



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Ultrafijnstof en gezondheid

Ultrafijn stof en gezondheid

Ultrafijn stof en gezondheid

3

Uit metingen langs drukke wegen blijkt dat uit de uitlaat van auto's veel hele kleine deeltjes stof komen, oftewel fijn en ultrafijn stof. Fijn stof zijn in de lucht zwevende deeltjes die kunnen worden ingeademd. De overheid heeft grenswaarden voor fijn stof opgesteld om de nadelige gezondheidseffecten te kunnen beheersen. Deze grenswaarden zijn vastgesteld voor deeltjes die kleiner zijn dan 10 en 2,5 micrometer, respectievelijk aangeduid als PM_{10} en $PM_{2,5}$. Daarnaast komen er nog veel kleinere deeltjes voor, welke we ultrafijn stof noemen. Door een gebrek aan kennis over de gezondheidseffecten en beperkingen in meetmethoden is er (nog) geen grenswaarde voor ultrafijn stof.

In de wetenschap en media is er steeds meer aandacht voor deze allerkleinste stofdeeltjes en de effecten hiervan op onze gezondheid. Ultrafijn stof komt bij inademing diep in de longen terecht. In vergelijking met grotere stofdeeltjes, worden de kleinere deeltjes minder snel opgeruimd door het lichaam. De deeltjes zijn zo klein dat ze ook via de longen in de bloedbaan kunnen doordringen en zo andere organen kunnen bereiken. Het is dan ook begrijpelijk dat er zorg bestaat over chronische gezondheidseffecten door langdurige blootstelling aan ultrafijne stofdeeltjes. Op dit moment is echter nog te weinig bewijs om dit vast te stellen. Omdat metingen van ultrafijn stof in de lucht nog niet standaard of structureel worden uitgevoerd, is de blootstelling van de mens aan ultrafijn stof lastig in te schatten.

In opdracht van de directie Klimaat, Lucht en Geluid van het ministerie van Infrastructuur en Milieu heeft het RIVM deze brochure samengesteld waarin de actuele kennis op een rij worden gezet. Wat is ultrafijn stof eigenlijk, waar komt het vandaan en hoe meet je het? Ook wordt dieper ingegaan op de gezondheidseffecten van ultrafijn stof: wat is er bekend en wat is nog onzeker?

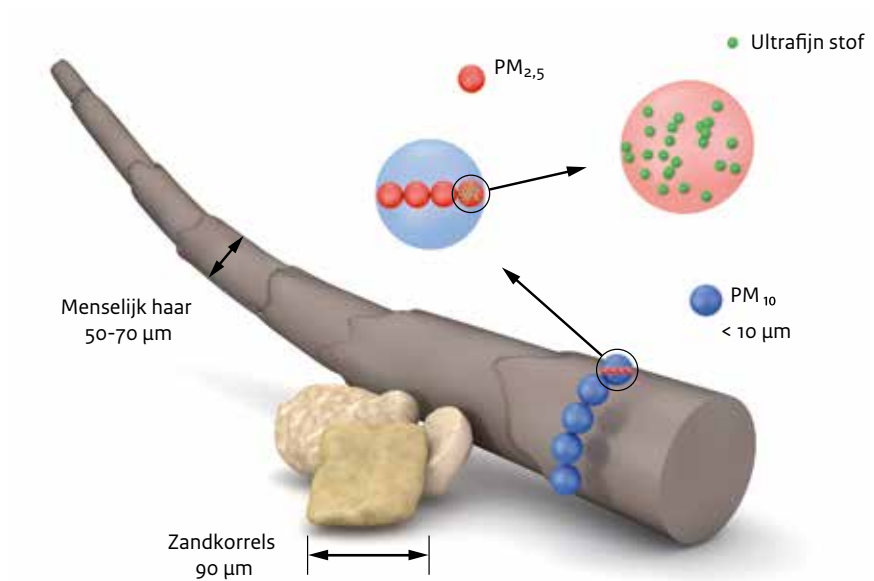
Effecten van ultrafijn stof op het klimaat worden hier buiten beschouwing gelaten. Meer informatie over fijn stof, vindt u op http://www.rivm.nl/Onderwerpen/F/Fijn_stof.

Inhoud

1	Introductie	6
1.1	Wat is ultrafijn stof?	7
1.2	Wat is het verschil tussen ultrafijn stof en roet?	9
2	Hoe kun je ultrafijn stof meten?	10
2.1	Meetmethoden	11
2.2	Metingen in Nederland	12
2.3	Beschermen zonder wetenschappelijk onderbouwde grenswaarden	14
2.4	Metingen in het buitenland	16
2.5	Resultaten van metingen	16
2.5.1	Welke bronnen dragen bij?	16
2.5.2	Wat is de bijdrage aan ultrafijn stof door motorvoertuigen?	18
2.5.3	Zijn er normen voor ultrafijn stof?	19
3	Is ultrafijn stof schadelijk voor de gezondheid?	20
3.1	Toxicologisch onderzoek	21
3.2	Studies met vrijwilligers	22
3.3	Bevolkingsonderzoek	22
4	Hoe nu verder?	24
	Referenties	25

Introductie

Stof in de lucht bestaat uit deeltjes van uiteenlopende groottes. De term ‘fijn stof’ wordt vaak gebruikt om deze deeltjes aan te duiden, afgekort tot PM_{10} . Met PM_{10} worden deeltjes met een afmeting kleiner dan 10 micrometer bedoeld. Binnen PM_{10} onderscheiden we nog fijnere deeltjes, namelijk deeltjes die kleiner zijn dan 2,5 micrometer ($PM_{2,5}$). Ultrafijn stof is het bestanddeel van fijn stof met de allerkleinste afmeting: kleiner dan 0,1 micrometer (μm) ofwel 100 nanometer (nm). De afmeting van ultrafijn stof ten opzichte van $PM_{2,5}$ en PM_{10} is weergegeven in figuur 1. De Europese luchtkwaliteitsnormen voor $PM_{2,5}$ en PM_{10} zijn vooral effectief om het aantal grotere deeltjes in de lucht terug te dringen. Door een gebrek aan kennis over de gezondheidseffecten, beperkingen in meetmethoden en het ontbreken van consensus over wat ultrafijn stof nu precies is, is er geen aparte norm voor ultrafijn stof.



Figuur 1: Afmeting van ultrafijn stof ten opzichte van $\text{PM}_{2.5}$ en PM_{10} . In één PM_{10} deeltje (blauw) passen vier $\text{PM}_{2.5}$ deeltjes (rood). In één $\text{PM}_{2.5}$ deeltje passen in de lengte tenminste 25 ultrafijne deeltjes (groen). In werkelijkheid passen er veel meer ultrafijne deeltjes in, omdat het bolvormig is.

7

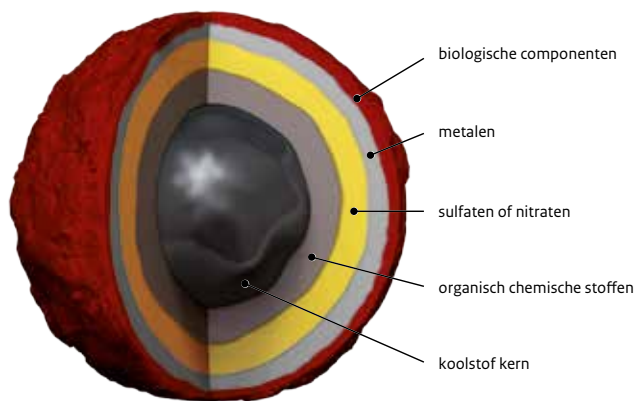
1.1 Wat is ultrafijn stof?

Officieel worden deeltjes die kleiner zijn dan 100 nanometer ultrafijn stof genoemd. Kleine deeltjes met afmetingen tussen de 1 en 100 nanometer, worden ook wel nanodeeltjes genoemd. Voor buitenluchtmetingen wordt altijd de overkoepelende term 'ultrafijn stof' gebruikt.

Ultrafijn stof komt vrij bij verbrandingsprocessen¹, zoals bij het stoken van hout, afvalverbranding, uitstoot van auto's of het opstijgen en landen van een vliegtuig. Ook kan het worden gevormd door chemische reacties uit gassen onder invloed van licht².

De hoeveelheden ultrafijn stof in de lucht komen niet alleen vrij bij menselijke activiteiten. Altijd is een bepaalde hoeveelheid ultrafijn stof in de lucht aanwezig door chemische reacties in de atmosfeer en afkomstig van natuurlijke bronnen zoals vulkanen. Hoe dichterbij de bron, hoe meer ultrafijn stofdeeltjes worden gemeten.

Stofdeeltjes die vrijkomen bij verbrandingsprocessen zijn vaak opgebouwd uit meerdere bestanddelen. De kern bestaat uit koolstof en daarop bevinden zich tal van stoffen zoals zouten (sulfaten en nitraten), metalen of restanten van biologische oorsprong, zoals bacterieresten (figuur 2).



8

Figuur 2: Een schematisch voorbeeld van de samenstelling van een stofdeeltje met een koolstofkern en daaromheen verschillende andere anorganische (metalen, sulfaten, nitraten), organische stoffen en biologische componenten. In werkelijkheid zijn de lagen niet als zodanig te onderscheiden.

1.2 Wat is het verschil tussen ultrafijn stof en roet?

In de praktijk wordt ultrafijn stof meestal in één adem genoemd met roet. De termen worden ook vaak door elkaar heen gebruikt. Er is echter een verschil, wat vooral gebaseerd is op de meetmethode. Roetdeeltjes zijn restproducten van (onvolledige) verbranding van koolstofhoudende brandstoffen, zoals hout, gas, kolen, benzine of dieselolie. Ze kunnen qua omvang groter zijn dan ultrafijn stof. Roetdeeltjes zijn een mengsel van pure koolstofdeeltjes en organische verbindingen (moleculen die naast koolstof ook zuurstof en waterstof bevatten). Ultrafijn stof kan ook andere stoffen bevatten, zoals deeltjes die gevormd worden uit gasmoleculen in de lucht (sulfaat). Ook kunnen er ultrafijne deeltjes vrijkomen bij het smelten van metaal of lassen. Daarnaast komt ultrafijne stof ook in de lucht als gevolg van slijtage van metalen onderdelen, zoals bovenleidingen van treinen of remmen van auto's. Het meeste ultrafijne stof komt echter vrij bij verbranding (houtvuren, industrie, motoren, kookdampen of sigarettenrook).

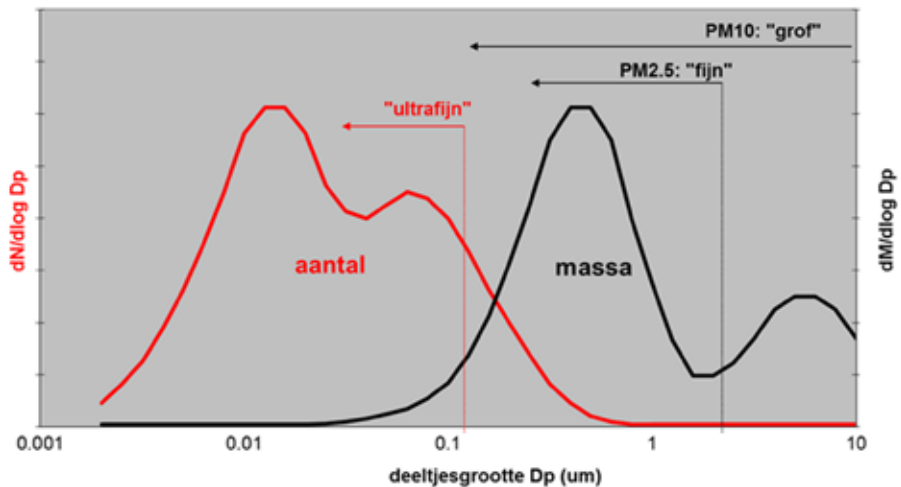
De massa van roetdeeltjes werd in het verleden gemeten door de zwarting van de deeltjes op een filter te bepalen, de zogenoemde "zwarte rook"-methode. De zwarting werd dan omgerekend naar een massa via een ijklijn. Tegenwoordig wordt het aandeel van koolstof gebruikt als maat voor de massa van roet. Roet bevat veel ultrafijne deeltjes. Het grootste deel van de massa van roet zijn deeltjes tussen de 100 en 300 nm. Zelfs als maatregelen zijn genomen om uitstoot van roet uit een bron te voorkomen, kan er nog steeds ultrafijn stof worden gemeten. Dit komt omdat ultrafijne deeltjes ook uit gassen die uit de uitlaat komen ontstaan. Wanneer roet wordt gemeten met de mate waarin het licht absorbeert, worden ook andere deeltjes zoals ijzer hierin meegenomen.

Met roet wordt dus een ander deel van fijn stof beschreven dan met ultrafijn stof: ultrafijn stof bevat roet maar ook andere stoffen, terwijl roet wat betreft grootte ook deeltjes bevat die groter zijn dan wat we ultrafijn stof noemen.



Hoe kun je ultrafijn stof meten?

Door de kleine afmeting draagt ultrafijn stof zeer weinig bij aan de totale massa van stoffen die zorgen voor luchtverontreiniging. Meten op basis van alleen een gewichtsmaat is mogelijk niet optimaal om de relatie met gezondheidsrisico's van ultrafijn stof te beschrijven. Het meten van aantallen deeltjes kan een goed alternatief zijn. Wanneer wordt gekeken naar de aantallen deeltjes in de buitenlucht dan zien we dat deze in veel grotere aantallen voorkomen in de fractie ultrafijn stof ten opzichte van fijn stof (PM_{10} , $PM_{2,5}$). Wanneer die zelfde deeltjes gemeten worden als de massa in de lucht, dan is fijn stof dominant en stelt de massa van ultrafijn niet zoveel voor (figuur 3).



11

Figuur 3: Het aantal deeltjes (rode lijn) en de massa (zwarte lijn) van fijn stof in de buitenlucht in relatie tot de deeltjesgrootte in micrometer (μm).

2.1 Meetmethoden

Er zijn verschillende meetmethoden waarmee informatie wordt verkregen over de hoeveelheid massa van het stof in de lucht, het aantal deeltjes, de deeltjesgrootte, de samenstelling en het oppervlakte van de deeltjes. Enkele methoden worden hierna verder beschreven.

De Condensation Particle Counter

De Condensation Particle Counter (CPC, totale deeltjes teller) wordt veel gebruikt om aantallen deeltjes te bepalen. De CPC meet met behulp van een lasertechniek. Strikt genomen meet je hier ook grote deeltjes mee, maar die dragen in aantallen nauwelijks bij aan het totaal (zie ook figuur 3).

Scanning Mobility Analyser

Een CPC-meting zegt nog niets over de oorspronkelijke grootte van de getelde deeltjes. Door de CPC te koppelen aan de Scanning Mobility Analyser, is het mogelijk om te bepalen hoeveel deeltjes van een bepaalde afmeting er zijn. Op deze manier kunnen stofdeeltjes met een afmeting tussen de 3 en 1.000 nanometer gemeten worden.

Impactoren

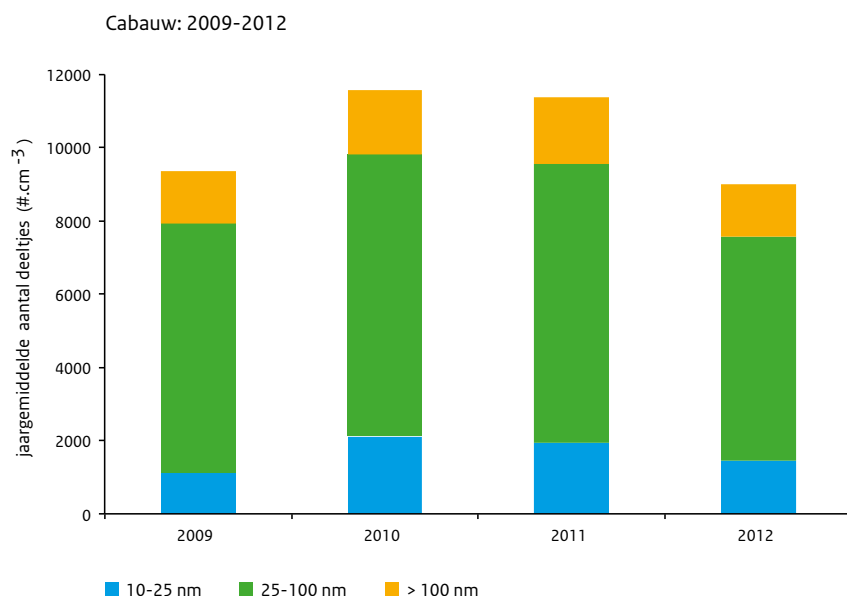
Met behulp van impactoren kan (ultra)fijn stof uit de lucht worden gehaald en verzameld worden op filters. Impactoren is een ander woord voor neerslaan. Een luchtstroom met

deeltjes wordt via gaatjes met grote snelheid loodrecht naar een filter geleid. Daar maakt de luchtstroom een bocht van 90 graden. Deeltjes die door hun gewicht de bocht niet halen, slaan neer. Voor scheiding is per deeltjesgrootte een andere snelheid nodig; voor de kleinste deeltjes de hoogste snelheid. Vervolgens kan de hoeveelheid neergeslagen stof worden gewogen en geeft een chemische analyse informatie over de samenstelling.

Het is niet bekend welke informatie over ultrafijn stof het meest waardevol is om inzicht te krijgen in de blootstelling van mensen aan ultrafijn stof. Daarom wordt er bij metingen vaak gekozen om meerdere apparaten te gebruiken die werken met verschillende meetmethoden om zoveel mogelijk informatie te verzamelen.

2.2 Metingen in Nederland

In de atmosfeer is altijd een bepaalde concentratie van ultrafijn stof aanwezig. In de afgelopen vier jaar zijn aantallen deeltjes door TNO gemeten met behulp van een meetmast bij Cabauw (een dorp in de provincie Utrecht). Dit geeft inzicht in de achtergrondconcentraties in Nederland. In totaal is er meer dan 30000 uur gemeten. Hiermee zijn uurgemiddelde concentraties van ultrafijne deeltjes bepaald. De deeltjes zijn gegroepeerd in drie grootte klassen: 10-25 nanometer (nm), 25-100 nm en groter dan 100 nm en weergegeven in figuur 4.

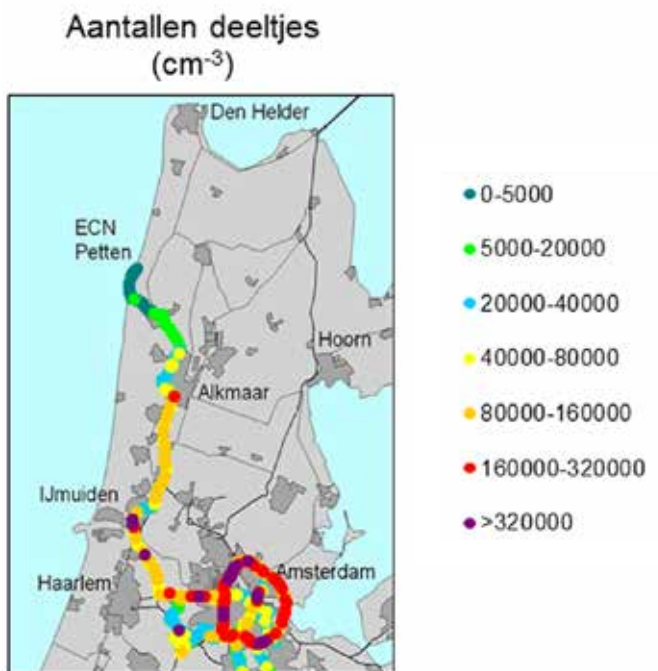


Figuur 4: Het gemiddelde aantal deeltjes voor de periode 2009-2012 bij Cabauw (bron: TNO).

Het gemiddelde aantal deeltjes bij Cabauw in de periode 2009-2012 was zo'n tienduizend deeltjes per kubieke centimeter. Een meetperiode van vier jaar is nog te kort om nu uitspraken te kunnen doen over een eventuele daling of stijging van het aantal ultrafijne deeltjes aanwezig in de Nederlandse lucht.

Er worden in Nederland geen dagelijkse metingen verricht naar de hoeveelheid ultrafijn stof in de lucht, zoals dat wel gebeurt voor $PM_{2.5}$ en PM_{10} binnen het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Er worden wel incidentele metingen uitgevoerd, bijvoorbeeld binnen Europese projecten en door instituten als het IRAS (Instituut voor Risk Assessment van de Universiteit Utrecht), het ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland), TNO, GGD'en en Rijkswaterstaat. Een voorbeeld van een dergelijke meting betreft de aantallen ultrafijne stofdeeltjes op een verkeersweg in Noord-Holland (figuur 5).

13



Figuur 5: Metingen van ECN met een totale deeltjesteller geven het aantal ultrafijn stofdeeltjes op een verkeersweg aan.

2.3 Beschermen zonder wetenschappelijk onderbouwde grenswaarden

Ondanks dat er geen wettelijke grenswaarde is voor ultrafijn stof, kunnen er wel voorzorgsmaatregelen worden bedacht (zie Casus Rijkswaterstaat). Zo heerst er vanuit een arbeidsomgeving onduidelijkheid over veilige maximale hoeveelheden van bewust gefabriceerde nanodeeltjes, waaraan een persoon via de lucht kan worden blootgesteld. De samenstelling van nanodeeltjes zal verschillen van de ultrafijne deeltjes in de buitenlucht, maar ze hebben ruwweg dezelfde grootte en zijn daarmee met standaard meetapparatuur (zie 2.1) niet van elkaar te onderscheiden. Daarom zijn er zogenaamde “tijdelijke nano-referentiewaarden” opgesteld in Nederland in navolging van het Verenigd Koninkrijk en Duitsland³. Hoewel dit geen zekerheid geeft over veiligheid kunnen deze waarden wel als pragmatische richtwaarden worden gebruikt om de blootstelling van werknemers te beperken. Het blijft daarom belangrijk om de blootstelling van werknemers aan nanodeeltjes, zo laag mogelijk te houden. Vanuit de arbeidsomgeving wordt opgeroepen om zo snel mogelijk voldoende kennis te ontwikkelen om specifieke gezondheidskundige grenswaarden vast te stellen die de gezondheid van werknemers daadwerkelijk beschermen, wat aangeeft dat ook voor de buitenlucht meer duidelijkheid gewenst is over de mogelijke nadelige invloeden van ultrafijn stof op de gezondheid.

Casus Rijkswaterstaat

De weginsecteurs bij Rijkswaterstaat zijn minimaal 80% van de werkdag aanwezig op de Rijksweg, voor beheerstaken en een goede doorstroming van het wegverkeer. Het werk vindt plaats binnen en buiten de auto en vaak op drukke verkeerspunten. Deze medewerkers worden dus iedere werkdag blootgesteld aan luchtverontreiniging van het wegverkeer.



Uit onderzoek van Rijkswaterstaat waarbij metingen zijn verricht (in samenwerking met de ArboUnie, het RIVM en andere organisaties) blijkt dat het opnieuw laten circuleren van de binnenlucht in auto's snel leidt tot een aanzienlijke vermindering van ultrafijne stofdeeltjes in de auto. Gewoon de recirculatieknop indrukken dus. Ook zijn verbeterde interieurfilters voor de auto's ontwikkeld. De gemiddelde blootstelling van weginsecteurs aan ultrafijn stof is door toepassing van deze techniek afgenomen, maar we zijn er nog niet. Het management van Rijkswaterstaat heeft de opdracht alert te blijven op ontwikkelingen en te blijven streven naar een zo laag mogelijke blootstelling aan luchtverontreiniging bij de medewerkers [bron: Rijkswaterstaat].

2.4 Metingen in het buitenland

Sinds eind 2008 bestaat in Duitsland het Ultrafijn Aerosol Netwerk (GUAN), een netwerk dat is ontworpen voor structurele metingen^{4,5}. Naast aantallen ultrafijne stofdeeltjes en grootteverdelingen, worden ook roet en de chemische samenstelling gemeten.

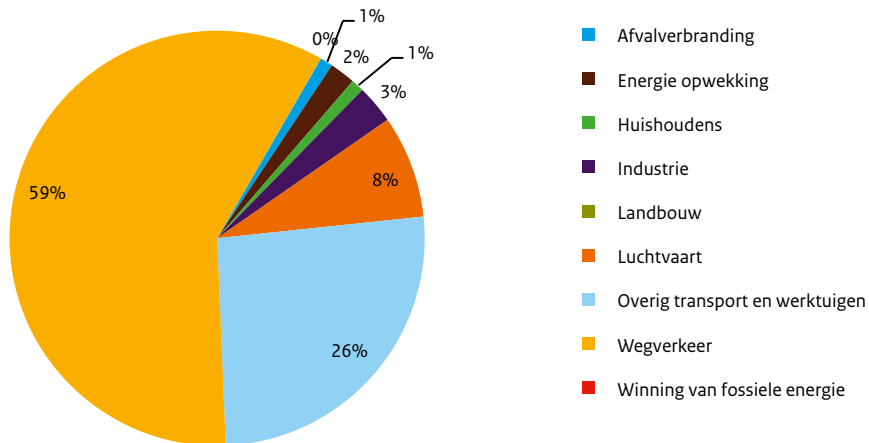
Deze metingen zijn aanvankelijk op zeven verschillende locaties uitgevoerd, waaronder een locatie met veel verkeer (Leipzig), twee stedelijke locaties in woongebieden (Augsburg en Leipzig), twee landelijke locaties (Bösel en Melpitz) en twee locaties in de bergen (Hohenpeißenberg en Schauinsland). Inmiddels is dit uitgebreid tot 12 stations. Uit de metingen bleek dat op drukke verkeerslocaties, ten opzichte van schone berglucht, de hoeveelheid ultrafijne stofdeeltjes 30 maal hoger kunnen zijn op drukke verkeerslocaties. Dit is vergelijkbaar met de contrasten die in Nederland kunnen voorkomen tussen verkeersdrukke en verkeersarme locaties (zie figuur 5). Het aantal gemeten ultrafijne deeltjes neemt toe van een landelijk of bergachtig gebied tot aan een stedelijke omgeving en een locatie met intensief verkeer.

Verder worden er in diverse Europese landen op ad hoc basis metingen verricht en zijn geen structurele metingen beschikbaar. De Europese projecten ULTRA en RUIPIOH⁶, waarvoor ultrafijn stof is gemeten, zijn afgerond. Hierbij is ultrafijn stof slechts op één locatie in Amsterdam gemeten. Dit illustreert dat kennis over blootstelling aan ultrafijn stof heel beperkt is en daarmee ook kennis over de ernst en omvang voor de gezondheid. In het kader van het Europese project Joint Air Quality Initiative (JOAQUIN)⁷ zijn in april 2013 nieuwe metingen aan ultrafijne deeltjes van start gegaan in Nederland (Amsterdam), Vlaanderen (Antwerpen) en Engeland (Leicester). De metingen op deze locaties worden gevalideerd door een rondrijdende meetwagen. Er wordt in het JOAQUIN-project niet alleen gemeten, maar ook worden door middel van berekeningen kaarten geproduceerd met de verdeling van hoeveelheden ultrafijne deeltjes over het Noordwestelijk deel van Europa.

2.5 Resultaten van metingen

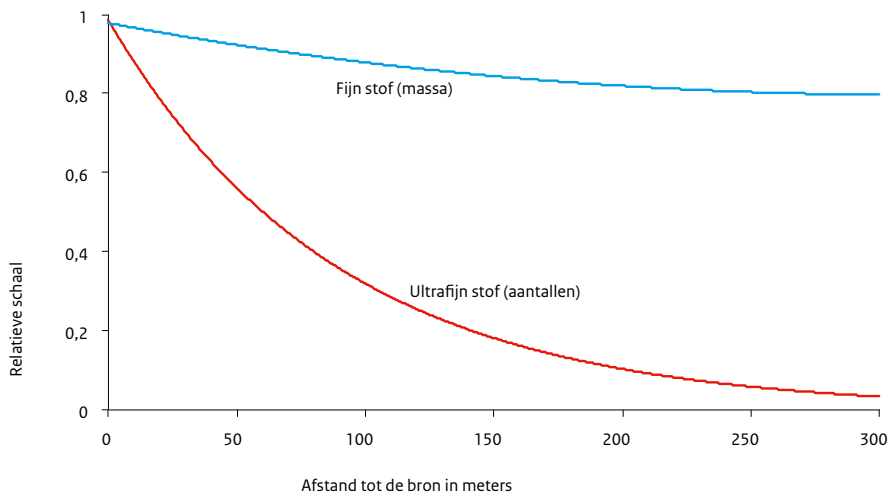
2.5.1 Welke bronnen dragen bij?

Bronnen die vooral bijdragen aan de aanwezigheid van ultrafijn stof in de lucht zijn verbrandingsprocessen van hout, fossiele brandstof of andere biomassa, (huis)verwarming en koken. Daarnaast wordt zogenaamd secundair ultrafijn stof gevormd bij chemische reacties van deeltjes of gassen in de atmosfeer, al dan niet onder invloed van zonlicht. Bronnen kunnen dus primair of secundair bijdragen en er is een onderscheid tussen natuurlijke en menselijke bronnen. Het is niet bekend in welke verhoudingen de primaire en secundaire bronnen bijdragen aan het totaal van ultrafijn stof. Gemaakte schattingen geven de uitstoot van diverse bronnen in Nederland weer (figuur 6).



Figuur 6: Verdeling van aantallen deeltjes door verschillende bronnen in Nederland in 2005 (bron: TNO).

De resultaten laten zien dat de emissie (uitstoot) uitgedrukt in aantallen deeltjes wordt gedomineerd door wegverkeer met circa 60% van het totaal. Voor de overige bronnen geldt dat ander transport, zoals luchtvaart, binnenvaart en mobiele werktuigen (met dieselmotoren), het meest voorkomen in de resterende 40%. Ook in omliggende landen is wegverkeer de meest voorkomende bron voor de emissie van aantallen deeltjes. Nederland wijkt iets af van andere landen, omdat er nagenoeg geen huishoudens zijn die op hout of kolen stoken, anders dan een open haard voor sfeerverwarming. Voor fijn stof (PM_{10}) heeft de afstand tot de bron minder grote invloed op de hoeveelheid deeltjes in de lucht dan bij ultrafijn stof (figuur 7). Voor ultrafijn stof is op 200-300 meter afstand van de bron een sterke afname in de concentraties te zien. Een verklaring hiervoor is dat de ultrafijne deeltjes samenklonteren en zo grotere deeltjes vormen, die qua afmeting niet meer onder ultrafijn stof vallen. Voor fijn stof neemt de concentratie veel geleidelijker af bij een grotere afstand tot de bron.



Figuur 7: Voorbeeld hoe de hoeveelheid ultrafijn stof en fijn stof kunnen afnemen naarmate de afstand tot de bron groter wordt. Het gaat hier om concentraties van ultrafijn stof en totaal fijn stof ten opzichte van de achtergrondconcentraties.

2.5.2 Wat is de bijdrage aan ultrafijn stof door motorvoertuigen?

De aantallen ultrafijn stofdeeltjes variëren op verschillende tijdstippen op een dag. In de ochtend is er een piek te zien vanwege meer verkeer in de ochtendspits. De piek in de namiddag wordt veroorzaakt door chemische reacties in de atmosfeer, al dan niet onder invloed van zonlicht in combinatie met de avondspits. In de zomer verdunnen uitlaatgassen gedurende de dag makkelijker met hogere luchtlagen door opstijging van warme lucht, maar dan is wel het aandeel door chemische reacties onder invloed van zonlicht relatief hoog. Dit laatste leidt meestal tot schadelijker ultrafijn of fijn stof. Uiteraard is ook de windsnelheid van invloed op de aantallen deeltjes: meer wind zorgt voor verdunning.

2.5.3 Zijn er normen voor ultrafijn stof?

Op dit moment zijn er geen luchtkwaliteitsnormen die zich op ultrafijn stof richten. Wel zijn er emissie-eisen (zogenaamde Euro-normen) opgesteld om vervuiling door motorvoertuigen te beperken. Hiermee worden al jarenlang eisen gesteld aan de emissie van onder andere koolmonoxide, stikstofoxiden en fijn stof afkomstig van vrachtverkeer en personenauto's. Elk voertuig dat voor het eerst in een EU-lidstaat wordt geregistreerd, moet een Europese typegoedkeuring ondergaan. Deze wordt in Nederland door de RDW afgegeven. Tijdens de Europese typegoedkeuring wordt onderzocht of het voertuig aan de Euro-normen voldoet. Op dit moment gelden voor personenauto's de eisen Euro 5/6, welke zijn vastgelegd in het EU-voorschrift 715/2007⁸. Tot voor kort waren de emissie-eisen vooral gebaseerd op de uitgestoten massa van de verontreinigende stoffen. De Euro 5/6 standaard omvat nu ook een deeltjesaantallen grenswaarde van 6×10^{11} deeltjes per gereden kilometer voor diesel en direct ingespoten benzinemotoren. Voor vrachtwagens en bussen gelden deze nieuwe typekeuringen sinds 31 december 2012. Vanaf 31 december 2013 moeten alle nieuw verkochte vrachtwagens en bussen aan de Euro VI norm voldoen. Uiterlijk in september 2014 gaat deze deeltjesaantallen grenswaarde van kracht voor personenauto's. Deze grenswaarden hebben voornamelijk betrekking op ultrafijn stof.

Is ultrafijn stof schadelijk voor de gezondheid?

Blootstelling aan ultrafijn en fijn stof vindt sinds mensenheugenis plaats. Wel is het zo dat de samenstelling van ultrafijn stof en de concentraties in de loop der jaren zijn veranderd. En lijkt het er op dat een afname van de blootstelling aan ultrafijn stof, net als voor fijn stof, een verbetering van de gezondheid op zal leveren.

Dat de huidige hoeveelheden ultrafijn stof in de buitenlucht tot nadelige gezondheidseffecten kunnen leiden, is niet uit te sluiten. Voor overtuigend bewijs is een combinatie van gegevens gewenst uit studies met vrijwilligers, proefdieren, en bevolkingsonderzoek met lagere concentraties ultrafijn stof, zoals die voorkomen in de buitenlucht. Welke effecten en in welke mate deze optreden, wordt wereldwijd onderzocht. Het betreft vooral toxicologisch onderzoek onder goed gespecificeerde condities. Bevolkingsonderzoek is door het ontbreken van meetgegevens niet goed mogelijk en kan zich nu alleen baseren op schattingen van de blootstelling via computermodellen.

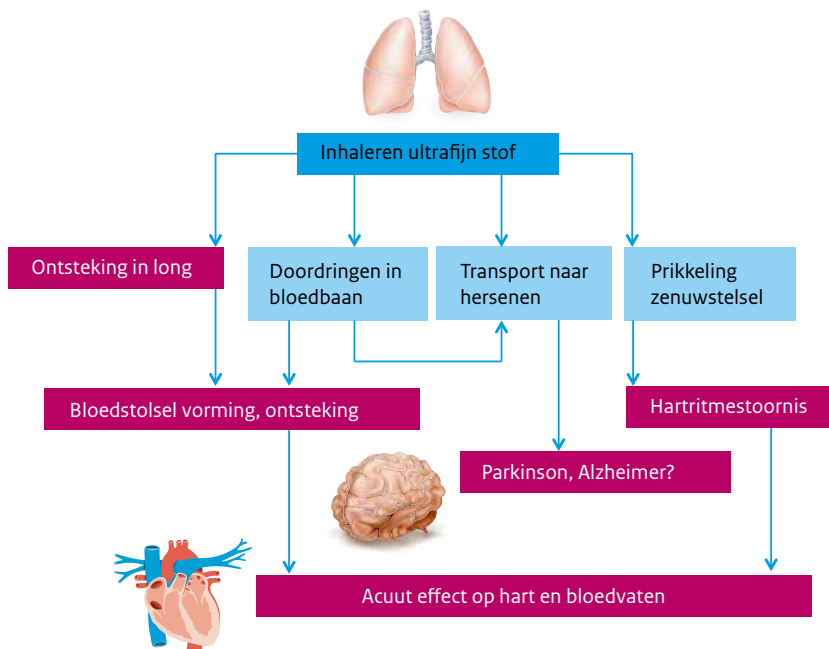
Het is niet bekend hoeveel ultrafijn stof je inademt. Het is wel bekend dat niet op iedere plek evenveel ultrafijn stof aanwezig is. Naast de achtergrondconcentraties zie je dat in een drukke straat met veel verkeer de hoeveelheid ultrafijn stof hoger is dan in een rustigere achterliggende straat.

Bij inademing van ultrafijn stof komt een deel in de longen terecht. Een klein deel wordt meteen weer uitgeademd. In vergelijking met grotere stofdeeltjes, wordt ultrafijn stof minder snel opgeruimd door het lichaam en kan het zich langere tijd in de long bevinden. Ultrafijne stofdeeltjes zijn zo klein dat ze ook via de longen in de bloedbaan kunnen doordringen en zo andere organen kunnen bereiken. Hierdoor wordt er van uit gegaan dat een langdurige blootstelling van de mens kan leiden tot chronische gezondheidseffecten. Daarbij zijn ook effecten mogelijk die zich op andere plekken in het lichaam uiten dan in de longen (bijv. hart, zenuwstelsel).

3.1 Toxicologisch onderzoek

In toxicologisch onderzoek, bijvoorbeeld dierexperimentele studies, kunnen de gezondheidseffecten van ultrafijn stof onderzocht worden. Daarbij zijn vergelijkbare effecten gevonden als bij onderzoek met vrijwilligers, zoals ontstekingen in de longen en effecten op het cardiovasculair systeem⁹. In dieren zijn ook effecten op het centrale zenuwstelsel aangetoond, zoals ontstekingen in de hersenen. Er is nog geen bewijs dat ultrafijn stof daadwerkelijk betrokken is bij het ontstaan van neurologische aandoeningen, zoals Parkinson of Alzheimer. Wel zijn er aanwijzingen dat ultrafijne stofdeeltjes in de hersenen terechtkomen. Het RIVM doet onderzoek naar de neurologische effecten van ultrafijn stof. In dierstudies worden veelal grote hoeveelheden ultrafijn stof en grote aantallen deeltjes toegediend aan de proefdieren. Het doel is vaak om in een kort tijdsbestek te kunnen onderzoeken wat de toxiciteit (giftigheid) van de deeltjes is. De aantallen deeltjes in deze experimenten liggen weliswaar veel hoger dan de jaargemiddelde aantallen deeltjes in de buitenlucht (zie figuur 4), maar kunnen daarentegen wel gelijk zijn aan piekbelastingen nabij een bron. Het blijft echter lastig om deze effecten bij hoge concentraties te vertalen naar effecten bij langdurige blootstellingen. Meer dan bij studies met vrijwilligers, kunnen uit toxicologische studies aanwijzingen worden verkregen over de schadelijke werking van ultrafijne deeltjes. Hierdoor kan gericht gezocht worden naar effecten in studies met vrijwilligers. Studies met vrijwilligers die langdurig worden blootgesteld zijn op ethische gronden niet mogelijk.

21



Figuur 8: Werkingsmechanismen van gezondheidseffecten door ultrafijne stofdeeltjes.

3.2 Studies met vrijwilligers

Gezondheidseffecten van ultrafijn stof zijn behalve in dierexperimentele studies ook bij vrijwilligers onderzocht. Een voorbeeld hiervan is de effecten bij het gebruik van een filter of mondkapje waarmee de ultrafijne stofdeeltjes worden tegengehouden. Door het toepassen van goed functionerende filters in voertuigen of woningen¹² en het dragen van goed passende mondkapjes bij proefpersonen¹³, is gebleken dat de gemeten nadelige effecten op de gezondheid ook afnemen. Bij gebruik van een mondkapje wordt een afname van de bloeddruk gevonden in gezonde vrijwilligers¹³ en ook in patiënten met een aandoening aan de kransslagaders¹⁴. Het dragen van een mondkapje heeft dus een gunstige invloed op plekken waar de (ultra)fijn stof hoeveelheden relatief hoog zijn, omdat een verhoogde bloeddruk één van de risicofactoren is bij hart- en vaatziekten.

3.3 Bevolkingsonderzoek

Het aantal epidemiologische studies (verbinding onderzoeken tussen een ziekte en mogelijke bron), waarvoor is gekeken naar de gezondheidseffecten van ultrafijn stof, is beperkt. De belangrijkste reden is dat er geen structurele buitenluchtmetingen van de hoeveelheden ultrafijn stof beschikbaar zijn en er dus geen goede bevolkings-blootstellingsmaat is. Ook over de representativiteit van een incidentele ultrafijn stof-meting voor de blootstelling van mensen, is vooralsnog relatief weinig bekend. Uit Europees onderzoek komt naar voren dat er een verband is tussen het aantal ziekenhuisopnames voor hart- en luchtwegklachten en de geschatte blootstelling aan (verkeersgerelateerd) ultrafijn stof in de uren voorafgaand aan de opnames^{17,18}. Ouderen of mensen die al lijden aan hart- en vaatziekten of diabetes vormen een groep, die wellicht extra gevoelig is voor ultrafijn stof.

Het is niet bekend hoe de ernst en omvang van de nadelige gezondheidseffecten van blootstelling van de Nederlandse bevolking aan ultrafijn stof zich verhouden tot die aan fijn stof worden toegeschreven. De afgelopen 10 jaar zijn de effecten van ultrafijn stof in een beperkt aantal bevolkingsonderzoeken (epidemiologie) beschreven^{19,20,21}. Het Amerikaanse 'Health Effects Institute' concludeert dat er aanwijzingen zijn dat korte termijn blootstelling (uren tot dagen) aan ultrafijn stof gezondheidseffecten aan de luchtwegen en hart en vaten kan veroorzaken⁹. Het bewijs is echter niet eenduidig; er zijn zowel studies die het bevestigen als die op het tegendeel wijzen. Het gebrek aan eenduidige resultaten wordt mogelijk veroorzaakt door beperkingen in de studies. Vaak is er een gebrek aan nauwkeurige metingen van de daadwerkelijke blootstelling van de mens aan ultrafijn stof. Een relatief groot probleem bij onderzoek naar de effecten van ultrafijn stof is dat de variatie in de blootstelling erg ruimtelijk bepaald is. Dit maakt een ultrafijn stof-meting op een bepaalde locatie niet representatief voor de werkelijke blootstelling op enige afstand van de meetlocatie.

Met de huidige beschikbare gegevens is het lastig te bepalen of de effecten van ultrafijn stof komen of van andere verontreinigingen afkomstig van dezelfde bron (bijvoorbeeld verkeer). In een groot aantal onderzoeken naar de effecten van ultrafijn stof werden

namelijk ook effecten van andere deeltjesgroottes of chemische stoffen gevonden^{9,22,23}. Er zijn nog geen (epidemiologische) onderzoeken onder de bevolking naar de effecten van langdurige blootstelling aan ultrafijn stof uitgevoerd.

Fijn stof versus ultrafijn stof

Door de kleine afmeting wordt aangenomen dat blootstelling aan ultrafijne stofdeeltjes tot een groter gezondheidsrisico leidt dan fijn stof ($PM_{2,5}$ of PM_{10}). Enerzijds doordat ze diep in onze longen doordringen en zelfs in ons bloed en dus in andere vitale organen terecht kunnen komen. Anderzijds omdat onder andere vanuit onderzoek met nanomaterialen (ultrafijn stof wat bewust wordt geproduceerd) is gebleken dat de toxiciteit van een stofdeeltje kan toenemen naarmate ze kleiner van omvang zijn. Dit komt omdat, relatief gezien, het oppervlak van deeltjes snel groter wordt als de diameter afneemt. Hoe groter het oppervlak, hoe meer mogelijkheden voor toxische stoffen in de lucht om aan het deeltje te binden. Vergelijk bijvoorbeeld actief kool (Norit, gebruikt tegen voedselvergiftiging) met een stukje grafiet uit een potlood; allebei bestaan ze uit koolstofdeeltjes, alleen bij actief kool is een groot absorberend oppervlak beschikbaar door de vele hele kleine deeltjes. Ook kan het schadelijke effect te maken hebben met het hoge aantal deeltjes. Ook hier een voorbeeld; het effect op de mens van honderden hele kleine kogeltjes is op zijn minst anders dan dat van een voetbal, ondanks dat ze ongeveer hetzelfde gewicht hebben.

23

Of ultrafijn stof ook echt leidt tot een groter gezondheidsrisico dan $PM_{2,5}$ of PM_{10} is vooralsnog niet te zeggen. Toxicologisch onderzoek wijst wel in die richting. Het gevaar van nadelige effecten op de mens is een combinatie van de mate van schadelijkheid van ultrafijn stof en de hoeveelheid die wordt ingeademd. Zoals eerder uitgelegd kunnen de concentraties bij drukke verkeerslocaties relatief hoog zijn, maar doorgaans brengen mensen daar niet veel tijd door per dag. Ook de Wereldgezondheidsorganisatie en het Health Effects Institute zijn nog terughoudend in hun uitspraken over hoe gevaarlijk blootstelling aan ultrafijn stof nu eigenlijk is in vergelijking met fijn stof (PM_{10} , $PM_{2,5}$). De Wereldgezondheidsorganisatie heeft recent geconcludeerd dat er steeds meer (hoewel nog beperkt) aanwijzingen zijn dat er relaties zijn tussen de korte termijn blootstelling aan ultrafijn stof en de gezondheid van longen, hart en bloedvaten en van het centrale zenuwstelsel. In bevolkingsonderzoek is het bovendien lastig om van de verschillende afmetingen van fijn stof de afzonderlijke effecten te onderscheiden. De komende jaren zal wetenschappelijk onderzoek daar meer inzicht in moeten verschaffen.

Hoe nu verder?

Studies hebben aangetoond dat ultrafijne deeltjes vaak werken via vergelijkbare biologische mechanismen als $PM_{2,5}$ of PM_{10} . Daarnaast kan ultrafijn stof ook nog andere effecten hebben, bijvoorbeeld effecten op de hersenen. Dit suggereert dat er redenen zijn om ultrafijn stof als een aparte entiteit binnen fijn stof te behandelen.

Gerenommeerde instanties als de Wereldgezondheidsorganisatie en het Health Effects Institute vinden dat er nog onvoldoende wetenschappelijke kennis is om een advies over veilige concentraties in de buitenlucht te kunnen geven. Uit voorzorg wordt aangeraden om blootstelling aan ultrafijn stof zo veel mogelijk te beperken. Hier zijn technologische maatregelen voor beschikbaar, zoals roetfilters op uitlaten, interieurfilters in auto's of filters in het ventilatiesysteem van gebouwen. In welke mate dit zal bijdragen aan de afname in blootstelling is nog niet goed te zeggen vanwege gebrek aan goede gegevens. Daarnaast is het raadzaam om afstand te houden tot de bron die ultrafijn stof uitstoot of de verblijftijd te beperken op een locatie met veel ultrafijne deeltjes.

Referenties

1. Peters, Rückerl & Cyrys, *J Occup Environ Med.* 2011 Jun; 53(6 Suppl):S8-S13. Lessons from air pollution epidemiology for studies of engineered nanomaterials. Doi:10.1097/JOM.0b013e31821ad5co.
2. Reche et al., *Atmos. Chem. Phys.*, 2011. 11, 6207–6227, 2011. New considerations for PM, Black Carbon and particle number concentration for air quality monitoring across different European cities. Doi:10.5194/acp-11-6207-2011.
3. Dekkers S, de Heer C. Tijdelijke nano-referentiewaarden : Bruikbaarheid van het concept en van de gepubliceerde methoden. RIVM rapport 601044001
4. Birmili, W. et al. *Gefahrst. Reinh. Luft* 2009; 69:4 p. 137-145. Atmospheric aerosol measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN): Part 1 - soot and particle number size distributions.
5. Nordmann, S., et al. *Gefahrst. Reinh. Luft* 2009; 69:11/12 p. 469-474. Atmospheric aerosol measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) - Part 2: Comparison of measurements techniques for graphitic, light-absorbing, and elemental carbon, and the non-volatile particle volume under field conditions.
6. Website http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/env_health_projects/air_pollution/ap-rupioh.pdf
7. Website <http://joaquin.eu>
8. Website <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:0001:EN:PDF>
9. HEI perspectives #3, January 2013; Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles.
10. Brook et al. *Circulation* 2010; 121: 21 p. 2331–2378. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. Doi: 10.1161/CIR.0b013e3181d8bec1.
11. Mills et al. *European Heart Journal* 2011; 32:21 p. 2660-71. Combustion-derived nanoparticulate induces the adverse vascular effects of diesel exhaust inhalation. Doi: 10.1093/eurheartj/ehr195.
12. Brauner et al. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008; 177:4 p. 419–425. Indoor Particles Affect Vascular Function in the Aged. An Air Filtration-based Intervention Study. Doi: 10.1164/rccm.200704-632OC.
13. Langrish et al. *Part. Fibre Toxicology* 2009; 6: 8 p.1-9. Beneficial cardiovascular effects of reducing exposure to particulate air pollution with a simple facemask. Doi: 10.1186/1743-8977-6-8.
14. Langrish et al. *Environmental Health Perspectives* 2012; 120 p. 367-372. Reducing Personal Exposure to Particulate Air Pollution Improves Cardiovascular Health in Patients with Coronary Heart Disease. Doi: 10.1289/ehp.1103898.

15. REVIHAAP Project WHO 2012; Review of evidence on health aspects of air pollution.
16. Knol *et al.* Part Fibre Tox 62009;:19 p. 1-16. Expert elicitation on ultrafine particles: likelihood of health effects and causal pathways. Doi: 10.1186/1743-8977-6-19.
17. Von Klot *et al.* Circulation 2005; 112:20 p.3073-9. Ambient Air Pollution Is Associated With Increased Risk of Hospital Cardiac Readmissions of Myocardial Infarction Survivors in Five European Cities. Doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.548743.
18. Lanki *et al.* Occup Environ Med 2006; 63:12 p. 844-851. Associations of traffic related air pollutants with hospitalisation for first acute myocardial infarction: the HEAPSS study. Doi: 10.1136/oem.2005.023911.
19. R ckerl *et al.* Inhalation Toxicology 2011; 23:10 p.555-92. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. Doi: 10.3109/08958378.2011.593587.
20. Weichenthal *et al.* Indoor air 2013; 23:3 p.175-84. A randomized double-blind crossover study of indoor air filtration and acute changes in cardiorespiratory health in a First Nations community. Doi: 10.1111/ina.12019.
21. Rich *et al.* JAMA 2012; 307:19 p.2068-78. Association Between Changes in Air Pollution Levels During the Beijing Olympics and Biomarkers of Inflammation and Thrombosis in Healthy Young Adults. Doi: 10.1001/jama.2012.3488.
22. U.S. Environmental Protection Agency. 2009. Integrated Science Assessment for Particulate Matter: Final Report. EPA/600/R-08/139F.
23. Strak *et al.* PLoS ONE 2013; 8:3 p.e58944. Composition of PM Affects Acute Vascular Inflammatory and Coagulative Markers - The RAPTES Project. Doi:10.1371/journal.pone.0058944.

Colofon

Deze brochure is samengesteld door het RIVM met bijdragen van Rijkswaterstaat, TNO en het Energieonderzoek Centrum Nederland, in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu – Directie Klimaat, Lucht en Geluid.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

november 2013

