM_{10} en $\text{PM}_{2.5}$ (Puustinen, Hameri et al. 2007). Een groot nadeel is echter de complexe meetmethode. Daardoor leent het zich minder voor routinematige metingen dan elementair koolstof of zwarte rook. Ook is er minder kennis over effecten op gezondheid dan voor roet, met name wat betreft lange termijn effecten. Recente studies in Utrecht en Amsterdam lieten zien dat het contrast van zwarte rook en ultrafijn stof concentraties tussen een drukke straat en de stadsachtergrond ongeveer gelijk was.

Ultrafijn stof kan zeker geen vervanging van fijn stof als indicator voor het mengsel zijn. Immers, diverse studies laten zien dat de correlatie tussen daggemiddelde concentraties van fijn en ultrafijn stof laag is (de Hartog, Hoek et al. 2005). Ultrafijn stof is dus niet de verklaring van de in studies gevonden effecten van fijn stof. Indien ontwikkelingen in meettechniek het praktisch mogelijk maken, zou het wel een aanvullende parameter kunnen zijn.

Oxidatieve potentieel

Omdat het werkingsmechanisme van fijn en grof stof op de gezondheid waarschijnlijk vooral via oxidatieve stress verloopt, zijn er methoden ontwikkeld om de oxidatieve activiteit van stof te meten (Kunzli, Mudway et al. 2006; Borm, Kelly et al. 2007). In de toekomst zou dit misschien een vervanging van de op massa gebaseerde metingen zoals PM₁₀ en PM_{2.5} kunnen betekenen, omdat het meer aansluit op biologische activiteit. Echter op dit moment zijn er nog teveel problemen met de meetmethode om op korte termijn de techniek in te zetten. Een recente workshop gaf aan dat er diverse technieken bestaan die elk op verschillende componenten van het fijn stof reageren (Ayres, Borm et al. 2008). Ten tweede is er ook nog geen afdoende bewijs dat metingen van oxidatieve potentieel een betere voorspeller van gezondheid is dan de relatief eenvoudige meting van massa (Ayres, Borm et al. 2008). Op dit moment is de techniek dus niet bruikbaar voor praktische toepassing. Nader onderzoek is wel gewenst en momenteel ook gaande in samenwerking tussen Universiteit Utrecht en RIVM.

NO₂

Over stikstofdioxide bestaat een uitgebreide discussie of de stof zelf verantwoordelijk is voor gezondheidseffecten of dat het vooral een indicator is van verbrandingsemissies (World Health Organization 2006). Zeer waarschijnlijk is het vooral een indicator, maar bij hoge concentraties zijn ook directe effecten bij gevoelige personen niet uit te sluiten. Uit experimenten bij astmatische menselijke vrijwilligers blijken effecten op de luchtwegen pas op te treden vanaf uurgemiddelde concentraties boven de 500 µg/m³ en ook dan zijn studies niet consistent. Bij gezonde mensen treden pas effecten bij uurgemiddelde concentraties van enkele 1000-en µg/m³. De WHO concludeert dan ook dat de korte termijnnorm van 200 µg/m³ voldoende bescherming biedt voor de direct effecten van stikstofdioxide. Voor het beleid is de belangrijkste consequentie dat specifieke maatregelen gericht op NO₂ mogelijk niet tot gezondheidswinst kunnen leiden terwijl bredere maatregelen die het gehele mengsel betreffen dit vermoedelijk wel doen. Voor de beoordeling van toekomstige situaties is het belangrijk dat de huidige generatie roetfilters wel de roetconcentraties vermindert, maar de NO₂ concentraties juist verhoogt. Dit komt door oxidatie van afgevangen stof op het filter. De verhouding tussen NO₂ en roet verandert dus in de toekomst. De meeste experts zijn er het over eens dat de afname in roet belangrijker is dan de toename in NO₂, zodat er netto gezondheidswinst zal optreden.

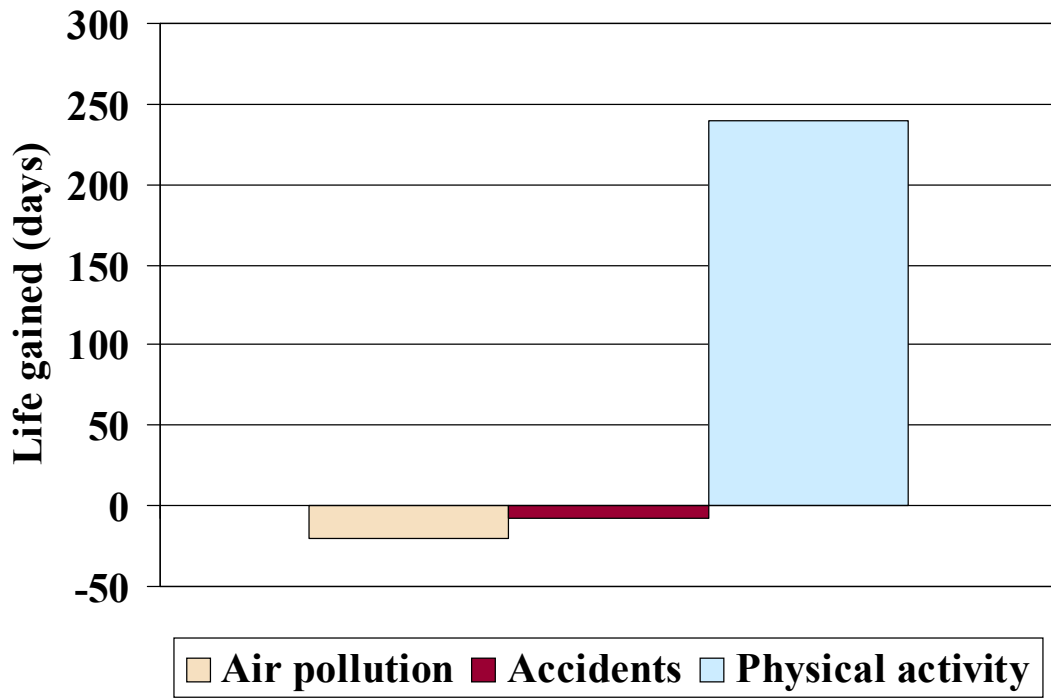
3. Maatregelen

In dit hoofdstuk wordt beknopt ingegaan op gezondheidsoverwegingen met betrekking tot maatregelen.

Een belangrijke overweging is dat zeer specifieke maatregelen die aangrijpen op een specifieke component van het mengsel mogelijk niet tot de gezondheidswinst leiden die verwacht wordt op basis van indicatoren als PM₁₀. Dit geldt bijvoorbeeld voor een maatregel als het beperken van opwaaiend stof door het nat houden van straten. Een ander voorbeeld is het beperken van specifiek NO₂ in verkeersemisies zonder de andere deeltjesvormige componenten te beperken. Omdat de verhouding tussen NO₂ en andere mogelijk schadelijkere componenten van het mengsel veranderd is laat de gezondheidswinst zich niet meer schatten met de veranderde NO₂ concentratie. Dit speelt ook een rol in de discussie over roetfilters, die tot verhoogde NO₂ concentraties kunnen leiden. De meeste experts schatten toch dat de vermindering van roetconcentraties meer gezondheidswinst zal opleveren dan het mogelijk verlies tengevolge van een stijging van de NO₂ concentratie.

Een aantrekkelijke optie om luchtverontreiniging terug te dringen is het stimuleren van actief transport, in Nederland vooral fietsen. Een van de vragen die soms spelen is de risico's voor fietsers op een verkeersongeluk en verhoogde inademing van luchtverontreiniging. Recent studies in Nederland, Engeland en Barcelona laten zien dat voor fietsers de gezondheidsvoordelen van het fietsen ten opzichte van autorijden ruimschoots opwegen tegen de geringe risico's. Figuur 5 laat dit zien voor Nederland.

Figuur 5 Winst en verlies in levensverwachting per persoon door blootstelling van



verkeersdeelnemers aan luchtverontreiniging, ongelukken en lichamelijke activiteit.

Noot: gebaseerd op de Hartog et al. 2010.

4. Conclusie

Alle fracties van fijn stof hebben gezondheidseffecten. Er is geen drempelwaarde voor gezondheidseffecten. Gemotoriseerd verkeer lijkt in de stad de belangrijkste oorzaak van gezondheidseffecten. Gezondheidseffecten zijn aangetoond bij mensen die wonen of naar school gaan nabij drukke wegen. Ook verkeersdeelnemers worden aan hoge concentraties blootgesteld.

De concentratie PM_{10} geeft een duidelijk verband met gezondheidseffecten, maar is als indicator minder geschikt voor de beoordeling van specifieke situaties / lokale bronnen. $PM_{2,5}$ en PM_{10} zijn in dergelijke situaties nog minder geschikt omdat dat mengsel relatief minder toxische deeltjes bevat die wel in PM_{10} zitten.

Voor het monitoren van lokaal/regionaal beleid is vooralsnog roet de meest praktische aanvullende maat voor zwevend stof. Deze maat heeft voor lokaal beleid aanzienlijke meerwaarde ten opzichte van de al genormeerde PM_{10} en $PM_{2,5}$ concentratie. Daarnaast zijn eenvoudige indicatoren zoals afstand tot een drukke weg zinvol als aanvulling op bestaande normen.

Bij de verbetering van luchtkwaliteit is het belangrijk maatregelen niet te richten op één specifieke component van het luchtmengsel.

Het stimuleren van actief transport (fietsen) geeft winst voor luchtkwaliteit en de eigen gezondheid (waarbij effecten van vuile lucht of verkeersongevallen voor de fietser niet opwegen tegen het positieve effect van beweging).

Referenties

- Ayres, J. G., P. Borm, et al. (2008). "Evaluating the toxicity of airborne particulate matter and nanoparticles by measuring oxidative stress potential--a workshop report and consensus statement." *Inhal Toxicol* **20**(1): 75-99.
- Beelen, R., G. Hoek, et al. (2008). "Long-term exposure to traffic-related air pollution and lung cancer risk." *Epidemiology* **19**(5): 702-10.
- Beelen, R., G. Hoek, et al. (2008). "Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study)." *Environ Health Perspect* **116**(2): 196-202.
- Boogaard, H., Kos, G.P.A., Weijers, E.P., Janssen, N.A.H., Fischer, P.H., van der Zee, S.C., de Hartog, J.J., Hoek, G (2011). Contrast in air pollution components between major streets and background locations: Particulate matter mass, black carbon, elemental composition, nitrogen oxide and ultrafine particle number. *Atmospheric Environment* **45** (3), pp. 650-658
- Borm, P. J., F. Kelly, et al. (2007). "Oxidant generation by particulate matter: from biologic ally effective dose to a promising, novel metric." *Occup Environ Med* **64**(2): 73-4.
- Brunekreef, B. and B. Forsberg (2005). "Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health." *Eur Respir J* **26**(2): 309-18.
- Brunekreef, B. and S. T. Holgate (2002). "Air pollution and health." *Lancet* **360**(9341): 1233-42.
- Brunekreef, B., N. A. Janssen, et al. (1997). "Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways." *Epidemiology* **8**(3): 298-303.
- de Hartog, J. J., G. Hoek, et al. (2005). "Relationship between different size classes of particulate matter and meteorology in three European cities." *J Environ Monit* **7**(4): 302-10.
- Dusseldorp A, Sijnesael PCC, et al (2008). Intensieve veehouderij en gezondheid. Overzicht van kennis over werknemers en omwonenden. RIVM rapportnummer 609300006. Bilthoven.
- Fischer, P., G. Hoek, et al. (2000). "Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam." *Atmos Environ* **34**: 3713-3722.
- Gerlofs-Nijland, M. E., J. A. Dormans, et al. (2007). "Toxicity of coarse and fine particulate matter from sites with contrasting traffic profiles." *Inhal Toxicol* **19**(13): 1055-69.
- Heederik DJJ, Ijzermans CJ. Mogelijke effecten van intensieve veehouderij op de gezondheid van omwonenden. IRAS, NIVEL, juni 2011.
- Health effects Institute Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution. 2010. Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects. HEI Special Report 17. Health Effects Institute, Boston, MA
- Hoek, G., H. Boogaard, et al. (2010). "Concentration Response Functions for Ultrafine Particles and All-Cause Mortality and Hospital Admissions: Results of a European Expert Panel Elicitation." *Environ Sci Technol*. **44**: 476 - 482.
- Hoek, G., B. Brunekreef, et al. (2000). "Daily mortality and air pollution in The Netherlands." *J Air Waste Manag Assoc* **50**(8): 1380-9.
- Hoek, G., K. Meliefste, et al. (2002). "Spatial variability of fine particles concentrations in three European areas." *Atmos Environ* **36**: 4077-4088.

- Janssen, N. A., B. Brunekreef, et al. (2003). "The Relationship between Air Pollution from Heavy Traffic and Allergic Sensitization, Bronchial Hyperresponsiveness, and Respiratory Symptoms in Dutch Schoolchildren." *Environ Health Perspect* **111**(12): 1512-8.
- Janssen NA, Hoek G, Simic-Lawson M, Fischer P, van Bree L, Ten Brink H, Keuken M, Atkinson RW, Anderson HR, Brunekreef B, Cassee FR (2011). Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5. *Environ Health Perspect*. **119** (12):1691-9.
- Knol, A. B., J. J. de Hartog, et al. (2009). "Expert elicitation on ultrafine particles: likelihood of health effects and causal pathways." *Part Fibre Toxicol* **6**: 19.
- Kunzli, N., I. S. Mudway, et al. (2006). "Comparison of oxidative properties, light absorbance, total and elemental mass concentration of ambient PM2.5 collected at 20 European sites." *Environ Health Perspect* **114**(5): 684-90.
- Laden, F., L. M. Neas, et al. (2000). "Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities." *Environ Health Perspect* **108**(10): 941-7.
- Lanki, T., J. J. de Hartog, et al. (2006). "Can we identify sources of fine particles responsible for exercise-induced ischemia on days with elevated air pollution? The ULTRA study." *Environ Health Perspect* **114**(5): 655-60.
- Middleton, N., P. Yiallouros, et al. (2008). "A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short-term changes in air pollution and dust storms." *Environ Health* **7**: 39.
- O'Connor AM, Auvermann B, Bickett-Weddle D, Kirkhorn S, Sargeant JM, Ramirez A, Von Essen SG (2010). The association between proximity to animal feeding operations and community health: a systematic review. *PLoS One*. **10**;5(3):
- Pope, C. A., 3rd, R. T. Burnett, et al. (2002). "Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution." *Jama* **287**(9): 1132-41.
- Pope, C. A., 3rd, M. Ezzati, et al. (2009). "Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States." *N Engl J Med* **360**(4): 376-86.
- Puustinen, A., K. Hameri, et al. (2007). "Spatial variation of particle number and mass over four European cities." *Atmos Environ* **41**: 6622-6636.
- Schinasi L, Horton RA, Guidry VT, Wing S, Marshall SW, Morland KB (2011). Air pollution, lung function, and physical symptoms in communities near concentrated Swine feeding operations. *Epidemiology*. **22**(2):208-15.
- Schulze A, Römmelt H, Ehrenstein V, van Strien R, Praml G, Küchenhoff H, Nowak D, Radon K (2011). Effects on pulmonary health of neighboring residents of concentrated animal feeding operations: exposure assessed using optimized estimation technique. *Arch Environ Occup Health*. **66**(3):146-54.
- Smith, K. R., M. Jerrett, et al. (2009). "Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants." *Lancet*.
- van Pul WAJ, Fischer PH, et al. Dossier ozon 2011. Een overzicht van de huidige stand van kennis over ozon op leefniveau in Nederland. RIVM rapportnummer 680151001. Bilthoven.
- van der Zee, S., G. Hoek, et al. (1999). "Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic respiratory symptoms." *Occup Environ Med* **56**(12): 802-12.
- van der Zee, S. C., G. Hoek, et al. (2000). "Acute effects of air pollution on respiratory health of 50-70 yr old adults." *Eur Respir J* **15**(4): 700-9.

- van Vliet, P., M. Knape, et al. (1997). "Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways." Environ Res 74(2): 122-32.
- Vliet, P. v., M. Knape, et al. (1997). "Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways." Environ Res 74: 122-132.
- World Health Organization (2006). "Systematic review of air pollution, a global update."
- WHO, 2007. Health relevance of particulate matter from various sources. Report on a WHO workshop Bonn, Germany 26–27 March 2007. World Health Organization Europe, Copenhagen, Denmark.