



---

# Een boekje open over fijn stof

---

Alles en nog wat  
meer over fijn stof

---

Ed Buijsman

---

LUVO reeks 3



Een boekje open over fijn stof, 2de herziene uitgave  
LUVO reeks nummer 3  
2007 © Uitgeverij Tinsentiep, Houten

Eerder zijn in deze reeks verschenen:

1. Er zij een meetnet, 2003.
2. Een ernstig geval van industriële overlast, 2007

Bij de voorpagina

Stofvormige luchtverontreiniging in het centrum van Helsinki, Finland. De concentraties van fijn stof zijn in steden vaak verhoogd door de directe nabijheid van bronnen. Een belangrijke lokale bijdrage komt van het wegverkeer.

De Luvo reeks behandelt onderwerpen over luchtverontreiniging in de breedste zin van het woord.

Een kritische blik is het kenmerk van de reeks.

Vanzelfsprekendheden zal de lezer hier niet tegenkomen.

‘Pollution monitoring is an expensive business and it should not be undertaken lightly. In a world of limited resources, any monitoring programme will probably have taken priority over some other socially useful exercise’. Citaat van D.J. Moore uit 1986. Moore was in leven onder andere editor van het wetenschappelijke tijdschrift Atmospheric Environment.

Uitgeverij Tinsentiep is een niet bestaande uitgeverij die niettemin met uitgaven komt. Tinsentiep is in 2001 bedacht om ruimte te geven aan gedachten en uitingen die niet vanzelfsprekend zijn. Tinsentiep beoogt te informeren daar waar dat hoognodig blijkt. Het logo van Tinsentiep symboliseert de klassieke straatlantaarn die een zacht maar niet opdringerig licht verspreidt, zodat we onze weg kunnen vinden.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912j het Besluit van 20 juni 1974, Staatsblad 351, zoals gewijzigd bij Besluit van 23 augustus 1985, Staatsblad 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (postbus 882, 1180 AW Amstelveen).

Voor het overnemen van gedeelten uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken dient u zich te richten tot: E. Buijsman, p/a Uitgeverij Tinsentiep, Bovencamp 57, 3992 RX Houten. Uitgeverij Tinsentiep is telefonisch niet bereikbaar.



## Inhoud

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Voorwoord .....                 | 5  |
| Hoezo fijn stof? .....          | 7  |
| Stof, fijn stof, ... ..         | 13 |
| Meten .....                     | 25 |
| Correctiefactoren.....          | 35 |
| Modelleren .....                | 43 |
| Luchtkwaliteit .....            | 51 |
| Herkomst.....                   | 63 |
| Beleid en regelgeving .....     | 67 |
| Gezondheidseffecten .....       | 77 |
| Ter afsluiting.....             | 81 |
| Het artikel van G van Dam ..... | 83 |
| Verder lezen .....              | 85 |



## Voorwoord

### Bij de eerste uitgave

Het Milieu- en Natuurplanbureau bracht in juli 2005 het boekje *Fijn stof nader bekeken* uit. Dit boekje was vooral bedoeld voor mensen die beroepsmatig op enigerlei wijze bij de fijnstofproblematiek in Nederland betrokken zijn. In de praktijk zal dit betekenen dat het vooral gaat om milieuprofessionals. De bezoekersstatistieken van de MNP-website leren dat het boekje een grote populariteit geniet. Het is echter ook gebleken dat niet iedereen op alle onderdelen van dit lastige en omvangrijke dossier even goed is ingevoerd. De nu voorliggende notitie beoogt daarom op een basaal niveau informatie over fijn stof te presenteren.

De lezer zal al voortgaande soms mogelijk de indruk krijgen dat hij of zij in plaats van meer te weten te komen juist met verwarring wordt opgezadeld. Dan kan soms terecht zijn, want het onderwerp fijn stof kent vele onzekerheden en onduidelijkheden. Toch hopen we met deze informatie duidelijkheid te verschaffen over de fijnstofproblematiek op die plaatsen waar het kan en verwarring over te brengen op die onderdelen waar dat terecht is. Uiteindelijk zal blijken dat er het nodige maar toch niet alles onduidelijk is aan fijn stof.

Deze notitie heeft in ruime mate teksten ontleend aan het boekje *Fijn stof nader bekeken*.

### Bij de tweede uitgave

De eerste uitgave van dit boekje heeft vele, overwegend welwillende reacties opgeleverd. Blijkbaar voldeed *Een boekje open over fijn stof* dus aan een behoefte. De fijnstofwereld staat echter (nog steeds) niet stil. Reden om een nieuwe, aangevulde versie te maken. Het commentaar van een aantal lezers is hierbij verwerkt. Ook attendeerden sommige lezers ons op interessante literatuur. Bovendien is de gelegenheid aangegrepen om een aantal, maar waarschijnlijk niet alle, tekstfouten te corrigeren.

De belangrijkste aanvullingen betreffen de correctiefactoren in Europese context (pagina 37), de trendbreuk in de meetresultaten (55) en de salderingsregeling (71). De categorie ditjes en datjes is onder andere uitgebreid met informatie over Chinees koken (58) en religie (64).

Ed Buijsman



*Het is maar hoe je het bekijkt.*

## Verklaring symbolen



Letterlijk citaat uit een boek of krant



Document waarvan een digitale versie via internet beschikbaar is



Verwijzing naar een hyperlink

## Hoezo fijn stof?

Problemen met stof zijn van alle tijden. Deze inleiding geeft een korte uitleg over het stof van vroeger en over het waarom van de tegenwoordige ophef over (fijn) stof.

**D**e geschiedenis van de luchtverontreiniging gaat bijna even ver terug als de geschiedenis van de mensheid. Op het moment dat de mens het vuur uitvond en leerde gebruiken, was er door de mens veroorzaakte luchtverontreiniging. Of het nu voor het koken van voedsel was of voor het verwarmen van grotten, er kwam hout aan te pas. Nu is het verbranden van hout een inefficiënt gebeuren dat al gauw met veel rookontwikkeling gepaard gaat. Zie daar, de geboorte van de stofvormige luchtverontreiniging, want rook is stof. Maar de mens was niet de enige producent van stof; ook toen al waren er natuurlijk bosbranden en vulkaanuitbarstingen. Ook in de Bijbel komen we stof tegen en wel opnieuw in de vorm van rook. De Bijbel spreekt niet in directe bewoordingen over luchtverontreiniging. Toch bevat de Bijbel heel wat teksten die met luchtverontreiniging in verband gebracht kunnen worden. Weliswaar is in chemisch opzicht het arsenaal beperkt tot zwavel en rook, maar de effecten hoeven er niet minder om geweest te zijn (zie tekstbox *Rook in de Bijbel*).

Stofvormige luchtverontreiniging stond al in het begin van de jaren vijftig in Nederland in de aandacht. Maar als het in deze tijd over stof ging, betrof het vooral roet en vliegias, dat wil zeggen de meer zichtbare vormen van luchtverontreiniging. Roet was hierbij het stof dat herkenbaar was aan zijn donkere uiterlijk. Vliegias was het stof dat door grote industrieën werd geëmitteerd en dat vooral lokaal aanleiding gaf tot veel, en veelal zichtbare, overlast.

Wie ergens last van heeft, zal proberen die overlast op de een of andere manier te kwantificeren, in getallen te vangen. We kunnen bijvoorbeeld proberen te meten hoeveel roet, vliegias of stof er in de lucht zit. Het meten van stof is echter geen sinecure. Dat was in de jaren vijftig en zestig al duidelijk, zo blijkt uit een artikel uit 1965 van F Hartogensis, hoofdinspecteur voor de volksgezondheid. Er waren op dat moment al vele methoden voor het meten van stof. Alle voor specifieke, vaak beperkte doeleinden en alle methoden hadden zo hun voor- en nadelen. En, nogmaals, het waren vooral de hinderaspecten waardoor stof in die tijd in de aandacht stond. In die tijd had bijna niemand het over de mogelijke gezondheidseffecten: niet van stof, maar ook niet van luchtverontreiniging in het algemeen. Later, veel later pas, zal duidelijk worden dat juist het niet zichtbare deel van het stof schadelijke effecten voor de menselijke gezondheid kan hebben.



Afbeelding 1 Zo kon stofvormige luchtverontreiniging er vroeger uitzien: grijs en zwart en dus vooral opvallend zichtbaar. 'Verontreiniging van de lucht wordt vaak beschouwd als een noodzakelijk kwaad. Maar zij kan ook worden ondervonden als ernstige hinder en zij kan dan ook onaanvaardbare schade toebrengen'. Dit schrijft de Inspecteur van de Volksgezondheid, Schuursma, in 1951. Een commissie oordeelt daarentegen nog in datzelfde 1951 dat het eigenlijk allemaal wel meevalt met die luchtverontreiniging. Ze meent ook dat emissie-beperkingen voor industriële installaties alleen voor vliegass hoeven te gelden. Dit standpunt wordt niet algemeen gedeeld, zo blijkt uit het werk van de Commissie Bodem, Water en Lucht in Rotterdam. Deze signaleert problemen door fluoridebelasting, toegeschreven aan kunstmestfabrieken, en door zwaveldioxide-uitstoot door elektriciteitscentrales en olieraffinaderijen. Kortom: de meningen over de schadelijkheid van luchtverontreiniging en de noodzaak tot ingrijpen lopen in deze tijd nog sterk uiteen.

Het was halverwege de jaren zeventig dat onderzoekers in Nederland zich een eenvoudige vraag stelden. Die vraag was: wat is een goede en juiste meetmethode voor stof? Deze vraag mondde uit in een project, de *Vorstudie stofmetingen*. Een aantal organisaties die in Nederland actief waren op het gebied van luchtverontreiniging, bundelden hun expertise en krachten en voerden een groot onderzoek uit. Methoden, apparaten en procedures werden hierbij vergeleken. Het onderzoek zou uiteindelijk jaren vergen, want ook toen al bleek het juist meten van stof geen eenvoudige zaak was. We praten hier over gebeurtenissen die zich 20 jaar geleden en langer hebben afgespeeld. Het meten van stof blijkt anno 2006 nog steeds geen eenvoudige zaak. Deskundigen zijn het oneens, meetmethoden kennen hun beperkingen, meetresultaten moeten worden gecorrigeerd, het is verwarring alom.

Stof, of beter gezegd fijn stof, staat de laatste tijd in het middelpunt van de belangstelling. Maar waar komt die op het oog zo plotselinge belangstelling eigenlijk vandaan? Daar is een aantal redenen voor. Zo zijn er Europese luchtkwaliteits-doelstellingen voor fijn stof. De Nederlandse luchtkwaliteit voldoet daar niet aan. Een gevolg blijkt te zijn dat bouwplannen uitgesteld moeten worden, want er mag niet (meer) gebouwd op plaatsen waar de luchtkwaliteit niet aan de wettelijke eisen voldoet. En dan meldde het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) in 2005 ook nog eens dat er tienduizenden mensen in Nederland vroegtijdig zouden overlijden door de (te) hoge fijnstofconcentraties in de Nederlandse lucht. En ja, daar was de hele regelgeving om begonnen: fijn stof is schadelijk. We kunnen ons afvragen of dit probleem dan pas kort geleden is ontdekt. Wat moet een buitenstaander er wel niet van denken? Is het met dat stof dan allemaal zo ingewikkeld? Stof is toch stof?

Deze notitie voert de lezer langs een aantal onderwerpen die allemaal op de een of andere manier met stof van doen hebben. Wat is dat eigenlijk: stof? Hoe moeten we ons dat voorstellen? Wat zit er in dat stof en waar komt het vandaan? Hoe meet je het? En hoeveel stof zit er in de lucht? Was dat vroeger meer, of misschien minder? En hoe zal het er in de toekomst uitzien? En waarom al die drukte over stof? Is het soms schadelijk? En welke rol speelt de overheid? Hoe zit het met wet- en regelgeving?

Al deze vragen zullen op een basaal niveau worden besproken. Wie meer wil weten of op onderdelen verdieping zoekt, vindt aan het eind het onderdeel *Verder lezen* met literatuurverwijzingen.



### Rook in de Bijbel



Genesis 19:1 En hij zag naar Sodom en Gomorra toe, en naar het ganse land van die vlakke; en hij zag, en ziet, er ging een rook van het land op, gelijk de rook eens ovens.

Ezra 15:1 Zij zullen gezamenlijk tot deze komen en die omlegeren, en zullen dat gesternte en al de onstuimigheid over haar uitgieten, en het stof en de rook zal opgaan tot de hemel toe, en allen die rondom haar zijn zullen haar betreuren.



Afbeelding 2 Zo werd lang geleden stof in lucht gemeten: met de Luikse bol. De Luikse bol is in de jaren dertig van de vorige eeuw bedacht door de Belg Gillet. De bol dankt zijn naam aan het feit dat het voor het eerst gebruikt is voor stofmetingen in en om Luik. De Belgische professor Leclerc heeft het apparaat eind jaren veertig in Nederland geïntroduceerd. De werking van het apparaat is eenvoudig: een aluminium bol wordt bestreken met vaseline. De bol is geplaatst op een staak. De bol wordt in de buitenlucht opgesteld; in de lucht zwevend stof blijft aan de vaseline kleven. Na enige tijd wordt de bol naar het laboratorium gebracht en kan een analyse van het verzamelde stof worden uitgevoerd. Foto © Koos Hollander.



3. Wat een rokende schoorstenen! Wat een grote fabrieksgebouwen. Allemaal nodig om de onmisbare STEENKOOL voor industrie en huisgezin naar boven te brengen.

Afbeelding 3 'De Staatsmijnen in de jaren vijftig' uit een informatieserie voor het lager onderwijs in de jaren vijftig. De bijbehorende beschrijving luidt: 'Wat een rokende schoorstenen! Wat een grote fabrieksgebouwen. Allemaal nodig om de onmisbare STEENKOOL voor industrie en huisgezin naar boven te brengen'. Opbouw en industriële vooruitgang: luchtverontreiniging hoorde er in die tijd gewoon bij.



Afbeelding 4 Hoge fijnstofconcentraties worden zichtbaar door een afname van het zicht. In gewone taal zouden we zeggen dat het heilig is. Tijdens zomersmog treedt meestal ook een sterke afname van het zicht op. Hoge fijnstofconcentraties gaan dan gepaard met hoge ozonconcentraties.

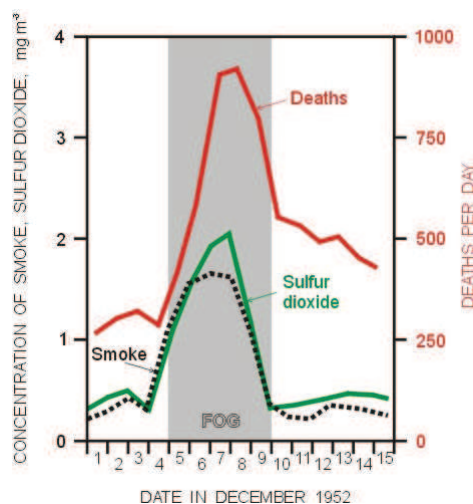
#### **Rijk overweegt wegen nat te spuiten vanwege fijn stof**



De ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM onderzoeken talloze maatregelen om de luchtkwaliteit langs snelwegen te verbeteren. Zo bekijken beide departementen samen met overheden, kennis- en adviesorganisaties en bedrijven mogelijkheden om bijvoorbeeld snelwegen te overkappen en wegen nat te maken. Dit gebeurt in het innovatieprogramma Luchtkwaliteit.

Door wegen regelmatig nat te maken dwarrelt minder fijn stof op. Lichtgewicht overkappingen over de snelweg met daarin luchtfilters verbeteren plaatselijk de luchtkwaliteit. Eind 2005 inventariseerde het programma (voorgenomen) maatregelen in onder andere Scandinavië, Groot-Brittannië, Duitsland, Frankrijk, België, Italië, de Verenigde Staten (vooral Californië), Canada en Japan.

*Bron: nieuwsbericht op de website het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 17 januari 2006.*



Afbeelding 5 De beroemdste smogepisode uit de geschiedenis is die in Londen in december 1952. De zwaveldioxideconcentraties stegen tot onvoorstelbare daggemiddelde waarden van  $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; in Rotterdam, toch ook niet de meest schone plek in Nederland, bedraagt op de meest vervuilde plaats de jaargemiddelde concentratie tegenwoordig  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De hoogste daggemiddelde concentratie bedroeg in 2004  $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De stofconcentraties ('smoke') liepen op tot  $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dit is waarschijnlijk een onderschatting. De filters waren zo zwaar met stof beladen dat de lucht niet goed meer kon worden doorgezogen. De jaargemiddelde concentratie van zwarte rook, een met smoke vergelijkbare grootheid, bedraagt in Rotterdam tegenwoordig ongeveer  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De hoogste daggemiddelde concentratie bedroeg in 2004  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Het aantal doden tijdens de Londense smogepisode gaf een sterke stijging te zien.

Bron afbeelding: College of Earth and Mineral Sciences.



Afbeelding 6 Het zicht tijdens de Londense smogepisode van december 1952 was zo slecht dat bussen slechts stapvoets konden redden. Soms was zelfs hulp nodig van een vooruit lopende begeleider. Tijdens de smogepisode zouden 3000 tot 4000 extra doden zijn gevallen (Brimblecombe, 1987). Latere epidemiologische analyses suggereren dat het dodental mogelijk een factor drie hoger is geweest.



Afbeelding 7 Fijn stof is zelfs tot de wereld van de cartoonisten doorgedrongen. Hier een cartoon van ZAK in het Milieudefensie Magazine van maart 2006. © ZAK.



## Stof, fijn stof, ....

Wat is stof eigenlijk? Dit onderdeel biedt een korte rondgang langs de fysische en chemische kant van stof en geeft ook een overzicht van het onvermijdelijke vakjargon. Hiermee wordt een basisniveau aan kennis over 'stof' aangereikt.

**S**tof, rook, zwarte rook, roet, fijn stof, zwevende deeltjes, aerosolen: het zijn een aantal woorden die op de een of andere manier allemaal met stof in de lucht en stofvormige luchtverontreiniging te maken hebben. Het lijkt er wel eens op dat deskundigen alles aangrijpen om het buitenstaanders zo moeilijk mogelijk te maken om iets van hun werk te begrijpen. Toch valt dat wel mee. We zullen het straks uitleggen. Maar eerst een eenvoudige vraag: hoe moeten we ons stof eigenlijk voorstellen?

De een denkt bij stof aan neerdwarrelend stof; de ander misschien aan een stoffig huis of aan het stof van het stofzuigen. Kortom: stof dat zich zichtbaar aan ons vertoont. Onderzoekers bedoelen met stof echter iets anders. Zij bedoelen met stof (meestal) het stof in de lucht dat met het blote oog niet zichtbaar is. Zij bekijken stof ook op verschillende manieren. Zo kan stof fysisch beschouwd worden: grootte, vorm, massa en aantal van de deeltjes. Maar ook chemisch: waar bestaat het stof uit? Fysisch gezien kunnen diverse aspecten interessant zijn, want er is niet zoiets als een soort stof. Het stof in de lucht kent een breed traject van deeltjesgroottes.

Kijken we eerst eens naar de grootte van stofdeeltjes. Om de gedachten te bepalen: de afmeting van stofdeeltjes in lucht loopt van 100 micrometer ( $\mu\text{m}$ )<sup>1</sup>, de dikte van een haar, tot een honderdste van een nanometer<sup>2</sup>. Hierbij kan een parallel getrokken worden met mensen. Neem een grote groep mensen, bijvoorbeeld alle inwoners van Nederland. Noteer van al die mensen de lengte en maak er een grafiek van: hoeveel mensen van welke lengte komen voor. We zullen dan zien dat er een bepaalde verdeling ontstaat. Sommige lengtes komen weinig voor – zeer kleine of zeer grote mensen, andere veel meer – de 'gemiddelde' lengte. Dit is echter weer iets anders dan het gewicht – de 'massa' – die een bepaalde groep mensen bijdraagt aan het geheel. Kleine mensen wegen minder dan grote mensen. En zelfs als er dan veel kleine mensen zijn dragen die niet veel bij aan het totale gewicht van alle mensen samen als het minder aantal grotere mensen. En zo is bij stof ook, maar dan in veel extremere mate. De vorm van de verdeling zal niet overal dezelfde zijn. In stedelijke gebieden zullen verhoudingsgewijs veel meer kleinere deeltjes voorkomen. Aan de kust zullen meer grovere deeltjes, bijvoorbeeld door zeezoutaerosol, aanwezig zijn.

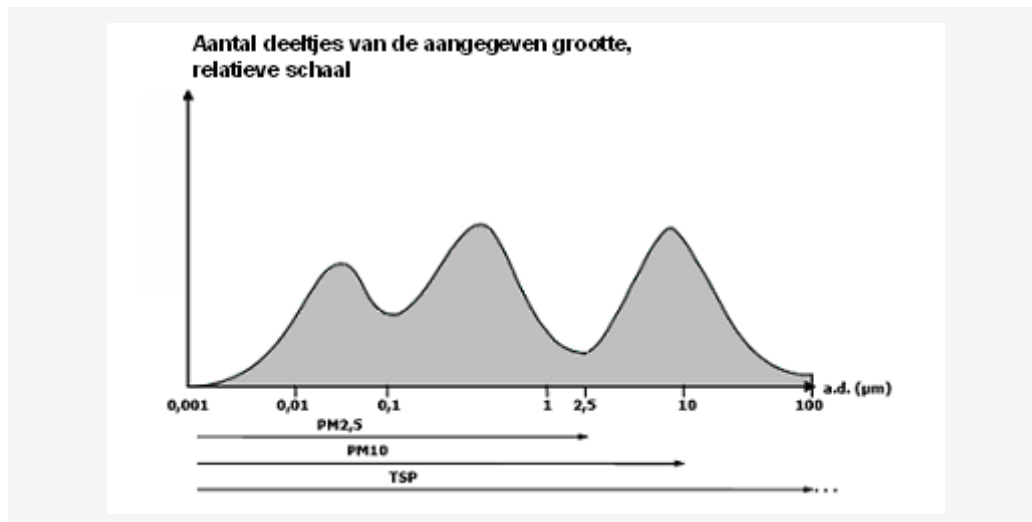
Wat de zaak ook niet eenvoudiger maakt, is dat zich een soort vakjargon heeft ontwikkeld. Zo is er stof, fijn stof, ultrafijn stof, grof stof, zwevende deeltjes, en zo zijn er ook nog eens afkortingen als  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_1$  en varianten daarop opgedoken. En dan zijn er ook nog eens begrippen van vroeger: zwarte rook, totaal stof. Wat betekent dit toch allemaal? Vroeger, dat wil zeggen tot zo'n 20 jaar geleden, bestond er immers alleen stof of aerosolen en zwarte rook.

We beginnen met de meest algemene term: aerosolen. Aerosolen zijn vaste of vloeibare deeltjes in lucht. Niet meer en niet minder; het woord zegt verder niets over aard, samenstelling, of wat dan ook. Rook en roet zijn min of meer zichtbare vormen van stofvormige luchtverontreiniging. Rook duidt hierbij meestal op witte of grijze en roet op zwarte vormen van zichtbare stofvormige luchtverontreiniging.

<sup>1</sup> 1 micrometer =  $1 \mu\text{m}$  = 0,0001 centimeter =  $10^{-6}$  meter

<sup>2</sup> 1 nanometer = 1 nm = 0,0001 mm =  $10^{-9}$  meter





Afbeelding 8 Deeltjesgrootteverdeling van aerosol in stedelijke gebieden. Op de horizontale as staat de aerodynamische diameter uitgezet. De tekstbox *Aerodynamische diameter* geeft een uitleg van dit begrip. Tevens is de 'reikwijdte' van  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  en TSP aangegeven. Voor een uitleg van de termen  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  en TSP zie tekst. Een uitvoeriger bespreking van deze verdeling wordt gegeven bij Afbeelding 11.

### De aerodynamische diameter

Het is gemakkelijk om voor een kogelrond deeltje iets te zeggen over de afmetingen. Het noemen van de diameter volstaat. Deeltjes die niet zo regelmatig zijn gevormd, vormen in dit opzicht een probleem. Want wat is de diameter van een vlokje of een draadje? Ook kan het gebeuren dat deeltjes een zelfde vorm hebben, maar sterk verschillen qua chemische samenstelling. Dat laatste kan leiden tot een verschil in dichtheid. Om deze problemen te omzeilen wordt in de luchtverontreiniging een definitie gebruikt die iets zegt over het gedrag van een deeltje in lucht. Dit is het begrip aerodynamische diameter. De aerodynamische diameter is de diameter van een bolvormig deeltje met een dichtheid van 1 gram per  $cm^3$  dat in de omgevingslucht hetzelfde gedrag vertoont als het (onregelmatig gevormde) stofdeeltje waar het om gaat.

En dan zwarte rook: dit is een lastig te definiëren grootheid. Wat zeker is, is dat zwarte rook een deel van het stof in de lucht is. De oorsprong van het begrip zwarte rook ligt in de jaren zestig van de vorige eeuw. Een groot deel van de stofvormige luchtverontreiniging in die tijd was afkomstig van het stoken van steenkool. Steenkool vond in die tijd ruime toepassing bij het opwekken van elektriciteit, voor de verwarming van huizen en voor energie- en warmteproductie in de industrie. Kolenstook gaf aanleiding tot donkere gekleurde stofvormige luchtverontreiniging. Het meten van dit (zwarte) stof was in die tijd een goede manier om een indruk te krijgen van het niveau van stof in de lucht. De zwarterookmethode om stofvormige luchtverontreiniging te meten is op deze veronderstelling gebaseerd. Stof wordt hierbij volgens een internationaal overeengekomen voorschrift op een filter verzameld en vervolgens gemeten. De mate van zwarting van het filter is dan een maat voor de stofconcentratie. In de loop der jaren is het stof echter van samenstelling veranderd; ook de kleur is daardoor veranderd. De zwarting is dan ook al lang geen goede maat meer voor het totale massa van stofvormige luchtverontreiniging, zo het dat al ooit is geweest.

De Engelse Air Quality Expert Group merkt in het recente *Report on Particulate Matter in the United Kingdom* over zwarte rook op: 'In practice, however, no meaningful universal relationship can be derived between reflectance and black smoke since the relation can change from place to place and from time to time. The 'concentrations' of black smoke derived from this method should, therefore, be considered to be an index of black smoke rather than an absolute measure in mass terms'. Dus ook hier staat eigenlijk dat zwarte rook is wat met de zwarterookmethode wordt gemeten. En eigenlijk alleen nog in situaties waar de luchtverontreiniging in hoge mate bepaald wordt door het stoken van kolen, biedt de zwarterookmethode enige summier informatie over de luchtkwaliteit.



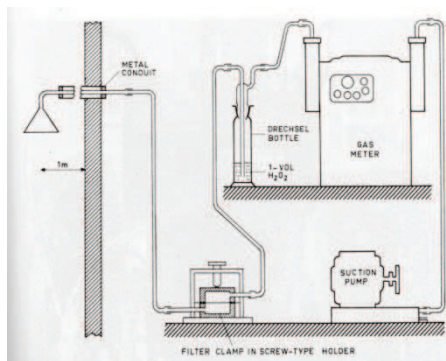
Afbeelding 9 Onvolledig verlopende verbrandingsprocessen zijn een belangrijke bron van zwarte rook. Zoals hier bij een groot vrachtschip dat ongetwijfeld zware stookolie als brandstof en een dieselmotor als aandrijving heeft. Veel emissies van stof waren in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw in deze vorm. Zijn de emissies van auto's streng gereguleerd, de emissies van de (zee)scheepvaart zijn nog lang niet zo sterk aan banden gelegd. Dergelijke uitbundige en duidelijk zichtbare emissies kunnen we dan ook heden ten dage nog steeds waarnemen.

Een ander begrip van vroeger is totaal stof of, in het Engels, Total Suspended Particulates (TSP). In tegenstelling tot wat het begrip doet vermoeden, is totaal stof niet het totaal aan in de lucht voorkomend stof. In de praktijk bleek het bereik van de deeltjes die werden bemonsterd, af te hangen van de windrichting en de windsnelheid tijdens de monsterneming. Dit betekende dat in feite een selectie op grootte plaatsvond die in de tijd kon veranderen en waarvan de grens niet bekend was. Afhankelijk van de omstandigheden kon de grens ergens in het gebied van 20 tot 50  $\mu\text{m}$  liggen. Zo kon het dus gebeuren dat in omstandigheden met hoge windsnelheden, vooral opgewerveld bodemstof werd bemonsterd. Bodemstof, waarvan overigens de gezondheidsrelevantie gering is.

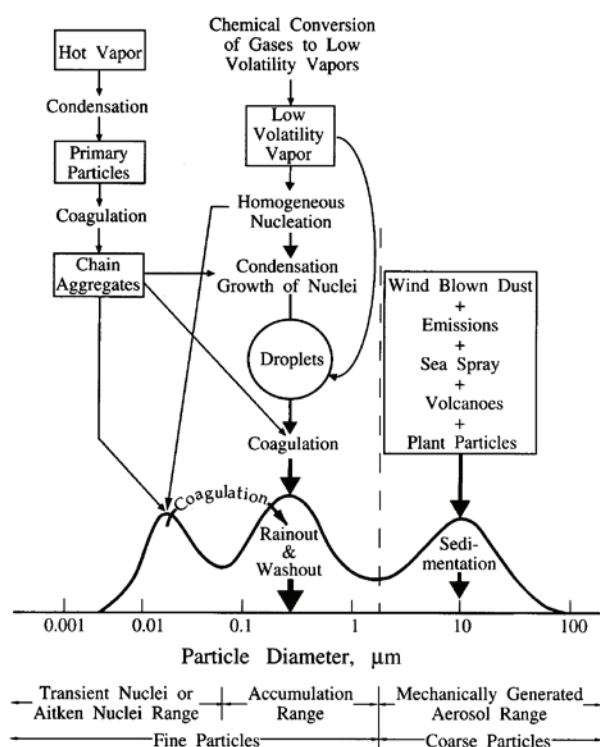
En dan kan ook nog wel eens de term zwevende deeltjes beluisterd worden. De term 'zwevende deeltjes' is eigenlijk niets anders als een synoniem voor het algemene begrip 'stof'. De wetgever maakt het ons echter niet gemakkelijk. In de allereerste regelgeving stond zwevende deeltjes gewoon voor stof; in de huidige Europese (en Nederlandse) wetgeving staat zwevende deeltjes voor fijn stof.

Maar hoe kan het zijn dat er vroeger alleen stof, TSP en zwarte rook was en tegenwoordig stof in allerlei soorten en maten? Deze ontwikkeling heeft vooral te maken met de toegenomen kennis over de mogelijk schadelijke effecten van stof. Aanvankelijk stond stof onder verdenking van schadelijke gezondheidseffecten als het voorkwam in combinatie met hoge concentraties van zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ). Dit zien we ook terug in de eerste Europese en Nederlandse regelgeving uit de jaren tachtig van de vorige eeuw. In deze wetgeving waren doelstellingen voor de luchtkwaliteit opgenomen, waarbij maximaal toelaatbare concentraties van zwaveldioxide waren gekoppeld aan *gelijktijdig* voorkomende stofconcentraties. Later bleek uit onderzoek dat stof ook geheel op zichzelf schadelijke effecten kan veroorzaken.

Wij spraken al over de grootteverdeling van fijn stof. Het besef dat specifieke onderdelen van het stof meer schadelijk zijn dan andere heeft vervolgens geleid tot een detaillering in de fysische omschrijvingen. Zo zijn omschrijvingen als  $\text{PM}_{10}$  en  $\text{PM}_{2,5}$  ontstaan. Het deel PM in deze termen is ontleend aan het Engels, want PM staat Particulate Matter. In het Nederlands zou dit dan zoiets geworden zijn als Deeltjesvormige Materie, maar dat zeggen we niet in het Nederlands. De vertaling fijn stof voor het Engelse Particulate Matter is onjuist. Fijn stof is het Nederlandse equivalent van  $\text{PM}_{10}$ . Maar waar staat die 10 dan voor? De 10 geeft een afbakening van een specifieke deelverzameling van het geheel aan in de lucht voorkomend stof. Vaak wordt als definitie voor  $\text{PM}_{10}$  gebruikt: het stof met een diameter van 10  $\mu\text{m}$  of minder. Dit is strikt genomen niet juist, maar bij benadering wel correct. Een nadere uitleg komt later in het onderdeel Meten aan de orde. Binnen fijn stof, dus  $\text{PM}_{10}$ , kan nog een verder onderscheid naar grootte worden gemaakt. De fractie  $\text{PM}_{2,5}$  bevat de fijne en ultrafijne deeltjes. Op een zelfde wijze kan de deelverzameling  $\text{PM}_1$  gedefinieerd worden. De fractie met een grotere diameter dan 2,5  $\mu\text{m}$  maar kleiner dan 10  $\mu\text{m}$  wordt aangeduid met grof stof, in het Engels 'coarse' en met de term  $\text{PM}_{2,5-10}$ .



Afbeelding 10 Klassieke opstelling om luchtverontreiniging te meten. Buitenlucht wordt via de trechter aan de linkerkant aangezogen. De lucht gaat eerst door een filter waar stof wordt afgevangen. Daarna gaat de lucht door een wasflesje met een waterstofperoxide-oplossing. Het zwaveldioxide in de lucht reageert hier met het waterstofperoxide en wordt omgezet in sulfaat. Het filter zal na afloop van de monsternemingsperiode op zwarte rook 'geanalyseerd' worden. De inhoud van het wasflesje wordt geanalyseerd op sulfaat; dit levert een zwaveldioxideconcentratie op. De gasmeter dient om het volume van de doorgezogen lucht te bepalen. De pomp zorgt voor de aanzuiging van de lucht.



De deeltjes die schadelijk zijn voor de gezondheid, hebben grotendeels een diameter van minder dan  $2\text{ }\mu\text{m}$ . Deze kleinere deeltjes komen vooral uit antropogene bronnen. Deze komen of direct in de atmosfeer, de emissie van primair stof, of ze ontstaan door chemische reacties in de atmosfeer. Deze deeltjes kunnen gemakkelijk samenklonteren en zo grotere deeltjes vormen ('coagulation'). De grotere deeltjes zijn vooral van natuurlijke oorsprong. Zij ontstaan door mechanische processen. Voorbeelden zijn de vorming van zeezoutaerosol uit opspattend zeewater, pollen van bomen en opgewerveld bodemstof. Al het stof in de lucht zal er vroeg of laat weer uitkomen. De grotere deeltjes verdwijnen veelal door uitzakken ('sedimentation'). De kleinere deeltjes verdwijnen vooral door opname in wolken ('rainout') en door uitregenen ('washout').



### Elementair woordgebruik

**Aerosol(en).** Vaste en vloeibare stoffen in lucht; niet nader gespecificeerd.

**Stof.** Algemene term voor stofvormige luchtverontreiniging; niet nader gespecificeerd.

**Fijn stof.** Fijn stof bestaat grotendeels uit deeltjes met een diameter van 10 µm of minder. De euquivalent uitdrukking in de Verenigde Staten is 'small particles'. In het Duits de uitdrukking 'Feinstaub'. In de Verenigde Staten worden met 'fine particles' de deeltjes bedoeld met een diameter van 2,5 µm of minder.

**Rook.** Zichtbare vorm van stofvormige luchtverontreiniging, veelal wit of grijs.

**Roet.** Zichtbare vorm van stofvormige luchtverontreiniging, veelal zwart. De zwarte kleur komt door de aanwezigheid van elementair koolstof en/of teerachtige stoffen.

**Totaal stof.** Gewoon al het stof in de lucht, maar toch ook weer niet alles.

**Ultrafijn stof.** Definitie kan afhangen van de spreker. Het bestaat grotendeels uit deeltjes met een diameter van 2,5 µm ( of 1 µm of 0,1 µm) of minder.

**Zwarte rook.** Stof dat gemeten wordt met de zwarterookmethode; voor een uitleg zie tekst. Zwarte rook bestaat grotendeels uit deeltjes met een diameter van 4,5 µm of minder. Wat tegenwoordig met de zwarterookmethode wordt gemeten, is overigens nauwelijks nog zwart.

**Zwevende deeltjes.** Algemene term voor stofvormige luchtverontreiniging; niet nader gespecificeerd. Werd vroeger als begrip in de wetgeving gebruikt.

### Jargon

Elk vak heeft zijn eigen jargon. Dat is nogal eens lastig voor buitenstaanders. Het meest voorkomende euvel bij deskundigen is dat zij vaak in een taal van samenvattingen lijken te spreken. Blijkbaar is het motto: de goede verstaander heeft aan een half woord genoeg. Hier een lijstje met veel gebruikt jargon.

**Biostof.** Nee, geen nieuw biologisch verantwoorde koekjes, maar fijn stof van biologische oorsprong of fijn stof uit biologische bronnen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan bomen als bronnen en pollen bijvoorbeeld als vorm van dit soort stof.

**Dagnorm.** Dit is niet bijvoorbeeld het quantum spijkers dat een fabriek in een communistische heilstaat in een dag moet produceren. Het is de samenvatting van 'grenswaarde voor de daggemiddelde fijnstofconcentratie'. Lelijk taalgebruik; vermijden.

**Jaarnorm.** Zoals bij dagnorm, maar dan de 'grenswaarde voor de jaargemiddelde fijnstofconcentratie'.

**Norm.** Het begrip norm is in de context van de wet- en regegeving voor luchtverontreiniging meestal niet onjuist. Niettemin spreekt de wetgever tegenwoordig in het geval van fijn stof bij voorkeur van grenswaarde.

### Fijn stof of fijnstof?

Het onderwerp fijn stof roept niet alleen bij wetenschappers en bestuurders vragen op. Ook taalkundig is er enige verwarring. Een zaak is duidelijk: woorden als fijnstofconcentratie of fijnstofproblematiek worden als een woord geschreven. Dit valt onder de regel voor de schrijfwijze van samenstellingen. Een samenstelling is een woord dat is opgebouwd uit twee of meer woorden die ieder zelfstandig kunnen voorkomen. Volgens de regel wordt zo'n samenstelling als een woord geschreven.

Lastig ligt het bij het woord fijn stof. Of is het fijnstof? Het deel 'fijn' in fijn stof is namelijk in deze context niet de gebruikelijke schrijfwijze van dit bijvoeglijke naamwoord. Zo spreken van de fijne keuken en het fijne meisje, maar niet over het fijne stof. Het lijkt meer op een woord als kleinbedrijf en grootverbruik. Dit zou pleiten voor de schrijfwijze fijnstof. De Duitsers doen dat ook: Feinstaub. De kranten zijn verdeeld. Sommige houden het bij fijn stof, andere noteren soms fijnstof. De Taaladviesdienst houdt het op fijn stof. De argumentatie is echter niet sterk. Zij meldden desgevraagd in 2002: 'De combinatie fijn + stof bestaat uit het bijvoeglijk naamwoord fijn en het zelfstandig naamwoord stof. In het algemeen blijft een bijvoeglijk naamwoord losstaan van het zelfstandig naamwoord waar het bij hoort: oud gereedschap, fijn gereedschap, een fijne vakantie, enzovoort. In een paar gevallen zijn bijvoeglijk naamwoord en zelfstandig naamwoord zo'n vaste combinatie geworden dat ze aaneen worden geschreven. Dat is bijvoorbeeld het geval bij kleinbedrijf (in midden- en kleinbedrijf), sterkedrank en openlucht. Deze vaste combinaties zijn meestal in de woordenboeken opgenomen. Het woord fijnstof is daarin echter niet opgenomen. Het ligt daarom volgens ons voor de hand om dit als twee losse woorden te schrijven: fijn stof'. Wie toch fijnstof prefereert, moet ook letten op de uitspraak. De klemtoon ligt dan op de eerste lettergreep, zoals in groothandel en kleinverbruiker.

U zult deskundigen zelden de term fijn stof horen gebruiken met een lidwoord. Incidenteel kan de uitdrukking 'het fijn stof' opgevangen worden in een zin als: 'Het fijn stof is een probleem'. Gebruikelijker is echter: 'Fijn stof is een probleem'. Of: 'Het meeste fijn stof komt uit het buitenland'. Het laatste voorbeeld is aardig, want je zegt 'meeste' met een e en direct daarna 'fijn' zonder e.

We kunnen dus concluderen dat fijn stof, of zo u wilt fijnstof, ook taalkundig voor verwarring zorgt.

Fijn stof is in chemisch opzicht geen eenduidig en daarom ook geen eenvoudig begrip. Het is eigenlijk een mengsel van een groot aantal verschillende stoffen met uiteenlopende chemische eigenschappen. Daarom wordt soms ook wel de term ‘containerbegrip’ voor  $PM_{10}$  gebruikt. In beeldende termen is fijn stof te vergelijken met een soort rommeldoos waarin zich zeer uiteenlopende materialen bevinden. Ook de schadelijkheid voor de menselijke gezondheid van de verschillende bestanddelen verschilt sterk. Onderzoek naar de chemische samenstelling van fijn stof in Nederland heeft geleid tot een goed inzicht in de samenstelling ervan. De belangrijkste bestanddelen zijn:

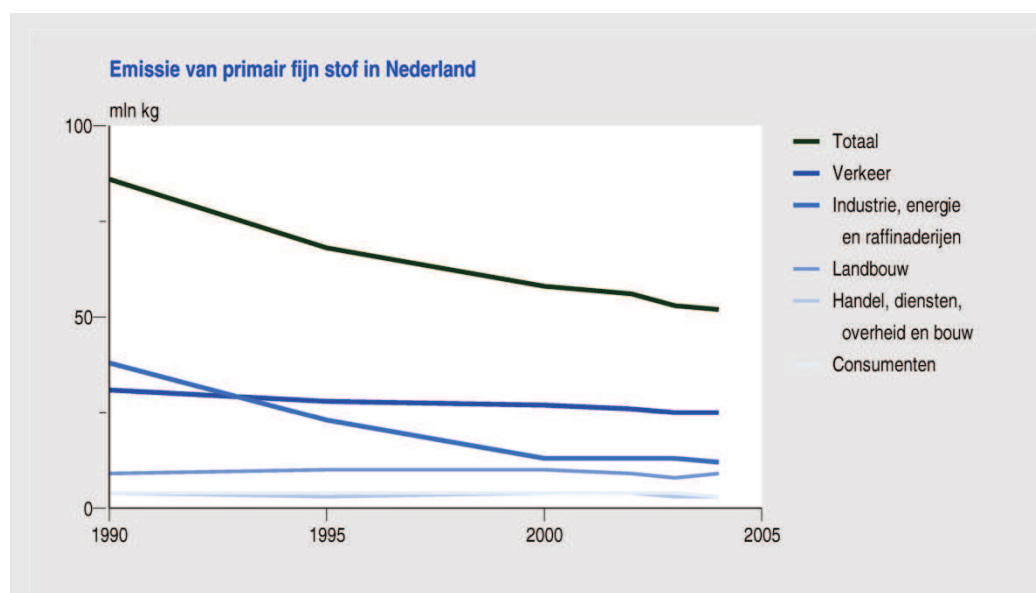
- *Anorganische secundaire stoffen.* Dit is vooral sulfaat- ( $SO_4$ ), nitraat- ( $NO_3$ ) en ammonium- ( $NH_4$ )-aerosol. Deze stofdeeltjes worden in de atmosfeer gevormd uit de gasen zwaveldioxide ( $SO_2$ ), stikstofoxiden ( $NO_x$ ) en ammoniak ( $NH_3$ ). De massabijdrage van deze bestanddelen aan de jaargemiddelde concentratie is zo’n 10  $\mu g/m^3$ . 90% van deze bestanddelen bevindt zich in de  $PM_{2,5}$ -fractie. Vrijwel al deze secundaire bestanddelen zijn van antropogene oorsprong. De Engelse term voor deze groep stoffen is Secondary Inorganic Aerosol, wat vaak wordt afgekort tot SIA.
- *Koolstof en koolstofbevattende stoffen.* Dit gaat vooral om elementair koolstof (C) en organische verbindingen. Deze stofdeeltjes worden voor het grootste deel direct geëmitteerd. De massabijdrage van deze bestanddelen is 5  $\mu g/m^3$ , waarvan 1  $\mu g/m^3$  elementair koolstof. Roet bestaat uit een mengsel van elementair koolstof en organisch gebonden koolstof. Een klein deel van de koolstofbevattende bestanddelen wordt in de lucht gevormd door chemische reactie, het secundair organisch aerosol. In het Engels luidt de term Secondary Organic Aerosol (wat weer aanleiding geeft tot de in het Nederlands multi-interpretabele afkorting SOA). De concentratie wordt geschat op 1  $\mu g/m^3$ . De koolstofbevattende bestanddelen bevindt zich voor 90% in de  $PM_{2,5}$ -fractie. Deze groep bevat ook nog een geringe hoeveelheid polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Het elementaire koolstof en de PAK zijn volledig van antropogene oorsprong. De overige organische verbindingen zijn deels van natuurlijke en deels van antropogene oorsprong.
- *Zeezout.* Zeezout bestaat voornamelijk uit natriumchloride (‘keukenzout’) met kleinere bijdragen van magnesium-, calcium-, en kaliumverbindingen. Zeezoutaerosol is van natuurlijke oorsprong en ontstaat in de lucht wanneer de wind over het zeewateroppervlak blaast. Gemiddeld over Nederland is de massabijdrage van zeezout 4-5  $\mu g/m^3$ . Tussen de 25 en 50% van het zeezout bevindt zich in de  $PM_{2,5}$ -fractie.
- *Oxiden van metalen en silicium.* Dit zijn oxiden van silicium, aluminium, calcium, ijzer, en kalium. Ze zijn grotendeels afkomstig van opwaaiend bodemstof. Dit bodemstof komt voornamelijk in de lucht door menselijke activiteiten, alhoewel het stof zelf veelal een natuurlijke oorsprong heeft. De totale bodemstof-concentratie is, gemiddeld over Nederland, 4  $\mu g/m^3$ . Bodemstof bestaat voor het overgrote deel (70-90%) uit deeltjes die groter zijn dan  $PM_{2,5}$ .
- *Water.* Jazeker, gewoon water. Bestanddelen van fijn stof, en dan vooral de anorganische secundaire bestanddelen, kunnen chemisch gebonden water, kristalwater of hygroscopisch aangetrokken water bevatten. De bijdrage van dit water wordt geschat op 10-15% van de totale fijnstofconcentratie. Het aandeel water in de  $PM_{2,5}$ -fractie is overigens groter, omdat het water vooral gebonden is aan anorganische secundaire bestanddelen.

Een andere doorsnede die gemaakt kan worden, is naar primaire en secundaire componenten. Dit is geen chemische indeling, maar een indeling naar herkomst. Primaire componenten zijn afkomstig van emissies van primair fijn stof. Het gaat om stoffen die in atmosfeer in dezelfde vorm aanwezig zijn zoals ze geëmitteerd zijn. In deze categorie vallen zeezout, elementair koolstof, sporenmetalen als lood, cadmium, nikkel, mangaan, chroom, zink, en minerale componenten, waaronder aluminium, silicium, ijzer en calcium. Secundaire componenten bespreken we hiervoor al: ammonium, nitraat, sulfaat.

Maar ook water valt hieronder, omdat het vaak vanuit de lucht wordt opgenomen in stofdeeltjes. Tot slot is er nog een groep stoffen die zowel primaire als secundaire componenten kan bevatten: de groep van de organische stoffen. Primair organisch koolstof komt vrij bij verkeersemissies en industriële processen. Het secundaire koolstof betreft stoffen die bijvoorbeeld door oxidatie ontstaan uit primair geëmitteerde vluchtige organische stoffen.

De samenstellende deeltjes van fijn stof hebben, afhankelijk van de grootte, een atmosferische verblijftijd in de orde van dagen tot weken. Daardoor kan fijn stof zich over afstanden van duizenden kilometers verplaatsen en is fijn stof een probleem op continentale schaal. We moeten hierbij bedenken dat lucht bij een windsnelheid van 5 meter per seconde - en dat is slechts een schamele windkracht 3 - in een dag een afstand van 432 kilometer aflegt. Deze eigenschap zal, zoals nog zal blijken, de nodige problemen opleveren, als we een oplossing zouden willen bedenken voor het probleem van te hoge (fijn)stofconcentraties.

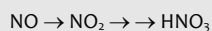
Maar waar komt al dat stof dan vandaan? Voor het overzicht maken we een onderscheid naar natuurlijke en naar antropogene bronnen (weer een andere indeling!). Verder is het voor een goed begrip nuttig om de verdeling primair en secundair stof in herinnering te brengen. Primair stof is stof dat direct als zodanig in de lucht wordt gebracht. Secundair stof is stof dat in de lucht ontstaat uit reacties van in de atmosfeer aanwezige stoffen. Belangrijkste vormen van secundair stof zijn ammoniumsulfaat  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  en ammoniumnitraat  $(\text{NH}_4\text{NO}_3)$ . Beide stoffen ontstaan via een aantal reacties uit de luchtverontreinigingscomponenten ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) en zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ). De emissie van primair fijn stof bedroeg in 2004 in Nederland 52 miljoen kilo. In 1990 was dat nog bijna anderhalf maal zo veel. De afnemende emissie van primair fijn stof in Nederland bij bedrijven (industrie, raffinaderijen en energiesector) is vooral te danken aan regelgeving, waaronder het Besluit Emissie-Eisen Stookinstallaties (BEES) en de Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht (NER). Dit heeft geleid tot maatregelen zoals procesaanpassingen en een groter gebruik van filters. De (geringe) daling bij het wegverkeer is te danken aan Europese regelgeving voor uitlaatgasemissies. De daling mag dan wel gering zijn, maar hierbij moet wel bedacht worden dat het aantal personenauto's en de mobiliteit in dezelfde periode sterk is toegenomen.



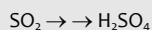
Afbeelding 11 De emissie van primair fijn stof in Nederland, 1990-2004. De emissie van de zeescheepvaart is niet in de grafiek opgenomen. Deze bedroeg in 2000 voor binnengaatsse emissies 2 mln kg; die op het Nederlandse deel van het continentaal plat 8 mln kg.

### Het secundair aerosol

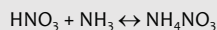
Secundair aerosol ontstaat in de atmosfeer uit primaire vormen van luchtverontreiniging, namelijk uit ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), stikstofoxiden ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) en zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ).



Stikstofmonoxide  $\rightarrow$  stikstofdioxide  $\rightarrow$  salpeterzuur



Zwaveldioxide  $\rightarrow$  zwavelzuur



Salpeterzuur + ammoniak  $\leftrightarrow$  ammoniumnitraat

Het symbool  $\leftrightarrow$  duidt erop dat de reactie niet volledig verloopt. Dit betekent dus dat niet al het salpeterzuur en/of ammoniak wordt omgezet in ammoniumnitraat. Ook de temperatuur en de relatieve vochtigheid zijn van invloed op de mate van omzetting. Ammoniumnitraat is mede daardoor een van de probleemgevallen bij de monsterneming van fijn stof.



Zwavelzuur + ammoniak  $\rightarrow$  ammoniumsulfaat of ammoniumwaterstofsulfaat.

Wat precies ontstaat, hangt af van de verhouding van de concentraties van zwavelzuur en ammoniak.

### Vliegias aan de Zaan

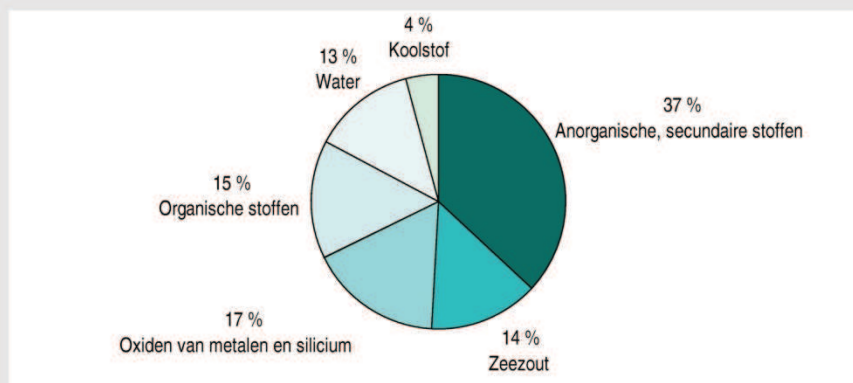
‘Het vervoer van vliegias in Zuid-Oost Zaandam, bestemd voor ophoging van een bouwterrein, blijft vele moeilijkheden veroorzaken. Het stof stuift door alles heen, zó zelfs dat op de Zuiddijk een drukke winkelstraat, bij slagers het vlees voor verkoop moest worden afgekeurd. Groentehandelaren kunnen hun bloemkool niet meer verkopen, want die is zwart geworden van het stof.’

Bericht in een onbekend dagblad in 1953

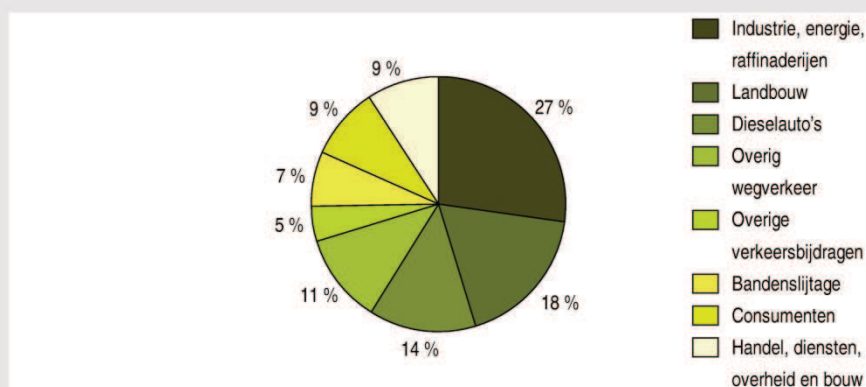


Afbeelding 12 Bij stofstormen kunnen in korte tijd aanzienlijke hoeveelheden stof in de atmosfeer komen. Een gedeelte van het stof is zo klein dat het lange tijd in de lucht kan blijven. Stof uit Noord-Afrika bereikt gemiddelde twee keer per jaar Nederland. Het stof heeft vaak een okergeel uiterlijk. Khamsin in de tekst van Kuifje is een Egyptisch woord. Het staat voor een warme woestijnwind die een verzengende wind aanvoert vanuit het zuidwesten van Egypte. In andere delen van Noord-Afrika bestaan vergelijkbare krachtige winden, zoals de Sirocco en de Chili of Ghibli.

Bron: Kuifje en het zwarte goud.



Afbeelding 13 De gemiddelde samenstelling van fijn stof in Nederland. De jaargemiddelde concentratie, inclusief een correctiefactor van 1,33, bedroeg in 2003 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Afbeelding 14 Emissie van primair fijn stof in Nederland in 2003. Het verkeer is verantwoordelijk voor een derde van de emissies. In de categorie 'Industrie ed' vallen naast de emissies door industriële activiteiten ook de emissies door energiecentrales en raffinaderijen. De emissie in de categorie 'Handel, diensten, overheid en de bouw' betreft vooral de emissie door op- en overslag.





Afbeelding 15 Vulkaanuitbarstingen zorgen voor de emissie van kolossale hoeveelheden stof. Hier een afbeelding van de uitbarsting van Mount Saint Helens in de Verenigde Staten in 1980. Dergelijke emissies kunnen met zo'n geweld gebeuren dat het uitgestoten stof zelfs in de stratosfeer terecht komt. Het gevolg is dat het weer jarenlang van slag is. Bij de uitbarsting van Mount Saint Helens ging ongeveer  $1 \text{ km}^3$  stof de lucht in. Dit komt ongeveer overeen met 2000 miljard kilogram stof. Ter vergelijking kan dienen dat de antropogene stofemissie in Nederland in 2003 42 miljoen kilogram bedroeg.



Afbeelding 16 Barbecuen is niet alleen een gevaar voor de volksgezondheid, omdat halfrauw vlees wordt gegeten. Een barbecue is ook een belangrijke bron van stofemissies op de lokale schaal. Ook bij de bereiding van het vlees komen schadelijke stoffen vrij, waaronder 'rook' en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Ook open haarden dragen behoorlijk bij aan de emissie van stofvormige luchtverontreiniging. Opstalverzekeraars eisen dat in het geval een huis een open haard of anderszins klassiek soort kachel heeft, de schoorsteen elk jaar geveegd moet worden. Niet omdat verzekeraars bezorgd zijn over de luchtkwaliteit of over stofemissies, maar het in de schoorsteen opgehoopte stof kan een schoorsteenbrand veroorzaken. Zelfs het afbranden van het huis kan het gevolg zijn (waarbij overigens wel weer veel rook kan ontstaan).



Afbeelding 17 Boven: oude luchtverontreiniging in Londen. Onder: nieuwe luchtverontreiniging in Bogota.





## Metten

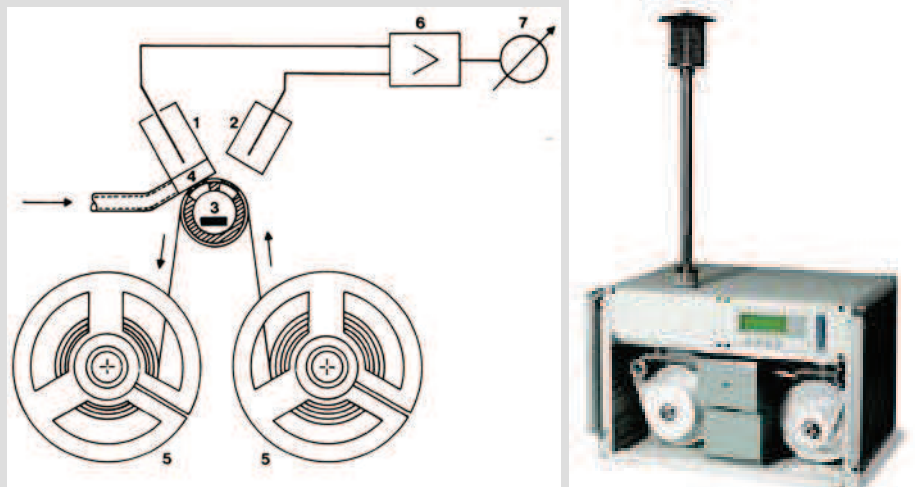
De resultaten van metingen zijn een belangrijke bron van informatie voor het doen van uitspraken over de luchtkwaliteit. Maar hoe wordt fijn stof eigenlijk gemeten? En hoe goed zijn die metingen? Deze paragraaf presenteert de meest voorkomende meetmethoden, maar ook de daaraan verbonden problemen. Ook het op het oog wat merkwaardige verschijnsel dat de resultaten van fijnstofmetingen soms gecorrigeerd (moeten) worden, komt hier aan de orde. Want waarom zouden de meetresultaten eigenlijk gecorrigeerd moeten worden?

Het meten van stof is in theorie heel simpel. Het gebeurt op een manier zoals waarschijnlijk iedereen het bedacht zou kunnen hebben: het scheiden van lucht en het zich erin bevattende stof. Eigenlijk een soort stofzuigen dus, of meer wetenschappelijk: leidt lucht door een filter en het stof in de lucht zal op het filter achterblijven. Meet na verloop het gewicht van het op het filter verzamelde stof en, als ook de doorgeleide hoeveelheid lucht is gemeten, bereken de stofconcentratie in lucht. En dat is ook precies zoals het al lang geleden werd gedaan. Ook nu nog is dit het principe. We kunnen dit vinden in de Europese regelgeving op het terrein van de luchtverontreiniging. Deze regelgeving omvat onder andere een richtlijn die gaat over fijn stof. In deze richtlijn staat een voorkeursmethode vermeld, in het jargon de referentiemethode, zeg maar de juiste methode (zie tekstbox *De referentiemethode*). Deze methode heeft wel een nadeel, het is namelijk een semi-automatische methode. Dit houdt in dat de monsterneming, lees het bezuigen van het filter, automatisch verloopt. Ook het na zekere tijd verwisselen van het filter in het apparaat kan automatisch uitgevoerd worden. Er zal echter wel met enige regelmaat iemand naar het apparaat toe moeten om de bezogen filters op te halen en nieuwe filters te installeren. Vervolgens kunnen de bezogen filters in het laboratorium gewogen worden. De logistiek en de weging vormen het niet-automatische deel van de procedure. De uiteindelijke meting is gebaseerd op wegen; reden dat deze methode daarom ook wel een gravimetrische methode wordt genoemd. Het hiervoor genoemde 'na zekere tijd' is meestal een dag. Het gevolg is dus ook dat op deze wijze een daggemiddelde (stof)concentratie wordt verkregen.

De hier geschetste procedure is nogal bewerkelijk en vereist permanente logistieke inspanning en inzet van mensen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat al in de jaren vijftig van de vorige eeuw pogingen zijn ondernomen om tot een volledig automatische meting te komen. De logistieke inspanning zou dan beperkt kunnen blijven evenals de behoefte aan menskracht. Dit is uitgemond in de ontwikkeling van een aantal automatische meetsystemen. De belangrijkste hiervan zijn de methode op basis van verzwakking van  $\beta$ -straling en de methode op basis van de oscillerende microbalans. Deze zullen hieronder kort worden besproken.

De  $\beta$ -stofmethode maakt voor de meting gebruik van  $\beta$ -deeltjes. Dit zijn elektronen die vrijkomen bij het uiteenvallen van sommige radioactieve atoomsoorten. Het apparaat, dat in de wandeling ook wel de  $\beta$ -stofmonitor heet, bevat een radioactieve bron; deze bevat gewoonlijk een radioactieve isotoop van het element koolstof ( $^{14}\text{C}$ ), krypton ( $^{80}\text{Kr}$ ) of promethium ( $^{147}\text{Pm}$ ). Deze bron zendt  $\beta$ -deeltjes uit. De intensiteit van de  $\beta$ -deeltjes wordt verzwakt als de  $\beta$ -deeltjes door een vaste stof wordt gestuurd. De  $\beta$ -stofmonitor gebruikt een filterband om het stof te verzamelen. Lucht wordt door de filterband geleid en het stof in de lucht blijft op de filterband achter. De intensiteit van de  $\beta$ -deeltjes wordt gemeten voor en na de belading van het filter met stof. De mate van verzwakking is een maat voor de hoeveelheid stof op het filter en daarmee voor de stofconcentratie in de lucht. Met opzet staat in de definitie 'een maat voor'. De mate van verzwakking is namelijk niet eenduidig gerelateerd aan de massa, maar hangt samen met de dichtheid, en daarmee met de chemische samenstelling, van het materiaal dat op het filter aanwezig is (zie ook tekstbox *De  $\beta$ -stofmonitor*). De gehele cyclus van monsterneming en meting is bij de  $\beta$ -stofmonitor geautomatiseerd. De gemeten concentraties gaan via een telefoonlijn en computersystemen naar een centrale database. Ze komen vrijwel real time beschikbaar.

## De $\beta$ -stofmonitor



**De onderdelen van een  $\beta$ -stofmonitor.** 1. De eerste ionisatiekamer; hier wordt de sterkte van de  $\beta$ -straling gemeten die door het met stof beladen filter is gegaan. 2. De tweede ionisatiekamer; hier wordt de sterkte van de  $\beta$ -straling gemeten die door de nog niet met stof beladen filterband is gegaan. Dit is de zogenaamde nulmeting. Het stukje filter dat hier bemeaten wordt, is hetzelfde stukje dat in een volgende cyclus met stof wordt beladen. 3. De radioactieve bron. 4. De plaats waar het stof wordt verzameld. Buitenlucht met stof wordt vanaf rechts aangevoerd. 5. De spoelen met het filterband. 6. Elektronische dataverwerkingsapparatuur. 7. Uitlezing van de meetwaarden.

**De meting.** De meting in een  $\beta$ -stofmonitor berust op de verzwakking van  $\beta$ -straling als deze door op een filter verzameld stof wordt geleid. De mate van verzwakking hangt in eerste benadering af van de massa van het stof op het filter. In eerste benadering, want strikt genomen hangt de verzwakking af van de elektronendichtheid. Het stof is opgebouwd uit een veelheid aan stoffen. Deze stoffen zijn opgebouwd uit atomen. Atomen bevatten als bouwstenen onder andere elektronen. Er zijn lichte atomen met weinig elektronen, zoals waterstof of koolstof, en zware atomen met veel elektronen, zoals lood. Samengevat kunnen we stellen dat de mate van verzwakking dus bepaald wordt door de chemische samenstelling van het stof op het filter. Dit kan betekenen dat een hoeveelheid stof op de ene plaats een andere verzwakking kan geven dan een zelfde hoeveelheid stof op een andere plaats. Dit staat dus nog los van eventuele verdampingsverliezen.

Voor wie het precies wil weten, dienen de onderstaande formules.

De verzwakking van de  $\beta$ -straling hangt af van de elektronendichtheid van het materiaal waar de  $\beta$ -straling doorheen gaat. De elektronendichtheid,  $\rho_e$ , is gerelateerd aan de chemische samenstelling:

$$\rho_e = \rho N_a \frac{Z}{M} \text{ met}$$

|        |                                            |
|--------|--------------------------------------------|
| $\rho$ | dichtheid van het absorberende materiaal   |
| $N_a$  | getal van Avogadro                         |
| $Z$    | atoomnummer van het absorberende materiaal |
| $M$    | atoommassa van het absorberende materiaal  |

We kunnen stellen dat, in redelijke benadering, de verhouding  $Z/M$  voor de meeste elementen in de orde van 0,4-0,5 ligt. Anders ligt het bij de dichtheid; deze kan meer uiteenlopen. Zo heeft water een dichtheid van 1 ( $\text{kg/dm}^3$ ), rubber van 1,5, ammoniumnitraat van 1,7 en koolstof en zeezout van 2,2.

De gemeten intensiteit van de  $\beta$ -straling is:

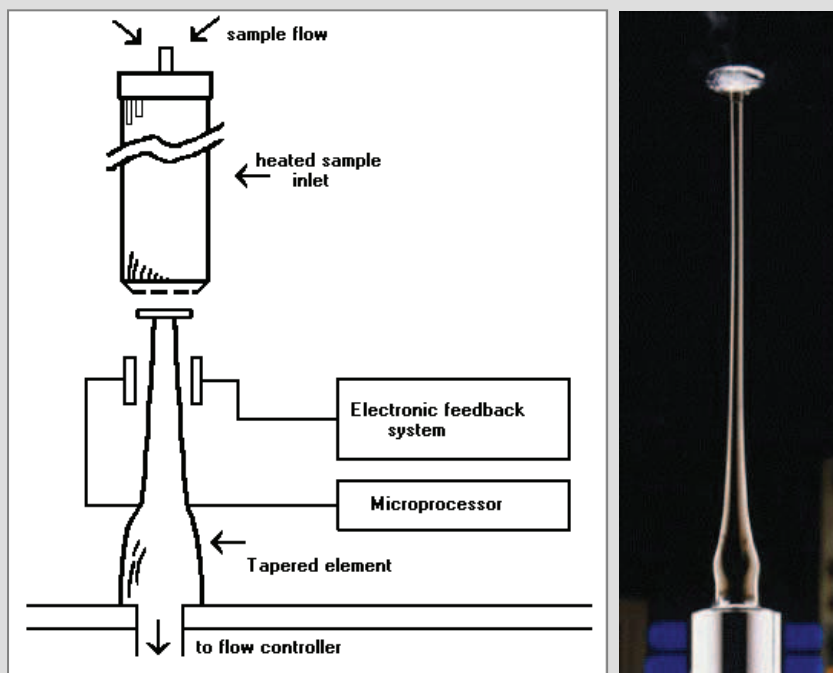
$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_m (x_{bl} + x_{stof})}$$

|            |                                                                                                                                                                                              |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I_0$      | de intensiteit van de bron van de $\beta$ -straling                                                                                                                                          |
| $\mu_m$    | absorptiecoëfficiënt; is een grootheid die karakteristiek is voor de toegepaste $\beta$ -bron van het op het filter aanwezige materiaal;                                                     |
| $x_{bl}$   | absorber oppervlaktedichtheid van het filter                                                                                                                                                 |
| $x_{stof}$ | absorber oppervlaktedichtheid van het stof op het filter; deze is gerelateerd aan de elektronendichtheid en dus afhankelijk van de chemische samenstelling van op het filter aanwezige stof. |

Als voorafgaande aan de meting van een met stof beladen filter, een nulmeting wordt gedaan, is de berekening van de stofbelading rechttoe rechtaan. De uitkomst van de metingen wordt beïnvloed door de temperatuur van de aangezogen lucht en van het filter. Deze temperatuurstelling is een compromis tussen het voorkomen van condensatie van waterdamp enerzijds en het beperken van de verdamping van vluchtige aerosolen anderzijds. Dit leidt er echter wel toe dat een  $\beta$ -stofmonitor niet een zelfde meetwaarde zal produceren als de referentiemethode.

De andere veel gebruikte meetmethode is die waarbij gebruik wordt gemaakt van een oscillerende microbalans. Een principe dat ook wel wordt aangeduid met TEOM (zie ook de tekstbox *De TEOM*). TEOM staat voor Tapered Element Oscillating Microbalance. Deze methode gebruikt een spits toelopend glaselement waarop zich een filter bevindt. Dit glaselement oscilleert (voor te stellen als een trilling) met een karakteristieke frequentie. Belading van het filter met stof leidt tot een vermindering van de trillingsfrequentie. De mate van verandering van deze frequentie is een maat voor de hoeveelheid stof op het filter en daarmee van de stofconcentratie in de lucht. De gehele cyclus van nulmeting, monsterneming en meting is ook bij deze methode geautomatiseerd.

### De TEOM



**De onderdelen van de TEOM.** Buitenlucht wordt aan de bovenkant aangezogen en via een verwarmde inlaat naar de microbalans ('Tapered element') geleid.

**De meting.** Op de top van de oscillerende microbalans (zie uitvergroting rechts, in de figuur 'tapered element') ligt een filter waarop het stof wordt verzameld. De meting berust op een verandering van de trillingsfrequentie van de microbalans. Deze neemt af als de massa toeneemt. Er bestaat een directe relatie tussen de verandering van de trillingsfrequentie en de verandering van de massa volgens:

$$\Delta M(g) = K_0 \left( \frac{1}{f_1^2} - \frac{1}{f_0^2} \right) \text{ met}$$

$f_1$  en  $f_0$  de respectievelijke frequenties voor en na de belading

$K_0$  een apparaatconstante

De TEOM maakt gebruik van een absolute meetmethode, namelijk wegen, en zal daarom in principe juistere meetwaarden dan de  $\beta$ -stofmonitor moeten produceren. Bij de laatste gebeurt immers de massabepaling op indirecte wijze. Variaties in de omstandigheden tijdens de monsterneming en de meting doen echter ook de TEOM, net zoals de  $\beta$ -stofmonitor, geen goed. De effecten van wisselende vochtomstandigheden worden in de TEOM geëlimineerd door het filter te verwarmen. Dit kan leiden tot verlies van (semi-)vluchtige verbindingen als ammoniumnitraat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Ook hier kunnen we dus stellen dat de uitkomst van de metingen wordt beïnvloed door de temperatuur van de aangezogen lucht en van het filter. Deze temperatuurinstelling is een compromis tussen het voorkomen van condensatie van waterdamp enerzijds en het beperken van de verdamping van vluchtige aerosolen anderzijds.

## De referentiemethode

De eerste dochterrichtlijn voor de luchtkwaliteit zegt over de referentiemethode: "De methode die in prEN 12341 wordt beschreven is de "Air Quality Field Test Procedure to Demonstrate Reference Equivalence of Sampling Methods for the PM<sub>10</sub> fraction of particulate matter". De meting is gebaseerd op een filter op het opvangen van de PM<sub>10</sub>-fractie van zwevende deeltjes in de lucht en het bepalen van de gravimetrische massa.

De lidstaten mogen ook andere methoden toepassen waarvan de betrokken lidstaat kan aantonen dat ze resultaten opleveren die gelijkwaardig zijn aan de met bovenstaande methode verkregen resultaten, of andere methoden waarvan de betrokken lidstaat kan aantonen dat ze een constante samenhang met de referentiemethode vertonen.

In dat geval moeten de met die methode verkregen resultaten met een juiste factor worden gecorrigeerd zodat er resultaten worden gegenereerd die gelijkwaardig zijn aan die welke de toepassing van de referentiemethode zou hebben opgeleverd.

De lidstaten stellen de Commissie in kennis van de methode die voor monsterneming en meting van PM<sub>10</sub> wordt gebruikt. De Commissie maakt zo spoedig mogelijk onderlinge vergelijkingen tussen methoden voor monsterneming en meting van PM<sub>10</sub> om informatie te verschaffen voor de herziening van deze richtlijn overeenkomstig artikel 10."

De prEN<sub>12341</sub> is later vervangen door de EN<sub>12341</sub>, 'Air quality. Determination of the PM<sub>10</sub> fraction of suspended particulate matter. Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods'. Deze Europese standaard verwijst naar drie referentiemethoden die mogen worden gebruikt:

- De superhigh volume sampler, de WRAC of Wide Range Aerosol Classifier. Dit indrukwekkende apparaat is eigenlijk alleen geschikt voor onderzoeksdoeleinden en niet voor structurele operationele metingen. Het wordt ook wel beschouwd als zoiets als de primaire standaard.
- De high volume PM<sub>10</sub> monsternemer (hvs) met een debiet van 68 m<sup>3</sup> per uur.
- De low volume PM<sub>10</sub> monsternemer (lvs) met een debiet van 2,3 m<sup>3</sup> per uur. Naar dit apparaat wordt wel verwezen als Kleinfiltergerät of kortweg KFG (zie voor een voorbeeld *Afbeelding 20*).

Het is belangrijk om vast te stellen dat het gebruik van bovengenoemde apparaten om de PM<sub>10</sub> concentratie te meten niet per definitie leidt tot de vaststelling van de juiste concentraties. Met de apparaten worden 'PM<sub>10</sub>-concentraties volgens de richtlijn' gemeten. Ook bij deze referentiemethoden wordt het eindresultaat beïnvloed door positieve artefacten, zoals opname van water, en negatieve artefacten, zoals het verlies van vluchtige componenten. Niettemin kan strikt genomen gesteld worden dat als de metingen volgens de richtlijn uitgevoerd zijn, correcte meetresultaten worden verkregen.

De *Meetregeling luchtkwaliteit 2005* is in Nederland de meettechnische vertaling van de gedeelten uit de eerste dochterrichtlijn die gaan over het meten van fijn stof. Paragraaf 12 van de meetregeling gaat over referentiemethoden; artikel 18 richt zich op fijn stof. We lezen hier in *Artikel 18*.

"Voor de monsterneming en meting van PM<sub>10</sub> wordt gebruik gemaakt van

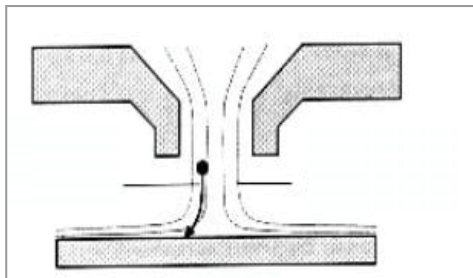
- a. de methode beschreven in prEN 12341, Air Quality – Field Test Procedure to Demonstrate Reference Equivalence of Sampling Methods for the PM<sub>10</sub> fraction of particulate matter, dan wel van
- b. een andere methode met behulp waarvan resultaten kunnen worden verkregen die gelijkwaardig zijn aan de met gebruikmaking van de onder a. genoemde methode verkregen resultaten, dan wel van
- c. een andere methode die een constante samenhang heeft met de onder a. genoemde methode. Op de met deze methode verkregen resultaten wordt een correctiefactor toegepast, teneinde resultaten te verkrijgen die gelijkwaardig zijn aan de met gebruikmaking van de onder a. genoemde methode, verkregen resultaten."

De meetregeling maakt in de toelichting bovendien specifiek melding van een correctiefactor van 1,33: 'De mogelijkheid om voor PM<sub>10</sub> een methode te gebruiken die een constante samenhang vertoont met de referentiemethode, is opgenomen in artikel 18, onder c van onderhavig besluit. In Nederland wordt voor PM<sub>10</sub> metingen in de praktijk gebruik gemaakt van een dergelijke methode. Op de uitkomsten wordt een correctiefactor toegepast van 1,33. Een onderbouwing van deze factor is te vinden in RIVM rapport 650010026, Betrouwbaarheid van PM<sub>10</sub>-metingen in Nederland: een samenvattend overzicht.

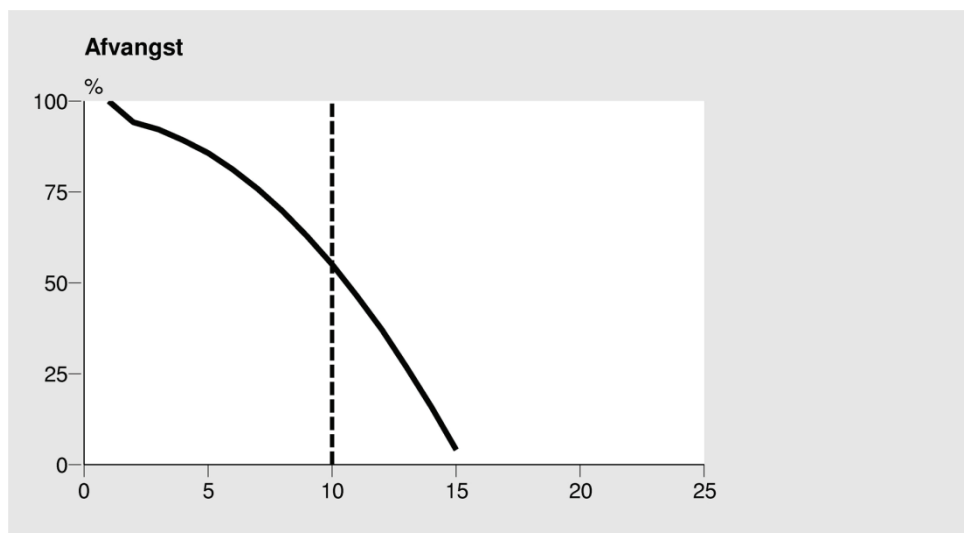
In 2005 en 2006 is verwarring ontstaan over de meetresultaten van fijn stof. Er lijkt sprake van een plotseling 'sprong' in de concentraties van 2004 naar 2005. Een bevredigende verklaring is hiervoor nog niet gevonden (zie ook de *tekstbox Nieuwe inzichten*). Het Laboratorium voor Milieumetingen (LVM) van het RIVM heeft daarop besloten voortaan een correctiefactor van 1,30 te hanteren. Dit is de default waarde voor de correctiefactor zoals die is voorgesteld door de Europese Unie. Dit betekent ook dat alle meetresultaten voor fijn stof met terugwerkende kracht herberekend zullen worden. De meetwaarden zullen hierdoor 2,3% (=1,3/1,33) lager uitvallen dan eerder gerapporteerd.

Bron: Bijlage IX. IV. Referentiemethode voor monsterneming en meting van PM<sub>10</sub> van de eerste dochterrichtlijn luchtkwaliteit; Meetregeling luchtkwaliteit 2005.

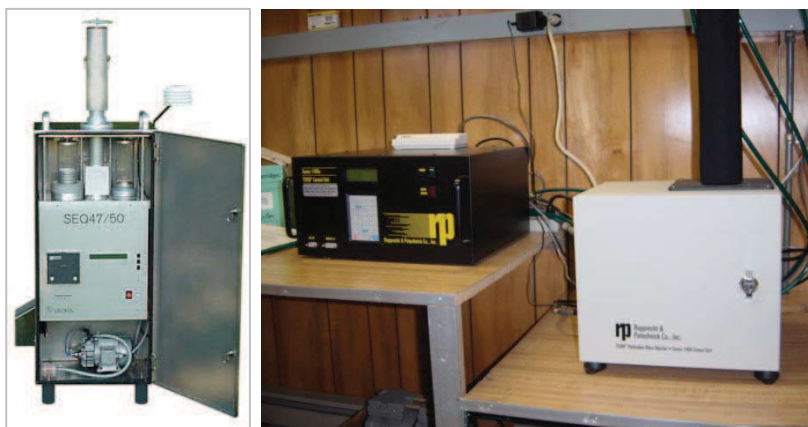
De belangstelling gaat tegenwoordig vooral uit naar het  $PM_{10}$ - en, in toenemende mate, het  $PM_{2,5}$ -gedeelte van het stof. De hier besproken, en ook andere, apparaten voor de meting van fijn stof, meten echter niet vanzelf de gewenste fractie van het stof in de lucht. Daarvoor is nog een extra voorziening nodig, de voorafscheider. Dit onderdeel wordt geplaatst aan het begin van de aanzuiging van de meetapparatuur. Het zorgt ervoor dat alleen de deeltjes van de gewenste grootte tot het meetapparaat worden toegelaten. De scheiding gebeurt vaak met een impactor.



Afbeelding 18 Principe van een impactor. Lucht wordt aangezogen door een nauwe opening. De grotere deeltjes kunnen door hun grotere massa en daardoor door hun grotere traagheid de stroomlijnen niet volgen en 'schieten door'; ze komen op de plaat terecht. De kleinere deeltjes volgen de stroomlijnen wel. Welke deeltjes wel en welke niet doorgelaten worden kan bereikt worden door een juiste dimensionering, zoals de afstand tussen de opening en de plaat mede in relatie tot de aanzuigsnelheid.



Afbeelding 19 De afsnijcurve van de  $PM_{10}$ -voorafscheider. De curve geeft aan welk percentage van het stof wordt afgevangen in relatie tot de diameter van de stofdeeltjes. De voorafscheider dient om een scheiding aan te brengen tussen de gewenste deeltjes (diameter  $< 10 \mu m$ ) en de ongewenste deeltjes (diameter  $> 10 \mu m$ ). Het is echter geen ja/nee-methode; het gevolg is dat van de deeltjes met een diameter minder dan  $10 \mu m$  ook lang niet alles wordt doorgelaten. Het betekent ook dat in  $PM_{10}$  door de manier van bemonsteren ook deeltjes met een (aanmerkelijk) grotere diameter dan  $10 \mu m$  kunnen zitten



Afbeelding 20 Links: de Leckel SEQ47/50 is een low volume  $PM_{10}$  monsternemer (lvs). Het is een voorbeeld van een apparaat dat voldoet aan de eisen voor de referentiemonitor. Rechts: de TEOM1400. Het rechtergedeelte bevat de meeteenheid; naar boven toe de aanzuigpijp. Het linker kastje is de regel- en communicatie-eenheid.



De zogenoemde semi-vluchtige bestanddelen vormen een probleem bij het meten van (fijn) stof. Dit geldt zowel bij de referentiemethode als bij de automatische metingen van fijn stof. De problemen spelen waarschijnlijk het minst bij de referentiemethode, omdat daarbij op geen enkele plaats in het monsternemingsgedeelte verwarming wordt toegepast. De omvang van het probleem hangt bij de automatische meetsystemen mede af van de temperatuurinstellingen in het monsternemings-gedeelte van het apparaat. Bij de vluchtige bestanddelen gaat het zowel om organische als om anorganische bestanddelen. Vooral ammoniumnitraat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) is in dit verband een belangrijke component. Verliezen van dit op een filter verzameld bestanddeel van fijn stof treden op, doordat ammoniumnitraat in evenwicht is met ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) en salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ) in lucht. De ligging van het evenwicht is temperatuurafhankelijk en kan daarom tijdens de monsterneming veranderen. Dit kan op een 24-uursbasis leiden tot onvoorspelbare verliezen van ammoniumnitraat. Bovendien wordt om condensatie van vocht te voorkomen de de aanzuigleiding tot vlak boven het filter verwarmd. Dit leidt echter eveneens tot verliezen van semi-vluchtige bestanddelen in het fijn stof.

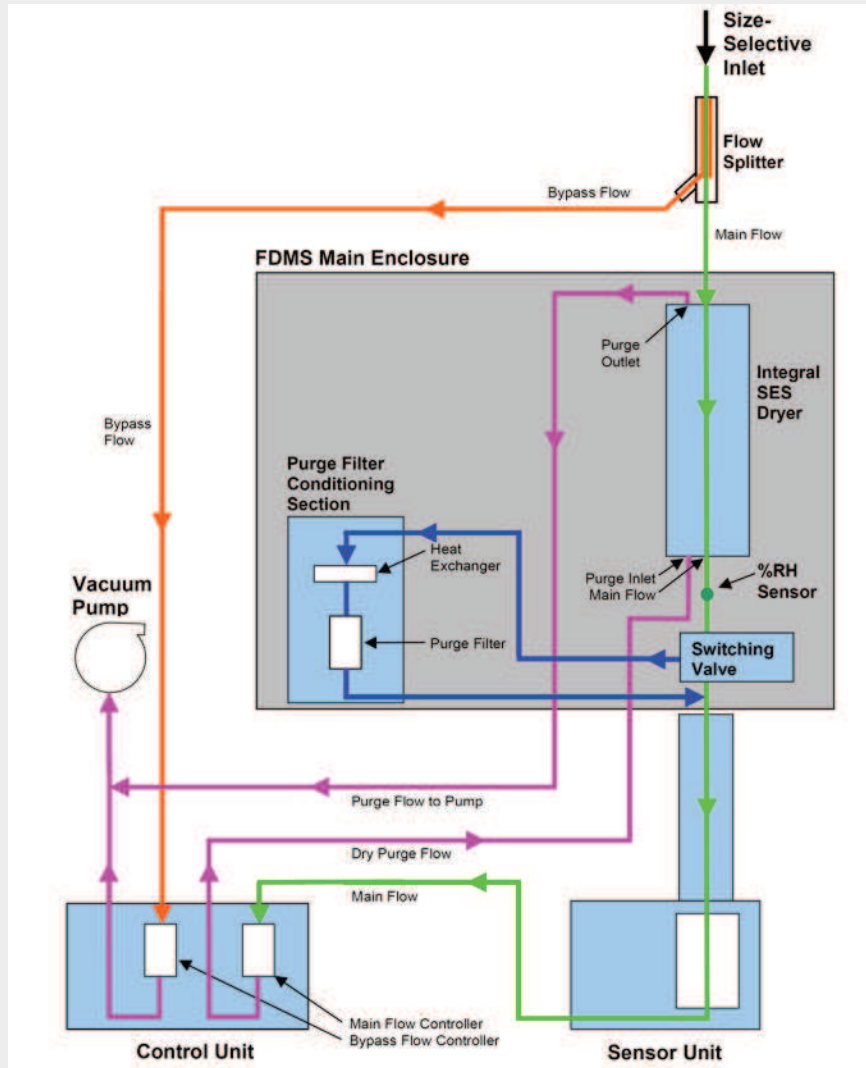
Om voor de verliezen te corrigeren wordt een correctiefactor toegepast. De waarde van de correctiefactor moet worden vastgesteld door vergelijkend onderzoek waarbij de uitkomsten van de automatische methode worden vergeleken met de uitkomsten volgens de referentiemethode. Veel metingen van fijnstofconcentraties gebeuren met de bovengenoemde automatische apparatuur. Het gebruik van deze apparatuur maar ook de toepassing van correctiefactoren is onder de Europese regelgeving uitdrukkelijk toegestaan. Wel is hieraan de voorwaarde verbonden dat equivalentie, dat is gelijkwaardigheid, met de referentiemethode voor de meting van fijn stof moet zijn aangetoond. Nu is gelijkwaardig (of vergelijkbaar) een rekbaar begrip. Daarom heeft de wetgever, in dit geval de Europese Commissie, de hulp ingeroepen van deskundigen. Deze hebben nader omschreven wat met ‘vergelijkbaar’ wordt bedoeld. De kwestie van de correctiefactoren en de gelijkwaardigheid zal uitgebreider aan de orde komen in het onderdeel *Correctiefactoren*.

Men kan zich natuurlijk afvragen waarom er zo ingewikkeld wordt gedaan. Waarom wordt er niet gewoon op dagbasis met niet-automatische apparatuur gemeten? Daarvoor zijn twee redenen. In de eerste plaats zijn niet-automatische metingen, zoals al aangegeven, arbeidsintensief. De meetstations waar de niet-automatische apparatuur staat, moeten regelmatig worden bezocht om bijvoorbeeld de filters te verwisselen. Verder moeten de filters geanalyseerd, lees gewogen, worden. Dat alles vereist inzet van menskracht. Maar er is nog een tweede reden. Deze is misschien nog wel belangrijker dan de eerste. Deze reden komt voort uit de Europese regelgeving in de vorm van artikel 8, lid 1 van de eerste dochterrichtlijn voor de luchtkwaliteit (zie ook tekstbox *Publieke informatievoorziening*). Dit deel van de richtlijn beoogt de informatie aan het publiek over onder andere de fijnstofconcentraties te garanderen. Het venijn zit in een tekstpassage waar gesproken wordt over dat fijnstofconcentraties ‘tenminste dagelijks bijgewerkt’ moeten worden. Hiermee bedoelt de wetgever dat het publiek met minimaal een dagelijkse frequentie geïnformeerd moet worden over de concentraties van fijn stof in de lucht. Dit is alleen redelijkerwijs te bereiken met automatische meetapparatuur. Het gevolg is dus geweest dat om reden van doelmatigheid, maar vooral ook van regelgeving, op grote schaal automatische meetapparatuur is ingezet voor de meting van fijn stof.

Er is nog een vervelende consequentie van het meten van fijn stof. De meting van fijn stof is in feite een gewichtsbepaling. Alle genoemde methoden, dus de automatische maar ook de referentiemethode, bepalen de massa van het stof maar niet de samenstelling ervan. Dit kan betekenen dat een fijnstofconcentratie van  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  op verschillende plaatsen niet hetzelfde hoeft te betekenen. Jazeker, wel in massa, maar niet in samenstelling. Dit is te vergelijken met het volgende: 1 kilogram fruit kan bestaan uit 1 kilogram appels of uit 1 kilogram rode bessen, maar ook uit 1 kilogram appels en rode bessen gemengd. Zoals in het voorbeeld 1 kilogram fruit dus kan staan voor verschillende samenstellingen, kan een fijnstofconcentratie van  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gaan over fijn stof van verschillende samenstellingen. Kortom: fijn stof zoals het gemeten wordt, is eigenlijk een somparameter die ons niets vertelt over de samenstellende bestanddelen ervan.

## Ontwikkelingen

Enige jaren geleden heeft TEOM een apparaat op de markt gebracht waarvan geclaimd wordt dat voor er mee verkregen meetwaarden geen correctiefactor meer nodig zou zijn. Het gaat om FDMS, Filter Dynamic Measurement System. Hierbij wordt de stroom van de aangezogen lucht in steeds twee cycli op verschillende wijzen behandeld. In de eerste cyclus gaat de lucht, na conditioning op 40% relatieve vochtigheid, direct naar de meeteenheid van de TEOM (zie de groene verticale lijn aan de linkerkant van het onderstaande schema). Tijdens deze cyclus wordt stof verzameld, maar kan ook al vervluchtiging optreden; zie formule [1]. In de tweede cyclus gaat de lucht, na conditioning, via een filter naar de TEOM meeteenheid (zie blauwe aftakking). Het filter – op een temperatuur van 4 °C – verwijdert alle stofvormige bestanddelen uit de lucht. Deze lucht, met daarin echter dus nog wel de gasvormige bestanddelen - gaat naar de meeteenheid. Aangezien zich hier eerder verzameld stof bevindt, zal het doorleiden van de (stofloze) lucht nu kunnen leiden tot een vervluchtiging van bestanddelen. De massa zal daardoor kunnen afnemen; zie formule [2]. Een eenvoudige vergelijking [3] levert de gewenste concentratie aan die gecorrigeerd is voor verliezen; lees de echte concentratie.



$$M_{A\,eff} = M_{pnv} + M_{pv} - \alpha M_{pv} \pm M_{filt\,art} \pm M_{eff\,inst} \quad [1]$$

$$M_{B\,eff} = -\alpha M_{pv} \pm M_{filt\,art} \pm M_{eff\,inst} \quad [2]$$

$$M_{A\,eff} - M_{B\,eff} = M_{pnv} + M_{pv} \quad [3]$$

met

$M_{pnv}$  het niet-vluchtige deel van het stof

$M_{pv}$  het vluchtige deel van het stof

$\alpha M_{pv}$  de fractie van het vluchtige deel van het stof dat verdampt tijdens de monsterneming

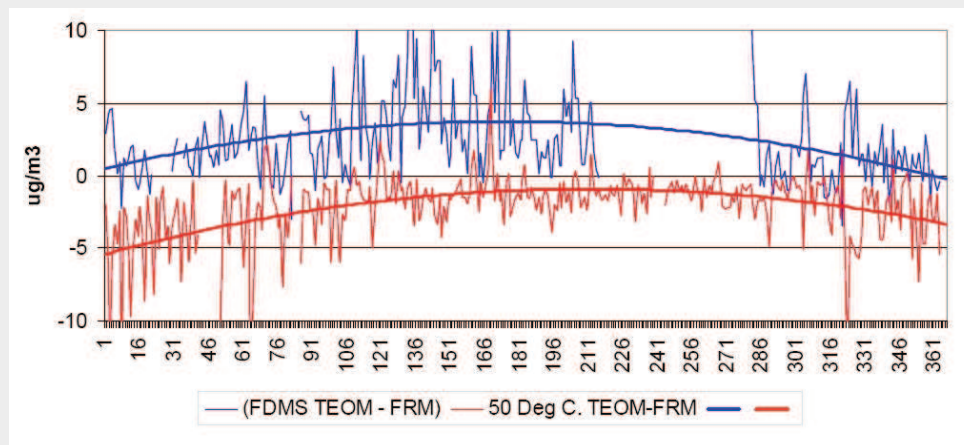
$M_{filt\,ara}$  af- of toename van de massa door filterartefacten

$M_{eff\,inst}$  schijnbare af- of toename van de massa door overige oorzaken als temperatuurveranderingen en veranderingen in gevoeligheid van de apparatuur.

Overigens berust de werking van de FDMS op de impliciete veronderstelling dat de lucht tijdens de twee cycli niet van samenstelling verandert. De keuze van de monsternemingstijden moet daarom zodanig zijn dat in het betreffende tijdvak geen wezenlijke verandering in de aerosolsamenstelling optreedt. Dit ideaal zal des te beter benaderd worden naarmate de monsternemingsperiode korter is. Vaak wordt gewerkt met een cyclustijd van zes minuten. Dit lijkt in eerste benadering een redelijke vooronderstelling.

De FDMS TEOM's worden veelal ingezet voor het doen van metingen van  $PM_{2,5}$ . De reden hiervoor is dat  $PM_{2,5}$  een relatief groot aandeel potentieel vluchtige bestanddelen kent. De inzet van een FDMS TEOM zal dan ook in dat geval verhoudingsgewijs veel kwaliteitswinst opleveren. De FDMS heeft de potentie in zich van een goede meetmethode voor fijn stof. Uit Amerikaans onderzoek blijkt echter dat de apparatuur nog veel kinderziektes heeft en op dit moment voor inzet in bijvoorbeeld een meetnet nog niet geschikt lijkt. Of zoals een onderzoeker schertsend opmerkte: 'De FDMS doet het goed zolang je er naast slaapt. Als je de deur echter achter je dicht trekt, beginnen de problemen.'

De methode die wordt gevolgd bij de FDMS, leidt overigens tot de constatering dat deze methode een hogere concentratie kan opleveren dan de referentiemethode.



Resultaten van een vergelijkend onderzoek in Utah in de Verenigde Staten. FDMS TEOM is een TEOM gebaseerd op het Filter Dynamics Measurement System. TEOM staat voor een gewone TEOM; in dit geval met een verwarming tot 50 °C. De FRM is de Federal Reference Method. Dit laatste is dus de referentiemethode, die – net als in Europa – gravimetrisch van aard is. De blauwe lijn geeft de verschillen tussen de FDMS en de referentiemethode en de rode lijn tussen de TEOM en de referentiemethode. Het blijkt dat de FDMS TEOM is de meeste gevallen een hogere concentratie meet dan de referentiemethode.

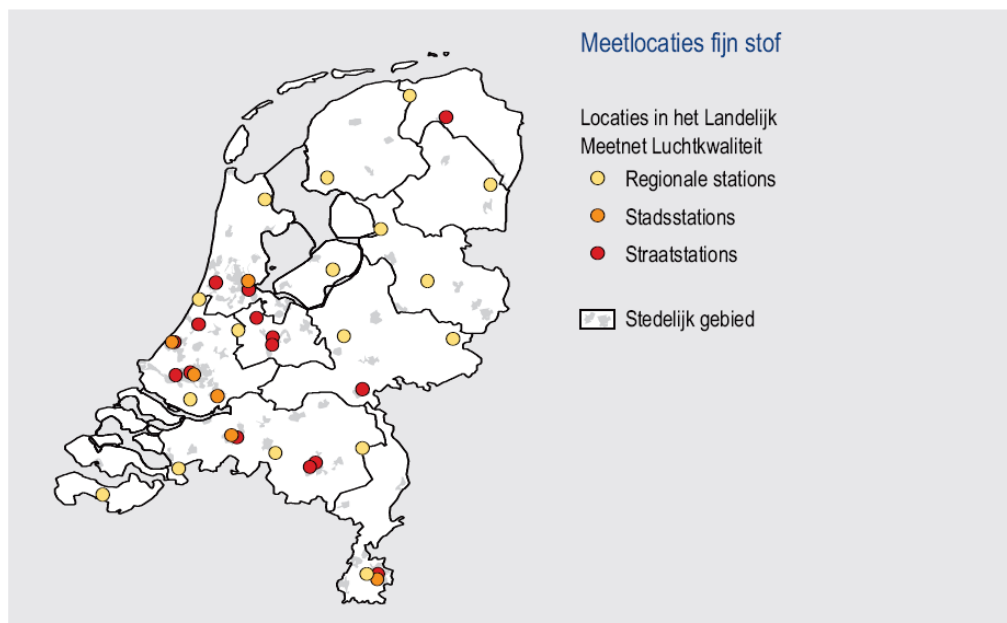
### Publieke informatievoorziening

De Europese Unie heeft in regelgeving vastgelegd dat de lidstaten hun burgers van actuele informatie moeten voorzien over de luchtkwaliteit. In Nederland gebeurt dat via Teletekst op de pagina's 711 en 712 (zie ook *Afbeelding 23*). De verplichting is vastgelegd in artikel 8 van de eerste dochterrichtlijn voor de luchtkwaliteit. Lid 1 van dit artikel luidt:

"De lidstaten zorgen ervoor dat de recente informatie over de concentraties van zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht stelselmatig toegankelijk wordt gemaakt voor het publiek en voor geëigende organisaties zoals milieu- en consumentenorganisaties die de belangen van gevoelige bevolkingsgroepen behartigen en andere relevante instanties voor de gezondheidszorg, bijvoorbeeld via radio en televisie, pers, informatieschermen of computernetwerkdiensten.

Informatie over de concentraties van zwaveldioxide, stikstofdioxide en zwevende deeltjes in de lucht wordt tenminste dagelijks bijgewerkt, en in het geval van uurwaarden voor zwaveldioxide en stikstofdioxide wordt deze informatie als zulks praktisch haalbaar is per uur bijgewerkt. Informatie over de concentraties van lood in de lucht wordt tenminste driemaandelijks bijgewerkt. Deze informatie behelst ten minste alle overschrijdingen van de concentraties van de grenswaarden en de alarmpieken gedurende de middelingstijden die in de bijlagen I tot en met IV zijn vermeld. Indien mogelijk worden de gegevens ook verstrekt als de vervuiling boven of onder deze grenswaarden en alarmpieken ligt of deze bereikt. Voorts omvat deze informatie een summiere beoordeling ten aanzien van grenswaarden en alarmpieken, alsmede passende voorlichting over de gezondheidseffecten."

Bron: artikel 8, lid 1 van de eerste dochterrichtlijn luchtkwaliteit.



Afbeelding 21 Meetlocaties voor de metingen van fijn stof ( $PM_{10}$ ) in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit, medio 2005. Regionale en lokale meetnetten voor fijn stof zijn niet weergegeven. Regionale stations zijn meetstations die buiten bebouwd gebied liggen en niet worden beïnvloed door lokale bronnen. De ruimtelijke representativiteit van deze stations wordt zodanig verondersteld dat met de resultaten van al deze stations tezamen een landsdekkend beeld van de luchtkwaliteit gemaakt kan worden. De stad- en straatstations liggen in stedelijke gebieden. Ze verschillen in de mate waarin de meetresultaten beïnvloed zijn door lokale bronnen, zoals het lokale wegverkeer. Deze stations zijn bedoeld om een indruk te krijgen van de lokale verhogingen van het niveau van luchtverontreiniging in vergelijking met het niveau buiten de steden. Bron: Laboratorium voor Milieumetingen/RIVM.



Afbeelding 22 Interieur van een hedendaags meetstation voor luchtkwaliteit in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Aan de linkerkant een aantal meetsystemen voor gasvormige luchtverontreiniging. Rechts bovenin een moderne  $\beta$ -stofmonitor. Het oranje onderdeel bevat de datacommunicatieapparatuur waarmee alle meetapparatuur informatie kan uitwisselen met een centraal computersysteem van het Laboratorium voor Milieumetingen van het RIVM in Bilthoven. Vanuit Bilthoven gaan de data onder andere naar Teletekst (zie Afbeelding 23). Foto: Laboratorium voor Milieumetingen, RIVM; met dank aan Dick van Straalen.





Afbeelding 23 Pagina 711 van Teletekst geeft actuele informatie over het niveau van luchtverontreiniging in Nederland. De presentatie is gebaseerd op meetresultaten uit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Op de tweede subpagina van pagina 711 wordt informatie geboden over de luchtkwaliteit in zones en agglomeraties in Nederland (zie voor een uitleg Afbeelding 57). De derde subpagina geeft een verwachting voor de volgende dag. Pagina 712 geeft enige achtergrondinformatie over de effecten van luchtverontreiniging; ook zijn hier enige gedragsadviezen te vinden als zich periodes met verhoogde luchtverontreiniging voordoen.



Afbeelding 24 De Kilauea vulkaan op Hawaii is in permanente staat van eruptie en is daarmee een onophoudelijke bron van natuurlijke luchtverontreiniging. De dagelijkse uitstoot wordt geschat op 2000 ton zwaveldioxide.

## Correctiefactoren

Dit onderdeel gaat dieper in op het verschijnsel van de correctiefactoren. Achtergronden van en verschillen van inzicht over correctiefactoren komen aan de orde. En hoe gaan de verschillende landen in Europa hiermee om? En wat zijn de moeilijkheden als we meetresultaten van verschillende plaatsen in Europa met elkaar willen vergelijken?

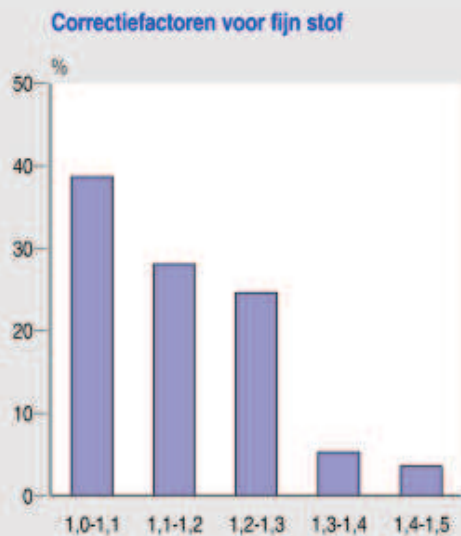
**A**utomatische meetapparatuur voor fijn stof heeft zo zijn beperkingen, zo bleek uit het voorgaande. Een manier om (gedeeltelijk) iets aan deze beperkingen te doen, is het gebruiken van de al genoemde correctiefactoren. Dit houdt in dat verkregen meetwaarden met een bepaalde waarde worden gecorrigeerd, zodat juiste(re) meetresultaten worden verkregen. De Europese regelgeving staat dit uitdrukkelijk toe. De Nederlandse en Europese regelgeving zal uitgebreider besproken worden in het onderdeel *Beleid en regelgeving*.

In Nederland is in het begin van de jaren negentig op basis van onderzoek een generieke correctiefactor van 1,33 vastgesteld. Sindsdien worden alle  $PM_{10}$ -meetresultaten met deze factor gecorrigeerd. Later Nederlands onderzoek heeft geleerd dat de correctiefactor mogelijk in ruimte en tijd kan verschillen. Bij dit onderzoek is vastgesteld dat de correctiefactor van 1,33 voor meetresultaten van stedelijke stations mogelijk te laag is en die voor meetresultaten van regionale stations mogelijk te hoog. Sinds 2006 loopt in Nederland opnieuw een onderzoek. Bij afwezigheid van resultaten uit eigen onderzoek volgt een aantal landen de aanbeveling van de Europese Commissie en hanteert een (default) correctiefactor van 1,3. Alleen België hanteert hogere correctiefactoren dan Nederland. De meeste landen passen een lagere of zelfs helemaal geen correctiefactor toe. Dit alles is veelal gebaseerd op onderzoek van de landen zelf, alhoewel het voor een aantal landen niet duidelijk is hoe ze tot een waarde voor de correctiefactor zijn gekomen.

Het hoeft dan ook niet te verbazen dat een beschouwing van correctiefactoren op Europese schaal eveneens een ‘gevarieerd’ beeld laat zien (*Afbeelding 25*). Een technisch rapport van het Thematisch Centrum Lucht van het Europese Milieu Agentschap over correctiefactoren bevestigt het beeld van het Nederlandse onderzoek: een veelheid aan correctiefactoren, maar ook soms helemaal geen correctiefactor. En de prangende vraag is dan natuurlijk iedere keer opnieuw: mogen we deze Nederlandse data tezamen gebruiken? Mogen we de Europese data tezamen gebruiken? En dit alles zonder verkeerde gevolgtrekkingen te maken?

De Europese Unie, die op de hoogte is van deze problematiek, heeft een speciale werkgroep ingesteld om zich te buigen over de materie van de vergelijkbaarheid en de correctiefactoren. Deze werkgroep, de *Working Group on Particulate Matter*, heeft richtlijnen opgesteld voor de gelijkwaardigheid (zie ook tekstbox *Het vergelijkend onderzoek*). De complicaties die optreden bij het gebruik van meetgegevens voor fijn stof, zijn ook verwoord door een andere werkgroep binnen de Europese Unie, de *CAFE Working Group*: ‘Due to differences in calibration of the continuous monitors in relation to the reference method, and due to differences in the “station mix” in the networks of the Member States, full comparability of  $PM_{10}$  levels over Europe is not ensured’ (EU, 2004). Feitelijk betekent dit dat gerapporteerde meetgegevens niet zo maar naast elkaar gezet kunnen worden voor een vergelijking.





Afbeelding 25 Correctiefactoren voor meetgegevens van fijn stof zoals gebruikt door meetnetten in Europa in 2002. In 65% van de meetnetten gebruikt men een factor van 1,2 of minder. De waarde van de correctiefactor in Nederland, 1,33, is in Europese context hoog. Deze hoge waarde wordt alleen nog overtroffen door waarden die in België toepassing vinden.

Bron: Buijsman en De Leeuw, 2004.

### Correctiefactor voor wat?

Tegenwoordig wordt vaak impliciet verondersteld dat de correctiefactor van 1,30 (voorheen 1,33) zoals die voor meetresultaten van fijn stof in Nederland wordt toegepast, altijd heeft gediend om te corrigeren voor verliezen van semi-vluchtige bestanddelen. Toch is dat niet altijd zo geweest. Het onderzoek op basis waarvan de waarde van 1,33 voor de correctiefactor oorspronkelijk was afgeleid, was namelijk bedoeld om de resultaten van een aantal semi-automatische meetmethoden te vergelijken met een referentiemethode. Automatische meetapparatuur, zoals de  $\beta$ -stofmonitor, was op dat moment nog niet in het onderzoek betrokken. De belangrijkste zorg in het eerste onderzoek was dat verschillende methoden met verschillende aanzuigconfiguraties verschillende deelverzamelingen van stof zouden bemonsteren. En daarvoor zocht men een oplossing. De factor 1,33 is afgeleid op basis van de resultaten met de semi-automatische methode waarvan de aanzuigconfiguratie het meest overeenkwam met die van de  $\beta$ -stofmonitor die men in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit als automatisch meetapparaat wilde introduceren. Dat op dat moment de aard van de problematiek nog niet volledig duidelijk was, blijkt ook uit de formulering die nog jarenlang bij Nederlandse meetgegevens voor fijn stof die waren verkregen met de  $\beta$ -stofmonitor, werd gepresenteerd. Deze formulering luidde: 'In het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit wordt  $PM_{10}$  gemeten met een zgn. Low-Volume aanzuigconfiguratie. Uit onderzoek is gebleken dat deze methode op systematische wijze de ermee gemeten stof concentraties onderschat ten opzichte van methoden met een High Volume aanzuigconfiguratie of ten opzichte van referentiemethoden. De  $PM_{10}$  meetgegevens uit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit worden daarom met een correctiefactor van 1,33 vermenigvuldigd om, gemiddeld, voor deze onderschatting te corrigeren'. Later onderzoek leerde dat de correctiefactor vooral gerelateerd is aan de vervluchting van op het filter verzamelde bestanddelen. Hiervoor is in het voorgaande al uitvoerig geschreven.

Bron: Holländer *et al.*, 1990; Buijsman en van Elzakker, 1996.

### Het vergelijkend onderzoek

De Europese Unie staat het gebruik van meetapparatuur voor luchtverontreiniging anders dan de referentiemethode uitdrukkelijk toe. Wel is daar de voorwaarde aan verbonden dat aangetoond wordt dat de 'andere' methode equivalente resultaten oplevert. We bespraken dit al in de tekstbox *De referentiemethode*. Aanvankelijk was niet duidelijk wat 'equivalentie' nu precies verstaan moest worden. Daarom is er een werkgroep ingesteld, de *EC Working group on Guidance for the Demonstration of Equivalence*. Deze is met een gekwantificeerde uitwerking van het begrip 'equivalentie' gekomen.

De equivalentie kan in een veldtest onderzocht worden. De test moet in beginsel worden uitgevoerd met vier instrumenten, twee exemplaren van de referentiemethode en twee van het zogenaamde kandidaatinstrument. Het kandidaatinstrument (in de termen van de EU de Candidate Method) is de methode waarvan de equivalentie moet worden aangetoond. Het onderzoek dient onder strikte voorwaarden te worden uitgevoerd. Zo zijn er aanbevelingen voor de omstandigheden waaronder het onderzoek moet worden uitgevoerd. Belangrijkste overweging is dat het onderzoek wordt uitgevoerd onder 'representatieve' omstandigheden. Ook zijn er aanwijzingen over de omvang van het onderzoek. Het onderzoek levert twee soorten resultaten op: informatie over de variabiliteit van het kandidaatinstrument en over de mate vergelijkbaarheid van de kandidaatmethode en de referentiemethode. Het eerste type informatie weegt zwaar, want het zegt iets over de 'between-sampler/instrument uncertainty'. Hiervoor definieert de werkgroep kwantitatieve eisen. Indien de apparatuur niet aan deze eisen voldoet, is verdere toetsing van de vergelijkbaarheid met de referentiemethode niet toegestaan. Voldoet een apparaat wel aan deze eisen dan kan vervolgens de vergelijkbaarheid onderzocht worden.

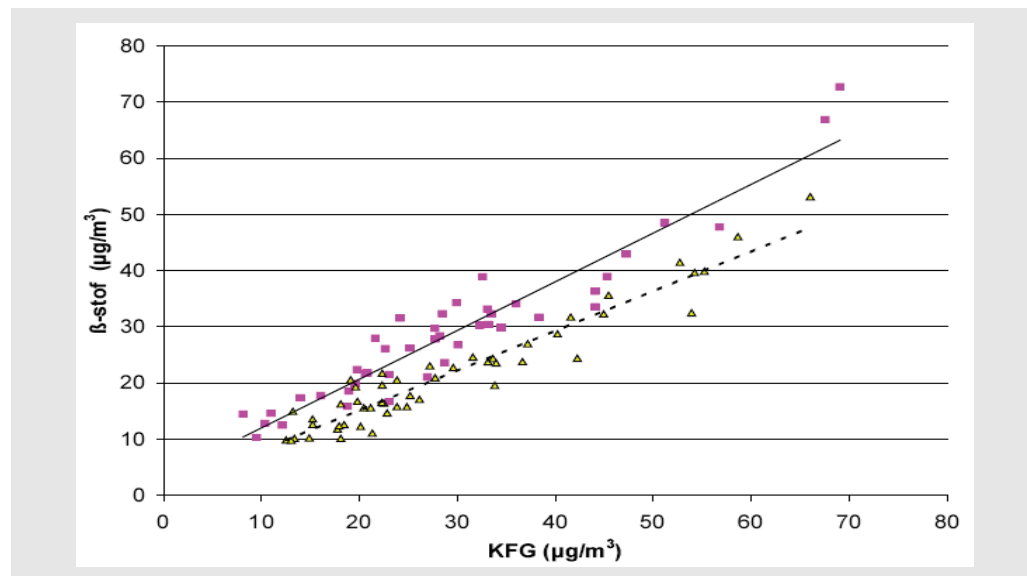
Uitgangspunt hierbij is dat er een lineaire relatie bestaat tussen de meetwaarden van beide typen instrumenten. De werkgroep bespreekt uitvoerig de diverse situaties die zich bij de analyse van de verkregen meetdata kunnen voordoen. Eén zo'n situatie is die waarbij de helling van de lineaire relatie significant van 1 afwijkt. Deze situatie geeft aanleiding tot de invoering van de al eerder besproken correctiefactor. Opvallend is dat eerdere aanbevelingen door de *Working Group on Particulate Matter* niet zijn overgenomen. Deze werkgroep stelde dat de (gekwantificeerde) mate van overeenstemming tussen de referentiemethode en de andere methode van belang is. De verklaarde variantie  $R^2$ , een statistische maat voor de overeenkomst van de twee methoden, moet 0,8 of hoger zijn. De (rechte) lijn die de wiskundige relatie tussen beide methoden aangeeft, mag de X- of de Y-as snijden op een afstand van het nulpunt die niet groter is dan  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aan de helling van de lijn worden geen eisen gesteld. Bij dit laatste merkt de werkgroep op dat 'It is sufficient that the data can be used to determine the relationship between the two methods'. Geen van deze aanbevelingen vinden we terug in het rapport van de *EC Working group on Guidance for the Demonstration of Equivalence*.

Bron: Demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods, Guidance to member states on  $\text{PM}_{10}$  monitoring and intercomparisons with reference method.

Het hoeft ons niet te verbazen, na lezing van het voorgaande, dat nog steeds onderzoek wordt gedaan om te komen tot een verbetering van de situatie. Zo ook in Nederland. In 2000 heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) een vergelijkend onderzoek uitgevoerd waarbij onder andere de referentiemethode, de  $\beta$ -stofmonitor en de TEOM betrokken waren. Het onderzoek leerde dat de verschillen, en dus de correctiefactoren, én van de apparatuur (en de instellingen ervan) én van de locatie afhingen. Samengevat zijn de resultaten van het RIVM-onderzoek dat voor de TEOM een hogere correctiefactor dan voor  $\beta$ -stofmonitor nodig is. Bovendien blijkt dat de correctiefactor op het stedelijke station aanzienlijk hoger is dan die op het regionale station. De verschillen zoeken de onderzoekers in – uiteraard - de apparatuur en in verschillen in de samenstelling van het fijn stof. De onderzoekers merken over de in Nederland gehanteerde generiek correctiefactor van 1,33 op: 'De factor 1,33 is een gulden middenweg'. Dat mag dan rekenkundig correct zijn, voor een juiste beschrijving van de luchtkwaliteit is dit niet terecht. We komen hier nog op terug.

De onzekerheid over correctiefactoren voor automatische meetapparatuur houdt aan. Vooral ook omdat de resultaten van onderzoek lang niet altijd eenduidig zijn, laat staan gemakkelijk te verklaren en toe te passen in operationele meetnetten. Mogelijk zijn er teveel variabelen in het spel om tot een simpel antwoord te komen. Zo zijn er de apparaatafhankelijke factoren als het type apparaat en de (temperatuur)instellingen van het apparaat. Verder kunnen de concentraties van de stoffen die een rol spelen bij de hoogte van de correctiefactoren, zeer variabel zijn. In theorie zal dan de waarde van een correctiefactor ruimte en tijd afhankelijk zijn. Met andere woorden: het is verdedigbaar dat er geen generieke correctiefactor bestaat.

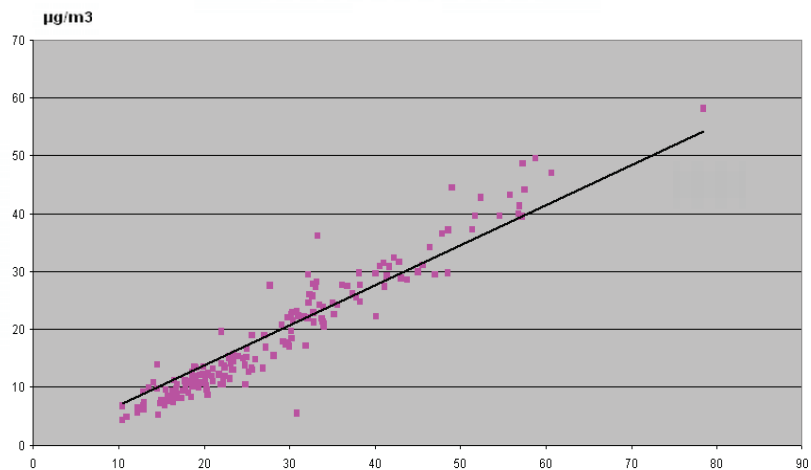
Juist deze weerbarstigheid heeft er mogelijk toe bijgedragen dat een recent in Nederland uitgevoerd onderzoek (opnieuw) nog geen definitief antwoord heeft opgeleverd. Dit recente onderzoek is uitgevoerd door alle instanties in Nederland die fijn stof meten. Om met het eind te beginnen: de laatste conclusie van het onderzoek is dat 'er meer onderzoek nodig is'. De rapportage over het laatste onderzoek in Nederland stelt opnieuw weinig gerust. Eigenlijk blijkt dat keer op keer dezelfde problemen opduiken. Problemen met vocht, vervluchtiging en temperatuurinstellingen zijn de meest prominente, ook nu weer. En eigenlijk krijgen we uit het Nederlandse onderzoek een indruk van de situatie op Europese schaal. Aan het Nederlandse onderzoek deden zes instanties mee. Het rapport stelt: 'Het blijkt dat de gebruikte apparatuur, instellingen en meetlocaties zeer divers zijn.' Het onderzoek leert: 'De onderzoeksgegevens laten zien dat de correctiefactor van dag tot dag sterk kan wisselen'. De gevonden correctiefactoren bedragen 1,18 tot 1,45. Het zijn niet alleen verschillen tussen de metende instanties, maar ook verschillen tussen de locaties in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit.



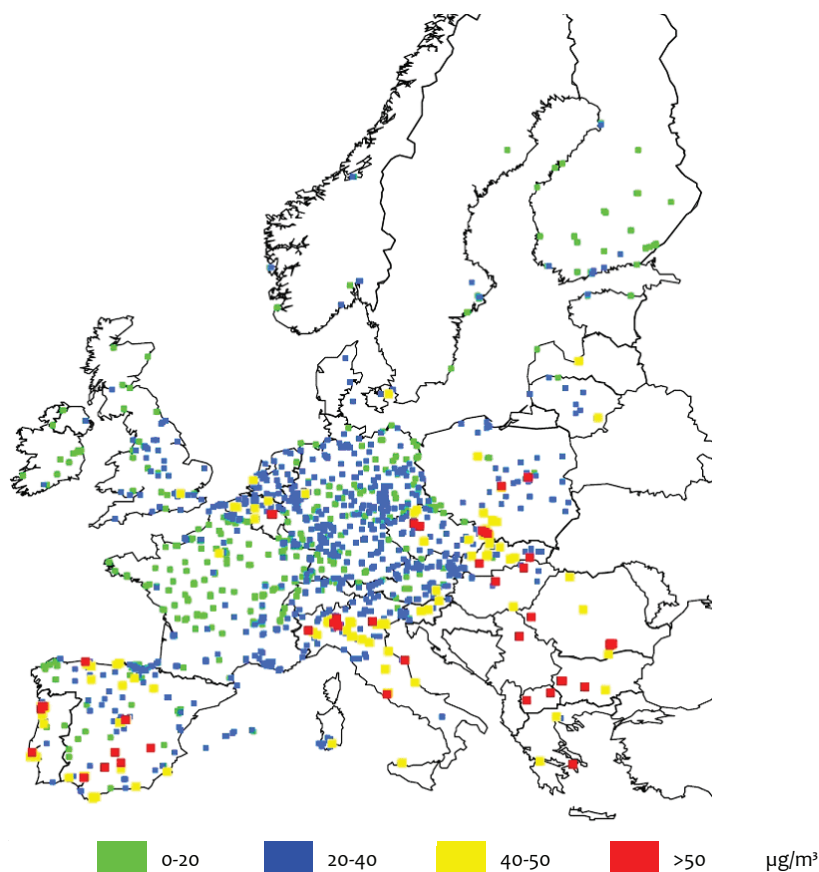
Afbeelding 26 Een voorbeeld van een resultaat uit het vergelijkende onderzoek uit 2000. Een figuur uit het Nederlandse onderzoek naar de mate van vergelijkbaarheid tussen de referentiemethode (aangeduid met 'KFG', Kleinfiltergerät) en de  $\beta$ -stofmonitor (aangeduid met ' $\beta$ -stof'). Dit onderzoek is uitgevoerd in 2000. Met  $\blacksquare$  zijn de uitkomsten op meetlocatie Biest-Houtakker aangegeven; dit is een regionaal station. Met  $\blacktriangle$  zijn de uitkomsten op een meetlocatie in Utrecht aangegeven; dit is een stedelijk station. Volgens het rapport is de relatie op meetlocatie Biest-Houtakker  $y = 0,87x + 3,4$  met een verklaarde variantie van 0,91. De waarde van 0,87 betekent feitelijk een correctiefactor van met de  $\beta$ -stofmonitor verkregen meetresultaten van 1,15 ( $=1/0,87$ ). Op het stedelijke station is de relatie  $y = 0,71x + 0,8$  met een verklaarde variantie van 0,92. De waarde van 0,71 komt overeen met een correctiefactor van 1,41 ( $=1/0,71$ ). Beide resultaten voldoen overigens aan de richtlijnen van Working Group on Particulate Matter. Voor de TEOM waren de relaties  $y = 0,69x + 5,0$  met een verklaarde variantie van 0,72 voor Biest Houtakker en  $y = 0,63x + 4,0$  met een verklaarde variantie 0,89 voor het station in Utrecht. Dit zou dan correctiefactoren van 1,45 respectievelijk 1,59 betekenen.

Nu zijn de gesignaleerde problemen natuurlijk geen louter Nederlandse zaak. De problemen zijn inherent aan de gebruikte automatische meetapparatuur. Ook in andere landen zijn dan ook soortgelijke problemen als in Nederland vastgesteld. Dit moet ook wel als we alleen al kijken naar de inventarisatie van de gehanteerde correctiefactoren, waar we net over spraken. Meer solide bewijs vinden we bijvoorbeeld in de resultaten van Duits onderzoek. Hierbij was de bevinding dat zelfs niet alle referentie-apparatuur aan de richtlijnen voldeed. Over de automatische apparatuur meldde het rapport: 'Continuous monitors met the requirements of the standard EN 12341 only in special cases and after correction'. Het eerste is ernstig, maar het laatste hoeft geen probleem te zijn. Het gebruik van een correctiefactor is namelijk expliciet toegestaan. Toch bleek: 'Treatment with the default factor of 1.3 yielded no significant improvement'. Ook de resultaten van Zwitsers onderzoek spreken boekdelen. De Zwitsers vinden een in tijd en ruimte variabele correctiefactor. Zij verbinden hier de ultieme consequentie aan: elk meetstation krijgt zijn eigen correctiefactorfunctie waarmee de meetwaarden worden bewerkt.

De kwestie van de correctiefactoren heeft nog tot een andere complicatie geleid. De verschillen in de manier waarop Europese landen omgaan met correctiefactoren maakt de vergelijkbaarheid van fijnstofmeetwaarden tussen Europese landen lastig. Kaartjes met concentratiewaarden (Afbeelding 27) zijn daarom niet onmiddellijk intuïtief interpreteerbaar. Ook trendfiguren moeten daarom met de nodige afstandelijkheid bekeken worden. En om het allemaal nog onoverzichtelijker te maken, kunnen de correctiefactoren ook nog van jaar op jaar verschillen, zo blijkt uit een recente inventarisatie van het European Topic Centre on Air and Climate Change. Men zou zich dan ook kunnen afvragen wie het nog aandurft om kaartjes en grafieken te maken van luchtkwaliteitsdata voor fijn stof in Europa en om daar dan ook nog conclusies aan te verbinden.



Afbeelding 28 Een voorbeeld van een resultaat uit het vergelijkende onderzoek uit 2005. De grafiek geeft de relatie tussen de gemeten concentraties met het referentieapparaat (horizontaal) en de  $\beta$ -stofmonitor (verticaal).



Afbeelding 29 Jaargemiddelde concentraties van fijn stof in Europa in 2004. Deze kaart is geproduceerd door het European Topic Centre on Air and Climate (ETC/ACC). Het ETC/ACC geeft op zijn website een uitgebreide disclaimer bij deze kaart: 'Comparison between countries is hampered because monitoring strategy differs widely among the countries: difference in monitoring method (gravimetry, TEOM or  $\beta$ -absorption) and large differences in the fractions of rural/(sub)urban/traffic stations.' Eigenlijk is het een beetje een appels-en-perenkaart. Want, zo zegt het ETC/ACC verder nog, op de kaart staan allerlei soorten meetstations; dus regionale maar ook stedelijke en industriële stations. En nog zo'n complicatie vormen de verschillende correctiefactoren. Nederland hanteert 1,33, België 1,37 of 1,47 en Frankrijk 1,00. Dit alles is natuurlijk niet bevordelijk voor de interpretatie van het kaartbeeld.

Bron: website van het European Topic Centre on Air and Climate.





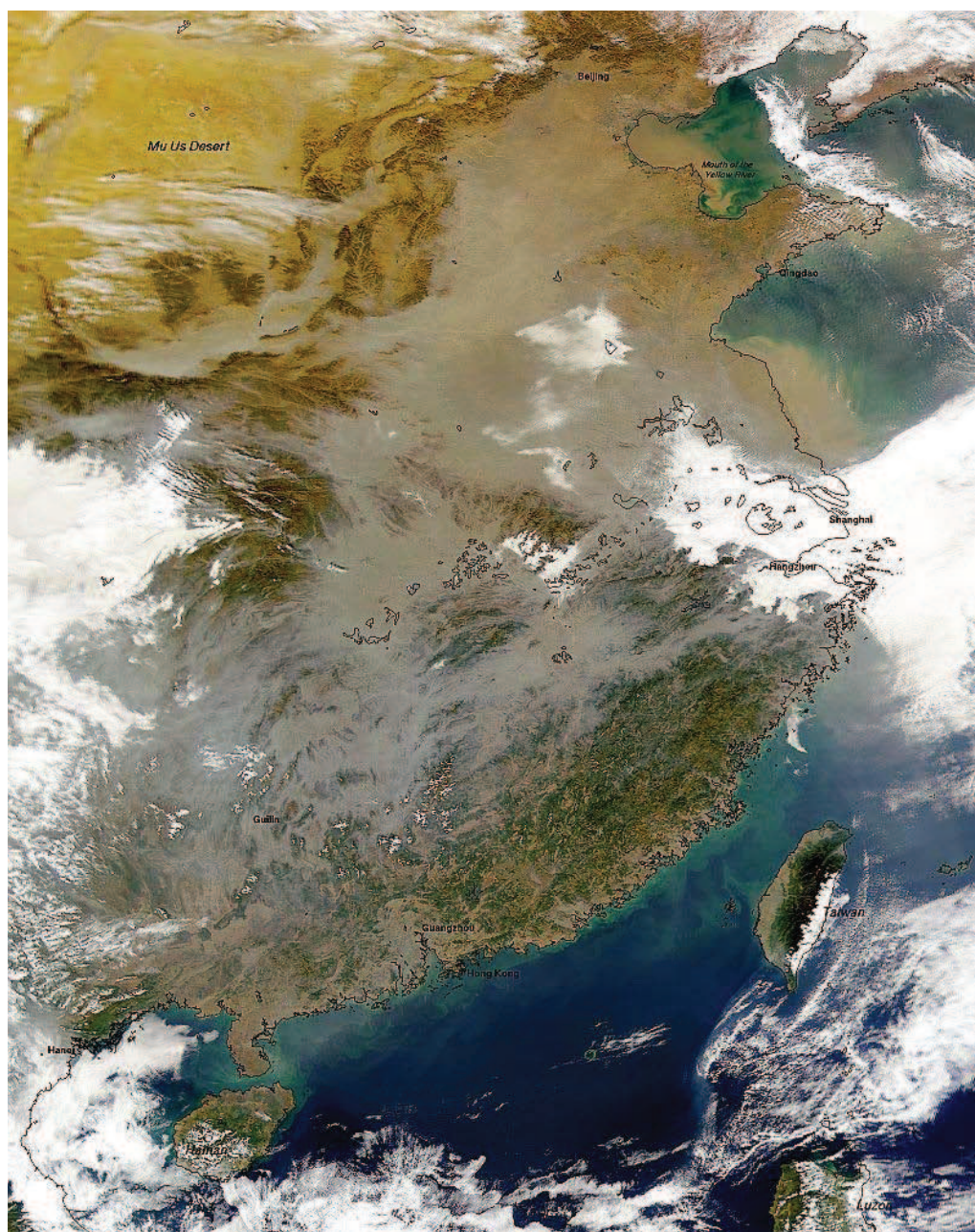
Afbeelding 30 Vergelijkend onderzoek met verschillende meetsystemen en van verschillende instanties kan een belangrijke bron van informatie zijn. Zulk onderzoek wordt onder andere uitgevoerd door DCMR Milieudienst Rijnmond en het Laboratorium voor Milieumetingen van het RIVM op een meetstation in Rotterdam. Het meetstation bevindt zich op de hoek van het Bentinckplein en de Statenweg in het noordelijk deel van Rotterdam.

Van links naar rechts zien we de aanzuigingen van respectievelijk de automatische meetsystemen voor koolmonoxide, stikstofoxiden en zwaveldioxide van DCMR, de TEOM 1400  $PM_{10}$ -stofmonoitor van DCMR, een KleinfILTERgerät met  $PM_{10}$ -inlaat en temperatuuropnemer van DCMR, de FAG  $\beta$ -stofmonitor met  $PM_{10}$ -inlaat van het RIVM, een DHA 80 Digitel stofmonsternemer voor tsp ('Total Suspended Particulates', een soort totaal stof) van DCMR, een KleinfILTERgerät met  $PM_{10}$ -inlaat en temperatuuropnemer van RIVM, een zwarteroekmonitor van RIVM en de automatische meetsystemen voor koolmonoxide, stikstofoxiden en zwaveldioxide van RIVM. Foto: DCMR Milieudienst Rijnmond; met dank aan Paul Kumm.



Afbeelding 31 Zichtvermindering is vaak een gevolg van stofdeeltjes in de atmosfeer. Sommigen zeggen dan het 'heig' is. De oorzaak kan zowel natuurlijk als antriepogeen zijn. Foto: Tahoe Regional Planning Authority.





Afbeelding 32 Moderne satelieten geven een duidelijk beeld van de ernstige luchtverontreiniging op sommige momenten en op sommige plaatsen in de wereld. Hier een satelietbeeld van een deel van Azië op 2 januari 2000. Bron: NASA.



## Modelleren

De tijd dat de luchtkwaliteit en de ontwikkelingen erin alleen aan de hand van meetresultaten werd beschreven, ligt al lang achter ons. Atmosferisch-chemische transportmodellen vormen een belangrijke tweede bron van informatie over de luchtkwaliteit. Bovendien bieden modellen de mogelijkheid om uitspraken te doen over toekomstige ontwikkelingen. Maar wat zijn dat eigenlijk: modellen? En wat kunnen ze meer, beter of anders dan metingen?

De luchtkwaliteit voor fijn stof in Nederland wordt meestal gekarakteriseerd door gebruik te maken van meetresultaten en van de uitkomsten van berekeningen met atmosferisch-chemische transportmodellen. Dit blijkt aanleiding te zijn tot een geheel nieuw soort problematiek.

**M**etingen geven informatie over het niveau van luchtverontreiniging op een bepaalde plaats op een bepaald tijdstip. Metingen geven echter geen uitsluitsel over waar de luchtverontreiniging op die plaats vandaan is gekomen. Ook zeggen metingen niets over de bronnen die hebben bijgedragen aan de luchtverontreiniging op die plaats. En over plaatsen waar niet is gemeten: hoe zit het daar?

Modellen worden gebruikt om deze, en nog andere, vragen te beantwoorden. Het werken met modellen heet in de wereld van de luchtverontreiniging modelleren. Met een model wordt hier bedoeld een mathematisch algoritme, je zou ook kunnen zeggen een ingewikkeld rekenvoorschrift, dat het transport van luchtverontreiniging, en daarmee samenhangende fysische en chemische processen, in de atmosfeer beschrijft. Een model is hier dus eigenlijk niets anders dan een mathematische beschrijving van de atmosfeer en de processen die zich daarin afspelen, zij het op vereenvoudigde wijze.

Simpeel gezegd komt het bij een model op het volgende neer. Luchtverontreiniging wordt op een plaats in een zekere hoeveelheid of met een zekere snelheid geproduceerd ('emissie'), komt in de atmosfeer terecht en wordt daarin meegenomen door de wind ('transport'), verspreid en verdund. De luchtverontreiniging kan soms ook in de atmosfeer omgezet worden in andere stoffen ('chemische omzetting'). En tot slot: stoffen kunnen weer uit de atmosfeer verwijderd worden ('verwijdering'). De aanwezigheid van een stof in de atmosfeer kan getalsmatig gekarakteriseerd worden ('concentratie'). Het verwijderingsproces leidt tot een flux naar bodem, water, enzovoorts ('depositie'). Het laatste mechanisme kan nog onderverdeeld worden naar natte depositie en droge depositie. Natte depositie is een verwijderingsmechanisme waar neerslag aan te pas komt. Droge depositie is de directe flux van stoffen vanuit de atmosfeer naar het aardoppervlak.

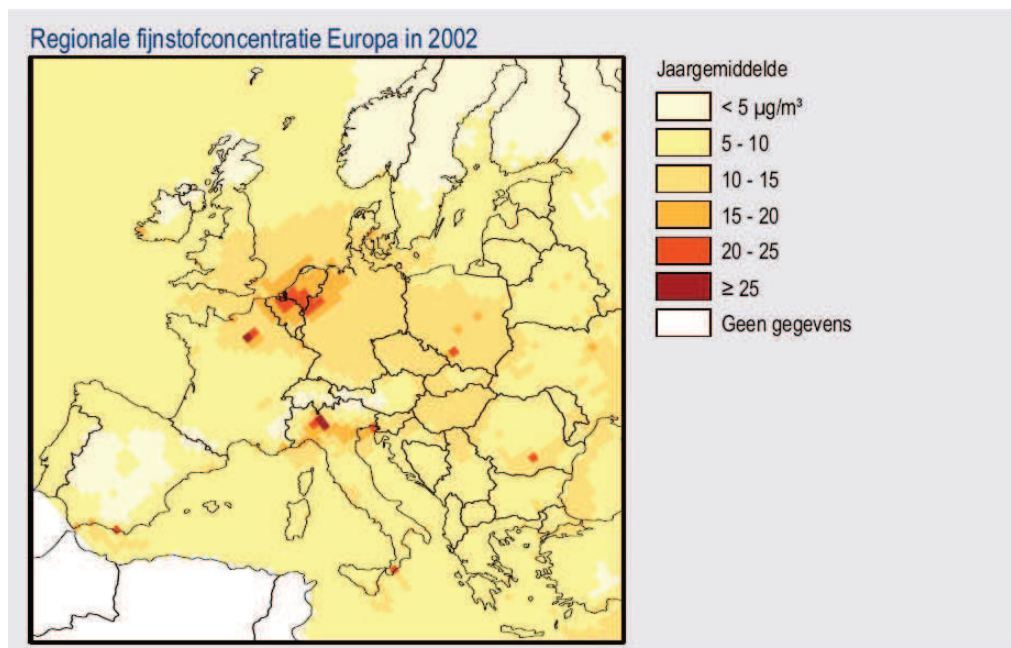
Om een model goed zijn werk te kunnen laten doen zijn er dus verschillende soorten invoerinformatie nodig:

- Emissie: ligging en sterkte van de bronnen en de hoogte waarop de emissie gebeurt;
- Meteorologie: weersgesteldheid, waaronder windrichting, windsnelheid, luchtvochtigheid, stralingsintensiteit, neerslagduur en -hoeveelheid;
- Chemie: chemische eigenschappen van de te modelleren stof, zoals reactiesnelheden, depositiegedrag en depositiesnelheden.

Een model produceert na het rekenwerk uitvoer. Dit kan zijn in de vorm van kaarten met ruimtelijke patronen van (gemiddelde) luchtconcentraties over een zekere tijdperiode. Ook worden vaak depositiekaarten geproduceerd. Deze geven informatie over de hoeveelheid van een stof die in een bepaalde periode uit de atmosfeer is verwijderd en dus op het aardoppervlak is beland. De ruimtelijke schaal die modellen beschrijven, kan zeer uiteenlopend zijn. Op de kleinste schaal gaat het om modellen die de luchtkwaliteit in een straat of rond een enkele bron beschrijven of de belasting van een ecosysteem berekenen. De modellen waarmee berekeningen voor fijnstofconcentraties gemaakt worden, hebben een ruimteschaal die kan lopen van nationaal tot Europees.



Afbeelding 33 Schematische opzet van een atmosferisch-chemisch transportmodel. Bron: Er zij een meetnet.



Afbeelding 34 Jaargemiddelde achtergrondconcentratie van fijn stof in 2002 volgens het EMEP-model. Met achtergrondconcentratie wordt het grootschalig patroon bedoeld dat niet beïnvloed is door bronnen op korte afstand. Kort is hier een afstand van 50 km of minder. Bij de berekeningen is voor de emissies rekening gehouden met antropogene emissies en zeezout. De resultaten van zijn niet gekalibreerd op metingen. Daarom zijn de resultaten over heel Europa te laag in vergelijking met metingen. Bron: EMEP.

Nederland kent een lange traditie in het karakteriseren van de luchtkwaliteit volgens procedures waarbij een combinatie van meten en modelleren wordt toegepast. Een belangrijke reden voor de keuze van deze aanpak is dat (kostbare) metingen beperkt gehouden kunnen worden. Bovendien bieden modellen, veel beter dan metingen, de mogelijkheid om resultaten met een hoog ruimtelijk oplossend vermogen te produceren. Deze gecombineerde aanpak is ook bij de beschrijving van de luchtkwaliteit voor fijn stof gekozen. De methodiek om in beginsel voor iedere willekeurige plaats in Nederland de fijnstofconcentratie te berekenen bestaat uit drie stappen.

De eerste stap is de berekening van de achtergrondconcentratie in Nederland. Dit achtergrondniveau is de concentratie buiten de directe invloedssfeer van bronnen van fijn stof. De berekening gebeurt met het rekenmodel OPS, het Operationeel Prioritaire Stoffen model. De primaire en secundaire fracties worden afzonderlijk berekend en vervolgens gesommeerd. De rekenresolutie is 5×5 km. Het model gebruikt onder andere gegevens over emissies, zoals sterkte en ruimtelijke en temporele verdeling van de bronnen, en dit zowel voor Nederland als voor de andere Europese landen. Ook meteorologische gegevens zijn nodig. Voor berekeningen van jaren uit het verleden wordt voor Nederland gebruik gemaakt van emissies afkomstig van de Emissieregistratie en worden meteorologische gegevens van het betreffende jaar gebruikt. Voor berekeningen in toekomstige jaren worden de toekomstige emissies geschat op basis van veronderstellingen over ontwikkelingen van economische activiteiten, emissiefactoren en



wordt langjarig gemiddelde meteorologische invoer voor de jaren 1990-1999 gebruikt. In de prognoses wordt het effect van het vastgestelde(inter)nationale beleid meegenomen.

De tweede stap is de kalibratie met meetresultaten. Kalibratie is nodig, omdat de berekende concentraties ongeveer de helft lager zijn dan de gemeten concentraties. De reden hiervoor is dat de emissies die als invoer voor de modelberekeningen worden gebruikt, alleen de bekende, lees geregistreerde, antropogene emissies betreffen. Natuurlijke bronnen worden in de berekeningen niet meegenomen, deels door gebrek aan proceskennis maar vooral door gebrek aan betrouwbare emissiegegevens. Met metingen wordt echter informatie over het totaal aan fijn stof verkregen en dit bestaat uit deeltjes van zowel natuurlijke als antropogene oorsprong. De resultaten na deze tweede stap staan ook wel bekend als Generieke Concentratie Nederland (GCN) kaarten. Ten behoeve van de GCN-kaarten wordt dit verschil gecorrigeerd door de verschillen op regionale achtergrondstations te interpoleren over Nederland met een eenvoudige Kriging-methode, de ordinary Kriging, en het verschilveld bij de met het model berekende waarden op te tellen. Een dergelijk verschil tussen metingen en berekeningen wordt overigens gevonden voor alle modellen die internationaal gebruikt worden.

In de derde en laatste stap wordt voor de GCN-kaarten de resolutie verhoogd van 5×5 km naar 1×1 km met een spline-interpolatie methode om ruimtelijke gradiënten nabij steden en puntbronnen beter tot uitdrukking te brengen voor lokale luchtkwaliteitsberekeningen.

Daarna kan desgewenst de berekening van de lokale bijdragen uitgevoerd worden. Dit houdt in de berekening van de bijdrage van lokale bronnen bovenop de al eerder berekende achtergrondconcentratie uit de GCN- kaart. Het kan hier bijvoorbeeld gaan om de berekening van de fijnstofconcentratie in een straat in een stedelijke omgeving. Voor deze lokale bijdrage wordt het CAR-model <sup>3</sup> ingezet. Dit model berekent de fijnstofconcentratie langs wegen en wordt onder andere toegepast om overschrijdingen van de grenswaarde voor het daggemiddelde en het jaargemiddelde voor specifieke straten te berekenen. Om overschrijdingen van de grenswaarde voor het daggemiddelde te bepalen gebruikt het CAR-model een empirische lineaire relatie tussen jaargemiddelde fijnstofconcentraties en het aantal dagen met een daggemiddelde fijnstofconcentratie boven de 50 µg/m<sup>3</sup> (zie ook *Afbeelding 44*). Op basis van deze relatie vertaalt het CAR-model de jaargemiddelde concentratie in een aantal dagen overschrijding van de grenswaarde voor het daggemiddelde. Uit deze relatie blijkt overigens dat de Europese grenswaarde - maximaal 35 dagen per jaar met een daggemiddelde concentratie boven 50 µg/m<sup>3</sup> - correspondeert met een jaargemiddelde fijnstofconcentratie van ongeveer 32 µg/m<sup>3</sup> (zie ook *Afbeelding 46*). De grenswaarde voor het daggemiddelde is daarmee dus aanzienlijk strenger dan de grenswaarde voor het jaargemiddelde. De hierboven geschetste aanpak heeft wel een nadeel. De meetresultaten worden namelijk in feite gebruikt om de resultaten van de berekeningen met het model te 'corrigeren'. Een onafhankelijke validatie van de modelresultaten is dan niet meer mogelijk. Fouten of onvolkomenheden in metingen en/of modelberekeningen vertalen zich dus door in de kaart.

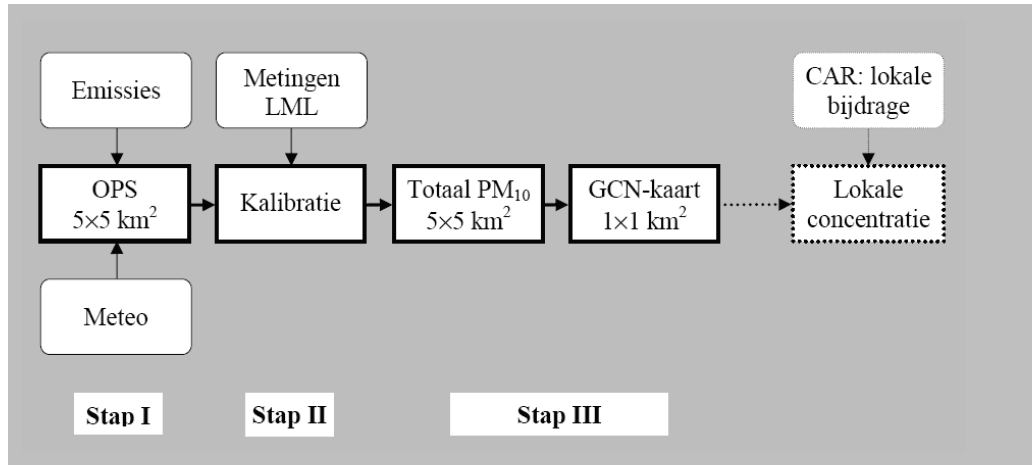
De toepassing van correctiefactoren en het fitten van (gecorrigeerde!) meetgegevens op de uitkomsten van modelberekeningen maakt op buitenstaanders soms een twijfelachtige indruk. Maar het is natuurlijk niet het hele verhaal. Er is daarnaast veel inspanning geleverd om te verklaren waarom er in het geval van fijn stof verschillen tussen meetresultaten en uitkomsten van modelberekeningen zijn. Deze inspanning heet, bij gebleken succes, in de wandeling ook wel het 'sluiten van het 'gat' of in het Engels 'mass closure' of 'gap closure'. Het gaat dus eigenlijk om de vraag: hoe kan uit een optelsom van deelverzamelingen van fijn stof op een beredeneerde wijze een concentratieniveau bereikt worden zoals dat wordt gemeten? In theorie zou het mogelijk moeten zijn om uit deelverzamelingen van fijn stof het totaal aan fijn stof als het ware 'op te bouwen'. Dit vereist echter kennis van de kwantitatieve bijdrage van *alle* deelverzamelingen. In de praktijk blijkt dit ondoenlijk, al was het maar omdat daarbij meetgegevens moeten worden gebruikt waarbij de

<sup>3</sup> CAR staat voor Calculation of Air pollution by Road traffic



meetmethoden last hebben van dezelfde artefacten als de fijnstofmetingen.

Toch is het gelukt om tot een acceptabele optelsom te komen op een manier zoals in het onderdeel *Stof, fijn stof ...* al is besproken. De resultaten van Nederlands onderzoek naar het sluiten van het gat zijn gepubliceerd in het rapport *Composition and Origin of Airborne Particulate Matter in the Netherlands*. Hieruit zou blijken dat het 'gat' is gesloten.



Afbeelding 35 Schematische weergave van de stappen die worden gezet om van brongegevens tot een concentratiekaart voor fijn stof in Nederland te komen. Deze kaart kan vervolgens dienen als invoer bij de berekening van de lokale concentraties. Zie voor uitleg tekst. GCN staat voor Generieke Concentraties Nederland. CAR staat voor Calculation of Air Pollution by Road Traffic; CAR is de rekenmodule waarmee de concentratiebijdragen van bronnen in een straat worden berekend.

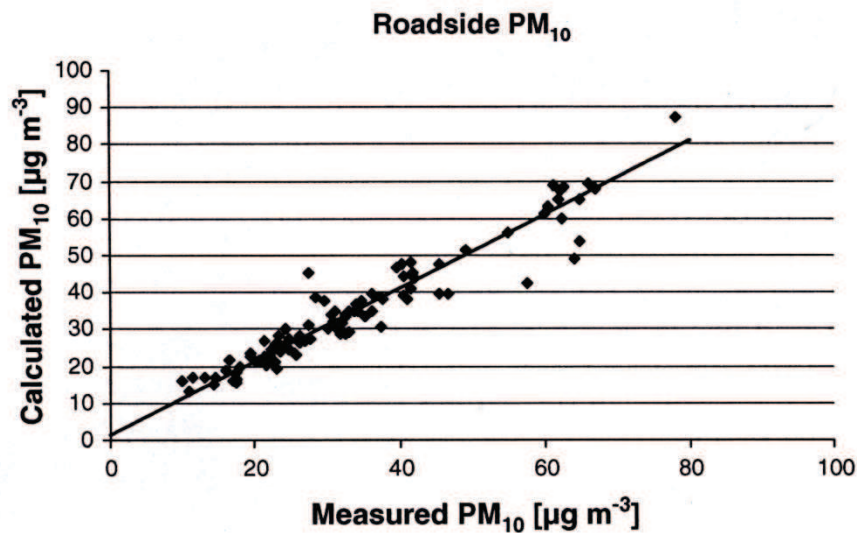
| Annual average PM <sub>10</sub> concentrations | 1<br>Nijmegen<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 2<br>Rotterdam<br>Overschie<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 3<br>Amsterdam<br>Overtoom<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 4<br>Amsterdam<br>Stadh. Kade<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 5<br>Vredepeel<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 6<br>De Zilk<br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| Modelled OPS/SIGMA                             | 20.8 ± 5.2                            | 23.8 ± 6.0*                                         | 23.5 ± 5.9                                         | 23.5 ± 5.9*                                           | 20.8 ± 5.2                             | 16.0 ± 4.0                           |
| Sea salt high (Dichote Na <sup>+</sup> )       | 5.2 ± 0.3                             | 7.5 ± 0.6                                           | 7.1 ± 0.6                                          | 7.1 ± 0.6                                             | 6.2 ± 1.0                              | 7.8 ± 0.6                            |
| Northern Hem. Background                       | 0.9                                   | 0.9                                                 | 0.9                                                | 0.9                                                   | 0.9                                    | 0.9                                  |
| Crustal estimate                               | 5.7 ± 0.6                             | 4.3 ± 0.5                                           | 2.8 ± 0.2                                          | 6.3 ± 0.5                                             | 4.4 ± 0.5                              | 1.7 ± 0.3                            |
| <b>Summed total high</b>                       | <b>32.4 ± 5.3</b>                     | <b>36.5 ± 6.1*</b>                                  | <b>34.3 ± 6.0</b>                                  | <b>37.8 ± 6.0*</b>                                    | <b>32.2 ± 5.3</b>                      | <b>26.4 ± 4.0</b>                    |
| Corrected FAG (Equation (4b))                  | 31.1 ± 1.9                            | 38.7 ± 2.0                                          | 34.3 ± 1.9                                         | 33.9 ± 1.9                                            | 34.5 ± 1.8                             | 31.1 ± 1.6                           |
| <b>Fraction modelled/measured</b>              | <b>1.04 ± 0.23</b>                    | <b>0.94 ± 0.21</b>                                  | <b>1.00 ± 0.23</b>                                 | <b>1.12 ± 0.25</b>                                    | <b>0.94 ± 0.20</b>                     | <b>0.85 ± 0.17</b>                   |

| Annual average PM <sub>10</sub> concentrations | 1<br>Nijmegen<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 2<br>Rotterdam<br>Overschie<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 3<br>Amsterdam<br>Overtoom<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 4<br>Amsterdam<br>Stadh. Kade<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 5<br>Vredepeel<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | 6<br>De Zilk<br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| Modelled OPS/SIGMA                             | 20.8 ± 5.2                            | 23.8 ± 6.0*                                         | 23.5 ± 5.9                                         | 23.5 ± 5.9*                                           | 20.8 ± 5.2                             | 16.0 ± 4.0                           |
| Sea salt low (LVS CL <sup>-</sup> )            | 3.2 ± 0.3                             | 4.1 ± 0.5                                           | 4.3 ± 0.3                                          | 4.3 ± 0.3                                             | 2.9 ± 0.2                              | 5.4 ± 0.5                            |
| Northern Hem. Background                       | 0.9                                   | 0.9                                                 | 0.9                                                | 0.9                                                   | 0.9                                    | 0.9                                  |
| Crustal estimate                               | 5.7 ± 0.6                             | 4.3 ± 0.5                                           | 2.8 ± 0.2                                          | 6.3 ± 0.5                                             | 4.4 ± 0.5                              | 1.7 ± 0.3                            |
| <b>Summed total low</b>                        | <b>30.6 ± 5.3</b>                     | <b>33.1 ± 6.2*</b>                                  | <b>31.5 ± 6.0</b>                                  | <b>35.0 ± 6.0*</b>                                    | <b>29.0 ± 5.3</b>                      | <b>24.5 ± 4.1</b>                    |
| Corrected FAG (Equation (4b))                  | 31.1 ± 1.9                            | 38.7 ± 2.0                                          | 34.3 ± 1.9                                         | 33.9 ± 1.9                                            | 34.5 ± 1.8                             | 31.1 ± 1.6                           |
| <b>Fraction modelled/measured</b>              | <b>0.98 ± 0.23</b>                    | <b>0.86 ± 0.21</b>                                  | <b>0.92 ± 0.23</b>                                 | <b>1.03 ± 0.24</b>                                    | <b>0.84 ± 0.20</b>                     | <b>0.79 ± 0.17</b>                   |

Afbeelding 36 De rekensom die leidt tot de constatering dat het 'gat' voor fijn stof zou zijn gesloten. Reproductie van tabel 32 op pagina 88 van het rapport *Composition and Origin of Airborne Particulate Matter in the Netherlands* (Visser et al., 2001). Het startpunt in de berekening is de rij 'Modelled OPS/SIGMA'. Hier staan de resultaten van de modelberekeningen waarin rekening is gehouden met emissies van primair fijn stof en met de bijdragen van secundair aerosol. Hierbij worden opgeteld de bijdrage van zeezout ('Sea salt...'), van een grootschalige achtergrond ('Northern ...') en van bodemstof ('Crustal estimate'). 'Corrected FAG' staat voor gecorrigeerde meetresultaten zoals die zijn verkregen met de FAG-monitor. De FAG-monitor is een zogenoemde β-stofmonitor; zie ook het onderdeel *Metten*.

Het kan ook op andere manieren. Zo'n andere manier is om de met een automatisch meetapparaat gemeten fijnstofconcentraties te 'ontdoen' van de correctiefactor. Hiermee wordt het oorspronkelijke meetresultaat verkregen. Vervolgens voegt men berekende of gemeten concentraties toe van die componenten waarvan bekend is dat ze (gedeeltelijk) verloren zijn gegaan bij de monsterneming van fijn stof. De kwantitatief belangrijkste onderdelen hierbij zijn ammoniumnitraat, secundair organisch aerosol en water. De bijdrage van ammoniumnitraat kan geschat worden uit de resultaten van afzonderlijke metingen. De bijdrage van secundair aerosol kan afgeleid worden uit de resultaten van zwarterookmetingen. Het ontbrekende water kan op basis van temperatuurgegevens geschat worden. Een dergelijke aanpak heeft als voordeel dat ruimtelijk (en eventueel in de tijd) gedifferentieerde informatie gebruikt kan worden.

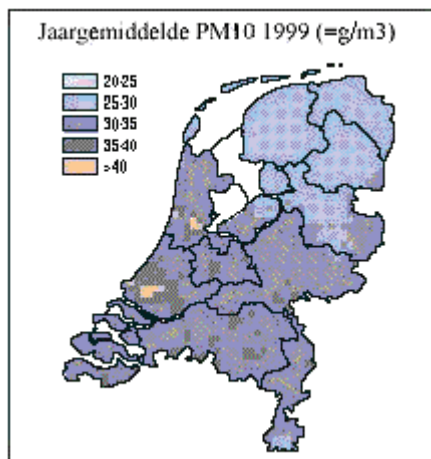
Eenzelfde voordeel heeft de methode waarbij de fijnstofconcentratie in zijn geheel uit de deelverzamelingen wordt opgebouwd. Dit is een aanpak die in Engeland met enig succes is toegepast. De deelverzamelingen zijn sulfaat, nitraat, chloride, elementair koolstof, organisch koolstof, calcium en ijzer. Met omrekeningsfactoren wordt rekening gehouden met andere niet gemeten bestanddelen (Afbeelding 37).



Afbeelding 37 Resultaat van de berekening waarbij de gemeten fijnstofconcentratie ('Measured PM<sub>10</sub>') wordt vergeleken met de uit gedeeltelijk gemeten deelverzamelingen van fijn stof berekende fijnstofconcentratie ('Calculated PM<sub>10</sub>'). De relatie is  $y = 1,00x + 1,33$ . Bron: Harrison et al., 2003.

### Foutjes bij fijn stof

Overall gaat wel eens iets fout. Fijn stof vormt daarop geen uitzondering. Soms leidt dat tot misverstanden of hilarische situaties. Zo heeft iemand een plaatje van de fijnstofconcentraties in Nederland gekopieerd. Zo te zien uit een oud RIVM-rapport. Bij de conversie is blijkbaar iets misgegaan (of zou het fout in het oorspronkelijke rapport gestaan hebben?), want de concentraties zijn uitgedrukt in g/m<sup>3</sup>. De “=” is mogelijk nog een restant van de foute conversie.



En zo schrijft Peter Breedveld op zijn website Frontaal Naakt (“ongesluierde opinies, interviews en achtergronden”) over de herkomst van fijn stof: “... vijftig procent is van natuurlijke oorsprong (zeezout, zeezand etc.)...”. Ja ..., zeezand.

“Fijn stof is een verzamelnaam van allerlei kleine deeltjes van verschillende grootte en verschillende samenstelling. Fijn stof staat ook wel bekend als deeltjesvormige luchtverontreiniging of PM<sub>10</sub>. PM staat voor ‘particulate matter’ en geeft de diameter grootte van de stofdeeltjes aan. PM<sub>10</sub>-deeltjes hebben een grootte van 10 micrometer.” Website provincie Limburg.



Afbeelding 38 Het lijkt natuurlijk mooi, maar dit fraaie kleurenpalet wordt wel degelijk veroorzaakt door stofvormige luchtverontreiniging. Bron: Pacific Southwest Research Station.





## Luchtkwaliteit

Waar alles uiteindelijk om draait, is: wat is de luchtkwaliteit? Wordt voldaan aan de Europese grenswaarden? En hoe heeft de luchtkwaliteit zich ontwikkeld?

Wat is waarheid?, is de vraag die we na lezing van het voorgaande kunnen stellen. Al die onduidelijkheden en onzekerheden: wat stellen die meetresultaten eigenlijk voor? We moeten dan vaststellen dat we ons helaas in een ongemakkelijke situatie bevinden. Aan de ene kant weten we dat er met de manier van meten en met de meetresultaten het nodige aan de hand kan zijn, aan de andere kant zijn diezelfde meetresultaten het enige wat we hebben. We zullen het er dus (voorlopig) mee moeten doen, maar ons wel voortdurend bewust moeten zijn van die onzekerheden.

Fijnstofmetingen zijn in de loop van 1992 in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van start gegaan. Daarvoor werd in dit meetnet alleen zwarte rook gemeten. Maar zoals we al zagen is zwarte rook geen equivalent, maar hoogstens een deelverzameling van fijn stof. De luchtkwaliteit voor fijn stof vóór 1994 is daardoor ongewis. De metingen van fijn stof zijn aanvankelijk uitgevoerd op een twintigtal stations. De eerste dochterrichtlijn voor de luchtkwaliteit heeft ervoor gezorgd dat het aantal meetstations voor fijn stof sterk is uitgebreid (zie ook *Afbeelding 21*). De richtlijn schrijft het aantal stations in een gebied voor op basis van de luchtkwaliteit en het inwoneraantal. Eind 2005 waren er bijna 40 stations in bedrijf.

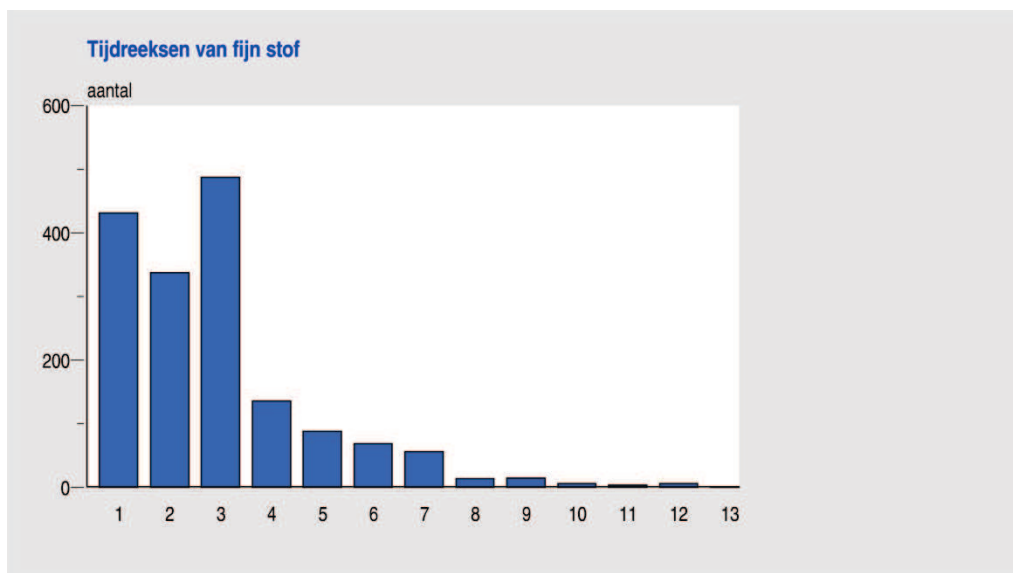
Fijnstofmetingen zoals ze tegenwoordig als  $PM_{10}$ -metingen worden uitgevoerd, zijn van recente datum. In Nederland zijn de metingen, zoals we zagen, in 1992 begonnen. In veel Europese landen zelfs nog later (*Afbeelding 39*, *Afbeelding 40*). Dit betekent dat er geen betrouwbaar beeld bestaat van de fijnstofniveaus vóór de jaren negentig. En zelfs voor een groot deel van de jaren negentig is het beeld op Europese schaal fragmentarisch. Sommigen willen voor een historische duiding nog wel eens terugvallen op het weinige dat er dan wel is, bijvoorbeeld gegevens over zwarte rook. We spraken al eerder over zwarte rook. Zwarte rook is weliswaar een deelverzameling van fijn stof, maar een helaas in tijd en ruimte variabele deelverzameling. Er zijn lange meetreeksen van zwarte rook, maar deze zeggen niets over de ontwikkelingen van de fijnstofconcentraties. Ook bestaan er lange meetreeksen van zogenaamd TSP, Total Suspended Particulates. Hier is de zaak omgedraaid in de zin dat  $PM_{10}$  stof een deelverzameling is van TSP. Helaas geldt ook hier iets soortgelijks:  $PM_{10}$  is een in tijd en ruimte variabele deelverzameling van TSP. Een tweede probleem is dat TSP zelf niet eenduidig is, maar afhankelijk van lokale omstandigheden.

Fijn stof is een grootschalig probleem. Daarom komen ook vragen op als: hoe is de situatie in andere Europese landen? En wat zijn daar de ontwikkelingen? De beantwoording van deze vragen kan alleen gebeuren als er meetgegevens zijn. Hiervoor kunnen we ons dan wenden tot AIRBASE, de database met luchtkwaliteitsgegevens op Europese schaal. Helaas blijkt dat het aantal meetpunten voor fijn stof wel indrukwekkend oogt, maar voor een grondige analyse, zeker over een wat langere periode, toch tekort schiet (*Afbeelding 39*, *Afbeelding 40*).

De beoordeling van de luchtkwaliteit voor fijn stof kan gedaan worden aan de hand van de huidige grenswaarden. Het gaat dan om de grenswaarden voor fijn stof zoals die zijn geformuleerd in de eerste dochterrichtlijn voor de luchtkwaliteit. Het gaat om twee grenswaarden. De eerste gaat over de jaargemiddelde fijnstofconcentratie en beoogt bescherming te bieden tegen *langetermijneffecten* van te veel fijn stof. De grenswaarde is een jaargemiddelde fijnstofconcentratie die niet hoger mag zijn dan  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De tweede grenswaarde heeft betrekking op daggemiddelde concentraties en is bedoeld om bescherming te bieden tegen de *korttermijneffecten* van te veel fijn stof. De grenswaarde is in dit geval geformuleerd in termen van een aantal dagen: de daggemiddelde concentratie mag op niet meer dan 35 dagen per jaar boven de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  komen.



Afbeelding 39 Meetlocaties voor fijn stof in Europa in 2003. Bron: AIRBASE, European Topic Centre on Air and Climate Change.



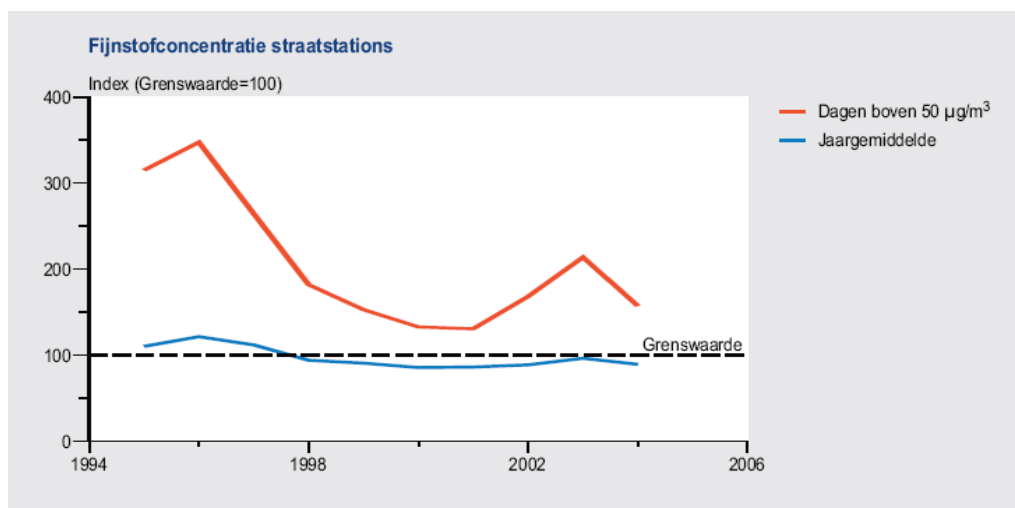
Afbeelding 40 Tijdreeksen van fijn stof in de Europese unie volgens de database met Europese luchtkwaliteitsgegevens, AIRBASE. De afbeelding toont het aantal tijdreeksen in relatie tot hun lengte. De meeste reeksen (76%) beslaan drie jaar of minder. Bron: European Topic Centre on Air and Climate Change.

De kennis over fijn stof en de bronnen ervan leidt tot de constatering dat op straatstations de hoogste concentraties gemeten zullen worden (*Afbeelding 41*). We mogen daarom verwachten dat de situatie op andere plaatsen beter zal zijn dan in de afbeelding is geschetst. De luchtkwaliteit voor fijn stof in Nederland is de afgelopen tien jaar verbeterd. De gemeten jaargemiddelde concentratie fijn stof bedroeg in 2003  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De jaargemiddelde concentraties zijn daarmee in tien jaar tijd met 25% afgenomen. Het aantal dagen met een daggemiddelde concentratie boven  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is in diezelfde periode zelfs gehalveerd. Niettemin zien we in Nederland nog overschrijding van beide grenswaarden. Het blijkt dat er meer overschrijdingen van de grenswaarde voor het daggemiddelde zijn dan van de grenswaarde voor het jaargemiddelde.

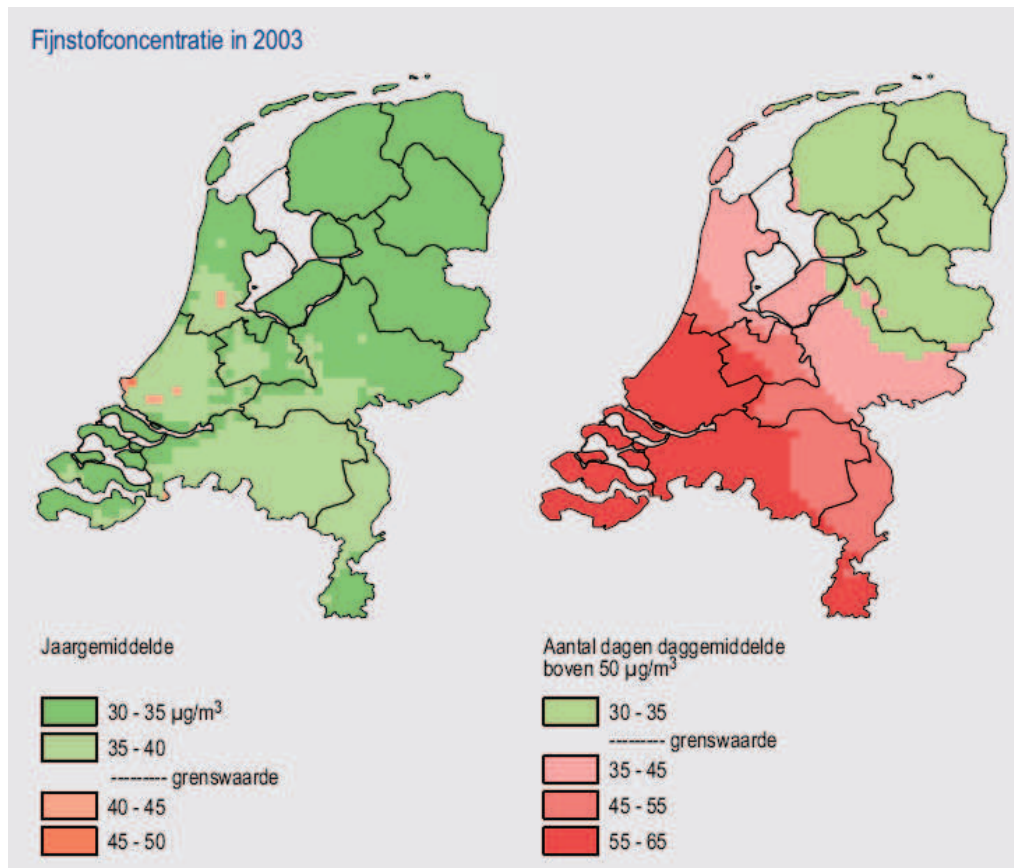
Meteorologische jaar-op-jaarfluctuaties hebben hun invloed op de jaargemiddelde fijnstofconcentratie in Nederland. Meteorologische invloeden kunnen leiden tot fluctuaties in de jaargemiddelde fijnstofconcentratie van maximaal  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Onderzoek heeft geleerd dat het mogelijk is om voor deze fluctuaties te 'corrigeren'. Na zo'n correctie voor meteorologische invloeden blijkt in de periode 1992-2003 een neerwaartse trend van gemiddeld  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per jaar opgetreden te zijn. Ook het aantal dagen met overschrijding van de grenswaarde voor het daggemiddelde neemt gemiddeld af over deze periode (*Afbeelding 41*, *Afbeelding 42*).

De jaargemiddelde fijnstofconcentratie is in stedelijke gebieden in het algemeen verhoogd in vergelijking met het omringende gebied (*Afbeelding 42*). Ook is er een zwakke gradiënt in de jaargemiddelde concentraties te zien in zuidwestelijke-noordoostelijke richting. Een zelfde gradiënt is waar te nemen in het aantal dagen met een daggemiddelde concentratie boven de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dit alles onderstreept het al eerder genoemde grootschalige verspreidingspatroon van fijn stof. Ook op een andere manier kan een bevestiging van dit grootschalige patroon worden verkregen. Uit de metingen blijkt namelijk dat het voorkomen van verhoogde concentraties zich op vrijwel alle stations tegelijk voordoet (*Afbeelding 43*). Blijkbaar ligt er een min of meer gelijkmatige deken van fijn stof over Nederland die waarschijnlijk op en neer golft door veranderingen in meteorologie, zoals windrichting en windsnelheid.

Alle gegevens die hier gepresenteerd worden, zijn officieel. Dit betekent dat het om meetgegevens gaat die gecorrigeerd zijn met de officiële Nederlandse correctiefactor van 1,33.



Afbeelding 41 Ontwikkeling van de fijn stofconcentraties op straatstations sinds het begin van de metingen in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Sinds 1995 is de luchtkwaliteit voor fijn stof duidelijk verbeterd. De lijnen geven de gemiddelde ontwikkeling in Nederland aan op basis van meetresultaten op straatstations. In de laatste jaren wordt de grenswaarde voor het jaargemiddelde (blauwe lijn) in Nederland nog maar op een enkele plaats overschreden. Overschrijding van de grenswaarde voor het daggemiddelde vindt daarentegen nog steeds op grote schaal plaats (rode lijn). Bron: *Fijn stof nader bekeken*.



Afbeelding 42 Jaargemiddelde fijnstofconcentraties (links) en het aantal dagen met een daggemiddelde fijnstofconcentratie boven de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (rechts) in Nederland in 2003, weergegeven in een grid met cellen ter grootte van 5 x 5 km. Overschrijding van de grenswaarde voor het jaargemiddelde vindt nog maar op zeer beperkte schaal plaats in de regio's Amsterdam, Den Haag en Rotterdam. Overschrijding van de grenswaarde voor het daggemiddelde treedt op in meer dan de helft van Nederland.

De kaart voor de jaargemiddelde concentraties is verkregen uit meetresultaten in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit in combinatie met modelberekeningen. De kaart voor het aantal dagen overschrijding is geconstrueerd door interpolatie van de meetresultaten op de regionale meetstations in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Bron: Fijn stof nader bekeken.

### Milieudefensie sleept Den Haag voor rechter vanwege vuile lucht

Haagse bewonersorganisaties en Milieudefensie stappen naar de rechter, als de gemeente Den Haag de luchtkwaliteit rond de Stille Veerkade en de Amsterdamse Veerkade niet snel verbetert.

Metingen tonen aan dat de luchtkwaliteit in deze twee straten niet voldoet aan Europese richtlijnen. Er is langs geen enkele straat in Nederland zoveel vieze lucht gemeten.

Milieudefensie stelt dat het vrachtverkeer aan een stuk door dieseldampen de straat inblaast. Bovendien gebruikt het doorgaand verkeer de beide straten om de binnenstad in te gaan via de A12, bij gebrek aan alternatieven. De Haagse milieuwethouder Smits gaf vorige week al toe dat met de huidige plannen de luchtnormen vooralsnog buiten bereik blijven.

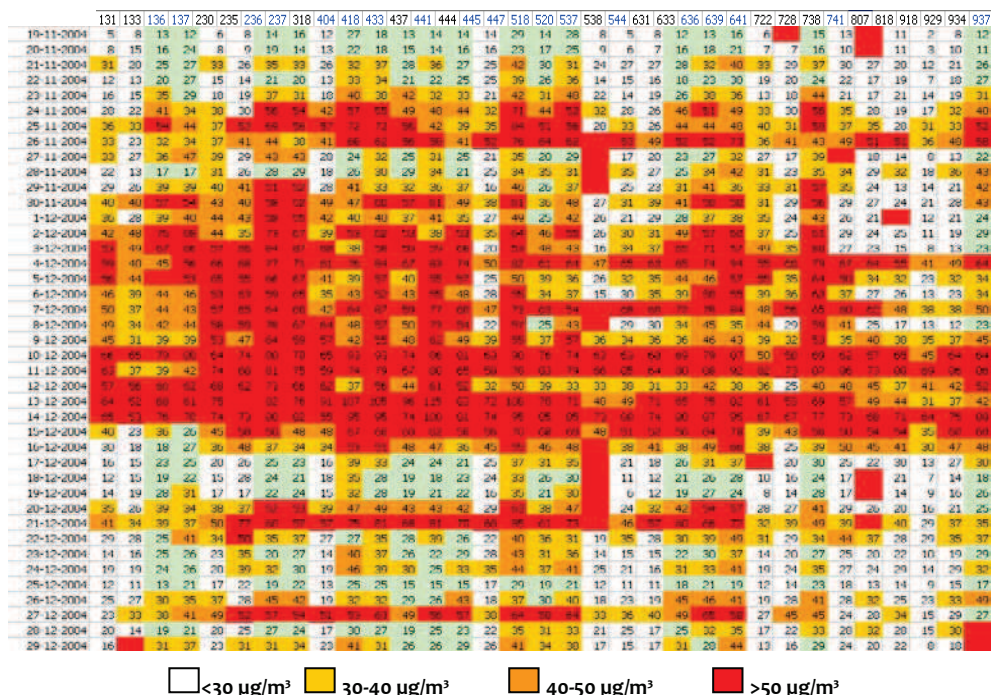
In een brief aan de gemeente eist Milieudefensie een verbod op vrachtverkeer na 11.30 uur 's ochtends. Ook moeten streekbussen blijvend worden geweerd van de Stille Veerkade en Amsterdamse Veerkade. Bovendien willen de eisers dat er geen verkeer meer van de A12 de Veerkade opkomt. Omdat het afsluiten van de op- en afritten geen gemeentelijke, maar een rijksbevoegdheid is, krijgt ook verkeersminister Karla Peijs (CDA) een brief.

Uiteindelijk streeft Milieudefensie naar een kilometerheffing voor vrachtverkeer, het duurder maken van diesel, het verlagen van de maximumsnelheid op stadssnelwegen, haast maken met het schoner maken van motoren (roetfilters verplicht stellen) en het stoppen met het aanleggen van extra asfalt of het uitbreiden van infrastructuur voor Schiphol en de Rotterdamse haven.

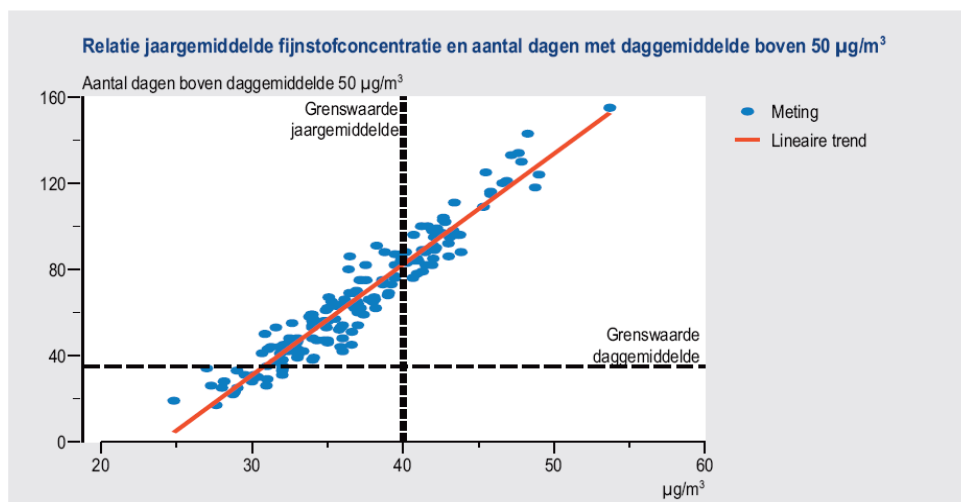
Bron: Persbericht Milieudefensie, 5 april 2005





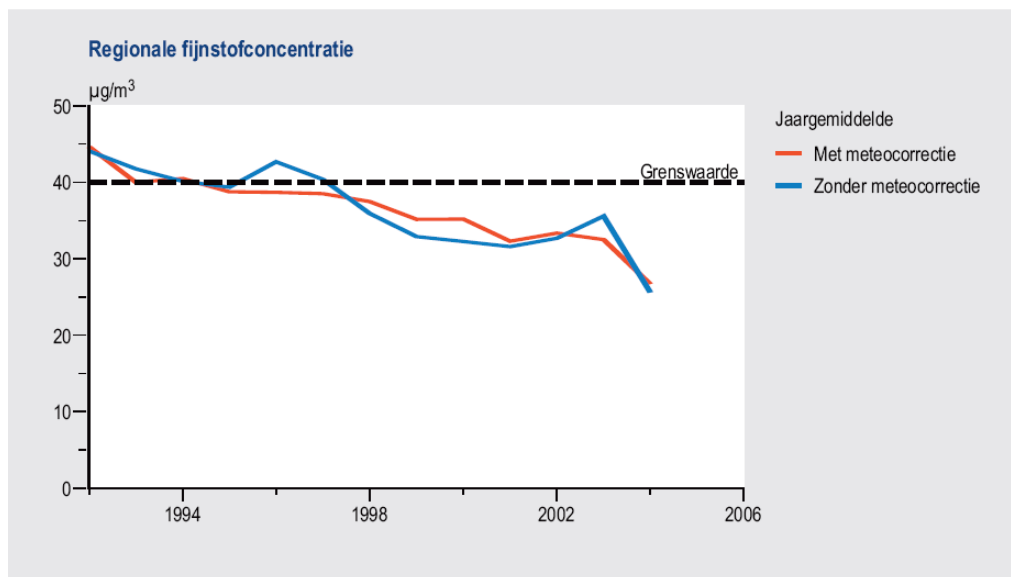


Afbeelding 43 Daggemiddelde fijnstofconcentraties zoals van 19 november tot en met 29 december 2004 gemeten op de stations van het Landelijk Meetnet Luchtqualiteit. Aan de bovenzijde zijn van links naar rechts de meetstations aangegeven volgens de regio-indelingen. Een groene kolom wijst op een stedelijk station. Een rood gemarkeerd vak duidt op een daggemiddelde concentratie boven de 50 µg/m³. De verhoging van de concentraties breidt zich in de loop van dagen over steeds meer stations uit. De concentraties op stedelijke stations blijven op elk moment echter hoger dan de concentraties op regionale stations in de nabijheid. Het effect lijkt op dat van een fijnstofdeken met bobbel over Nederland die in zijn geheel wordt opgetild. Hieruit blijkt duidelijk dat luchtverontreiniging door fijn stof voor een groot deel een grootschalig verschijnsel is. Hoge concentraties zijn niet incidenteel en lokaal bepaald, maar gebeuren over een groot gebied.



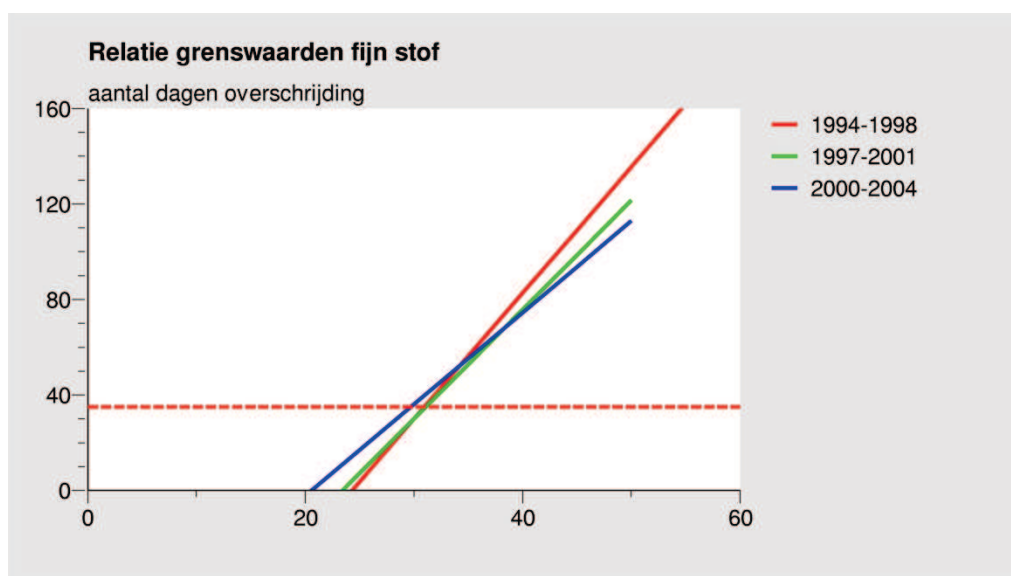
Afbeelding 44 Relatie tussen de jaargemiddelde fijnstofconcentratie en het aantal dagen met een daggemiddelde boven 50 µg/m³. De verticale lijn geeft de grenswaarde voor het jaargemiddelde aan. De horizontale lijn geeft het maximale aantal toegestane dagen (35) met een daggemiddelde boven 50 µg/m³ aan. Uit deze relatie volgt dat elke microgram meer fijn stof vijf dagen meer overschrijding van de maximaal toegestane daggemiddelde concentratie geeft. Hieruit blijkt dat bij een jaargemiddelde concentratie van 31 µg/m³ geen van beide grenswaarden nog wordt overschreden. Het aantal dagen met een daggemiddelde concentratie van 50 µg/m³ bedraagt dan juist 35. Het is overigens aannemelijk dat de relatie door de jaren heen verandert (zie ook Afbeelding 46) en ook nog eens van plaats tot plaats verschilt. Dit eenvoudige model heeft wel een fysisch probleem. Als de jaargemiddelde concentratie onder de 31 µg/m³ komt, wordt het aantal dagen met een daggemiddelde concentratie boven de 50 µg/m³ negatief. Fysisch gezien kan dit aantal dagen natuurlijk nooit minder dan nul worden. Het is dus denkbaar dat er een beter model dan dit lineaire bestaat. Bron: *Fijn stof nader bekeken*.





Afbeelding 45 Gemeten trend in de jaargemiddelde fijnstofconcentratie op de regionale stations van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. De figuur toont de trend zowel met als zonder correctie voor toevallige fluctuaties in de meteorologie. In een jaar met ongunstige meteorologische omstandigheden kan de jaargemiddelde fijnstofconcentratie tot  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hoger zijn dan in een jaar met normale meteorologische omstandigheden.

De onduidelijkheid over de waarde van de correctiefactoren bemoeilijkt een analyse van de concentratieniveaus van fijn stof in Nederland. We zouden bijvoorbeeld in plaats van een uniforme correctiefactor van 1,33 gedifferentieerde correctiefactoren voor de meetgegevens kunnen gebruiken. Het Nederlandse onderzoek uit 2000 suggereerde een correctiefactor van 1,18 voor meetgegevens van regionale stations en van 1,41 voor meetgegevens van stedelijke stations. Voor zover bekend is er geen onderzoek gedaan naar de consequenties voor bijvoorbeeld het aantal overschrijdingen bij gewijzigde correctiefactoren.



Afbeelding 46 De relatie tussen de jaargemiddelde fijnstofconcentratie (X-as) en het aantal dagen met een daggemiddelde concentratie boven de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Y-as). De relatie blijkt door de jaren heen te veranderen. Het lijkt alsof de lijn steeds vlakker gaat lopen. De relaties zijn voor 1994-1998  $y=5,3 \cdot x-128$ , voor 1997-2001  $y=4,6 \cdot x-107$  en voor 2000-2004  $y=3,8 \cdot x-79$ . In alle gevallen ligt de verklaarde variantie,  $R^2$ , rond de 0,90. Waarschijnlijk zal een niet-lineaire functie de relatie beter beschrijven. De rode, horizontale lijn komt overeen met 35 dagen.

Maar er is nog meer verwarring. Volgens recent onderzoek zou er sprake zijn van een merkwaardige trendbreuk. De jaargemiddelde concentratie van fijn stof gaf in 2005 (en 2005) een scherpe daling te zien in vergelijking met voorgaande jaren. De daling was ook meer dan verwacht moet worden op basis van de jaar-op-jaarvariëaties. Tot 2003 bedroeg de daling in de concentraties (gemiddeld)  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per jaar. Van 2003 op 2004 is er een abrupte sprong van  $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  die niet verklaard kan worden uit bijvoorbeeld verschil in meteorologische omstandigheden. Verder is het merkwaardig dat deze 'sprong' zich alleen voordoet op regionale meetstations en niet op stedelijke stations. Vergelijking met meetresultaten in het buitenland leert bovendien dat de verschillen tussen de verschillende typen meetstations in Nederland nu in de pas lopen met die in het buitenland; iets wat eerder niet het geval was.

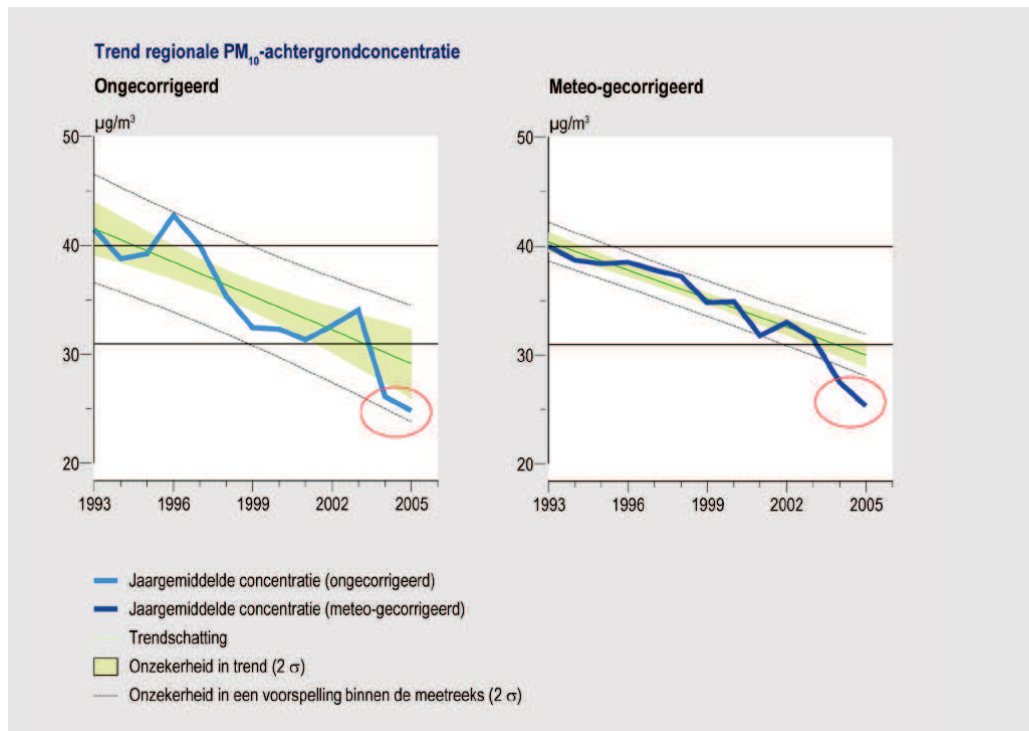
De vraag die natuurlijk vervolgens gesteld kan worden, is: wat is de verklaring van deze daling? En dan nog wel alleen op de regionale stations? Het MNP-rapport *PM<sub>10</sub> in Nederland. Rekenmethodiek, concentraties en onzekerheden* gaat uitvoerig op deze materie in. Er worden een aantal mogelijke verklaringen gegeven die, in de vermelde volgorde, in plausibiliteit afnemen:

- Verandering in de metingen en/of de meetmethode van fijn stof.
- Variaties in meteorologische omstandigheden en vluchtig fijn stof met een ruimtelijke schaal kleiner dan 80 km en/of met een tijdschaal kleiner dan 1 maand.
- Een sterke onbekende en onverklaarde verandering in de emissie van fijn stof en/of van precursorgassen.
- Een tot nu toe nog onbegrepen verandering in de chemie van de atmosfeer. Hierdoor zou het fijn stof dat in de lucht gevormd wordt uit ammoniak, stikstofoxiden, zwaveldioxide en in mindere mate chloride in de lucht plotseling en ingrijpend veranderd zijn.

Feit is dat er de afgelopen jaren aanzienlijke wijzigingen in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit zijn doorgevoerd. Zo is het aantal meetpunten aanzienlijk uitgebreid. Hiervoor is nieuwe apparatuur aangeschaft. De meest waarschijnlijke verklaring voor de trendbreuk in de fijnstofconcentraties in het landelijk gebied is de wijziging in de voorverwarmingsinstelling bij het nieuwe type meetinstrument eind 2003. Vóór de wijziging was namelijk nog vastgesteld dat de resultaten van het oude- en nieuwe type meetinstrument gelijkwaardig waren. De relatief kleine wijziging heeft mogelijk geleid tot een onverwacht grote toename in de hoeveelheid fijn stof, die verdampt tijdens de voorverwarming van het luchtmonster. Dat de trendbreuk zich vooral op stations in het landelijk gebied heeft gemanifesteerd, komt waarschijnlijk omdat het nieuwe type meetinstrument om praktische redenen bijna alleen op regionale achtergrondstations is geplaatst. De verdampingstoename bij het nieuwe type meetinstrument, als gevolg van de wijziging in de voorverwarmingsinstelling, is mogelijk versterkt door specifieke omstandigheden in het landelijk gebied. De hoeveelheid vluchtige bestanddelen in fijn stof wordt vooral bepaald door de temperatuur, relatieve vochtigheid en ammoniumnitraatconcentratie. Deze grootheden verschillen waarschijnlijk ruimtelijk zodanig dat de hoeveelheid vluchtige bestanddelen in fijn stof in het landelijk gebied groter is dan in de stedelijke omgeving.

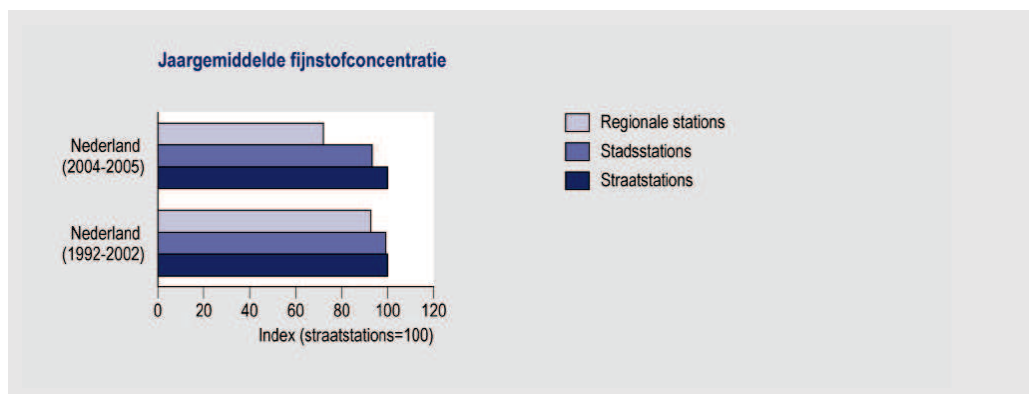
De consequenties van deze trendbreuk kunnen verstrekkend zijn. Dit komt, omdat de fijnstofconcentraties in de buurt van de strengste grenswaarde liggen. De strengste grenswaarde is die voor het aantal dagen overschrijding van een daggemiddelde concentratie van  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Deze grenswaarde komt (op dit moment) overeen met een jaargemiddelde concentratie van ongeveer  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (inclusief de aftrek van zeezout). De meetresultaten van de regionale stations dienen onder andere om de landsdekkende kaarten te maken. Deze dienen op hun beurt om lokale situaties te beoordelen en daarmee voor het constateren van overschrijdingen van grenswaarden. De plotselinge daling leidt nu tot een aanzienlijke vermindering van het aantal knelpunten, lees situaties waarin niet aan de norm wordt voldaan.

Opnieuw rijst hier nu de vraag in hoeverre een in ruimte en tijd constante correctiefactor recht doet aan de problemen die ten grondslag liggen aan fijnstofmetingen op de wijze zoals ze in Nederland worden uitgevoerd. Het kan bovendien niet worden uitgesloten dat de correctiefactor een apparaatspecifiek element bevat. Het laatste woord is hier ongetwijfeld nog niet over gezegd.

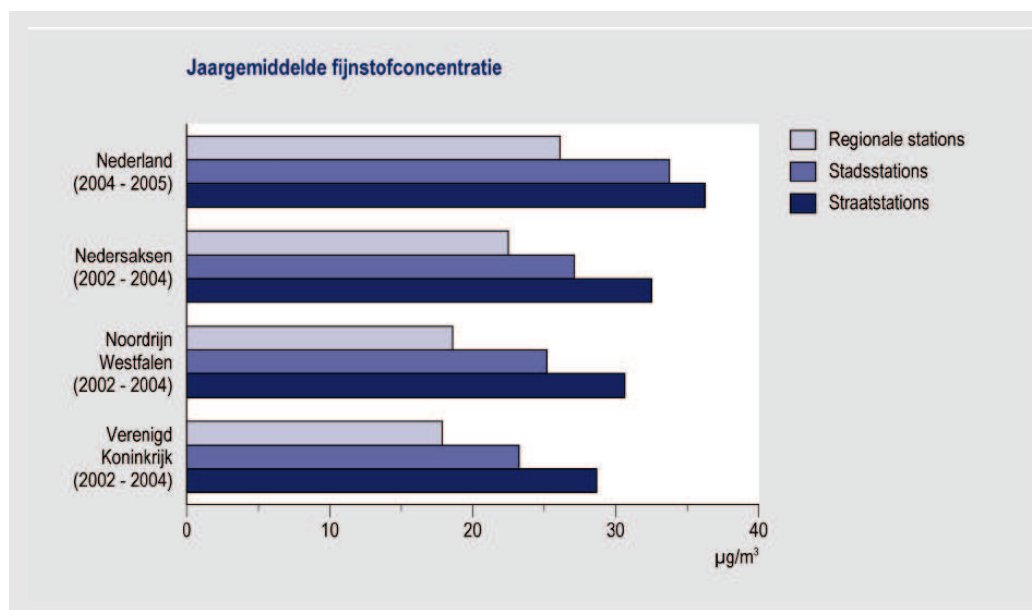


Afbeelding 47 De jaargemiddelde fijnstofconcentratie op basis van metingen op 10 regionale achtergrondstations, 1993-2005. Ongecorrigeerd (links) en gecorrigeerd (rechts) voor meteogelateerde variaties van jaar tot jaar. De dunne horizontale lijnen geven de jaargemiddelde grenswaarden weer, namelijk 40 µg/m<sup>3</sup> voor het jaargemiddelde en 32 µg/m<sup>3</sup> voor een naar een jaargemiddelde omgerekende waarde voor het daggemiddelde.

Door de meteorocorrectie zijn de variaties rond de regressielijn veel kleiner geworden (zie rechterfiguur). Dit is natuurlijk logisch, omdat een groot deel van de jaar-tot-jaarvariaties in de concentraties te verklaren is uit meteorologische verschillen van jaar tot jaar. Maar doordat de onzekerheidsbanden nu veel smaller zijn geworden, vallen de waarden in 2004 en 2005 ruim buiten het onderste 2σ-betrouwbaarheidsinterval. De kans dat concentraties buiten deze grenzen liggen, is 5%. Anders gezegd: dat zal gemiddeld eens in de 20 jaar optreden. De kans dat dit door het toeval tweemaal achterelkaar zou optreden, is slechts 0.25% (~ eens in de 400 jaar). De kans dat de concentraties zo ruim onder de grootste 2-sigma band liggen is daarmee ruim kleiner dan eens in de 1600 jaar.



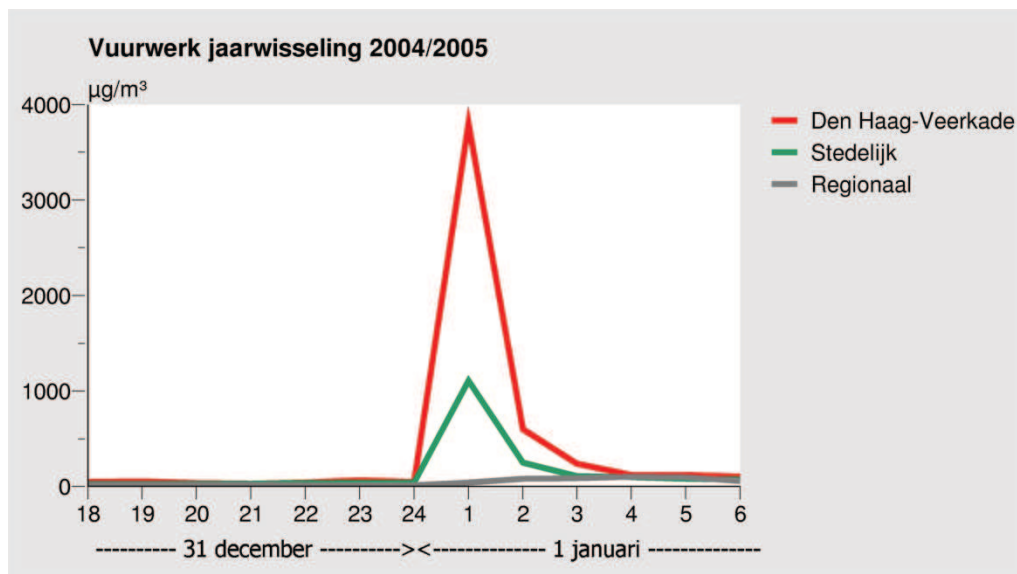
Afbeelding 48 Gemiddelde fijnstofconcentraties voor de stad-, straat- en regionale meetlocaties in Nederland op basis van dezelfde stationset. Weergegeven is de gemiddelde situatie in de jaren 1992 tot en met 2002 en die in de jaren 2004 en 2005. Bron: Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit.



Afbeelding 49 De concentraties van fijn stofmetingen op de verschillende typen meetsations in Nederland, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk. Bron: AIRBASE, Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit.

Episodes met verhoogde niveaus van luchtverontreiniging doen zich met enige regelmaat voor. Ook de fijnstofconcentraties kunnen dan tijdens zo'n episode (sterk) verhoogd zijn. Er zijn een aantal karakteristieke situaties:

- In de winter kunnen episodes optreden in situaties met een koude bodem, weinig wind en een inversie. Emissies komen dan terecht in een klein volume lucht. Door de geringe wind is er bovendien nauwelijks verspreiding.
- De jaarwisseling gaat gepaard met extreem hoge stofniveaus. Op dit moment gaat Nederland tussen de 10 en 15 miljoen kg vuurwerk de lucht in. Dit is goed voor 0,5% van de jaarlijkse fijnstofemissie in Nederland. Wat bijdraagt aan de hoge concentraties is dat een groot deel van het vuurwerk laag bij de grond afgestoken wordt. De fraaie kleuren moeten natuurlijk ergens vandaan komen. Bij vuurwerk zorgen metalen en metaalverbindingen voor de kleurenpracht. Het gevolg is dat als onderdeel van de emissies ook een grote hoeveelheid van een breed scala aan metalen vrijkomt, waaronder barium, strontium, titanium, aluminium, ijzer, lood, antimoon en koper. Mag het kwalitatief dan wel zo ongeveer bekend zijn, er is weinig informatie over welke metaalconcentraties in de lucht bij het afsteken van vuurwerk bereikt kunnen worden. Schaars onderzoek leert dat uurgemiddelde concentraties van tientallen (antimoon, koper), honderden (titanium, barium, strontium, lood) tot duizenden (aluminium, kalium) kunnen lopen.
- In de zomer zijn hoge fijnstofconcentraties meestal een onderdeel van zomersmogepisodes. Niet alleen het stabiele weer met weinig wind maar ook de vorming van veel secundair aerosol draagt bij aan de hoge concentraties. In dergelijke situaties zijn meestal de ozonconcentraties ook verhoogd.
- Incidenteel zijn er episodes met hoge concentraties die vooral veroorzaakt zijn door opwaaiend stof uit de Sahara.
- Eveneens incidenteel zijn de episodes die het gevolg zijn van bosbranden.
- Lokaal kunnen hoge niveaus het gevolg zijn van bouw- en sloopwerkzaamheden.



Afbeelding 50 Fijnstofconcentraties rond de jaarwisseling 2004/2005. De bij de uren gegeven concentratie is het gemiddelde over het voorgaande uur. Dus '1' staat voor de gemiddelde concentratie over de periode 24 tot 1 uur. Regionaal: de gemiddelde concentratie over alle regionale stations. Stedelijk: de gemiddelde concentratie over alle stedelijke stations. Den Haag-Veerkade: het stedelijke station met de hoogste concentraties. Bron: Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM.

### Pas op in de keuken (misschien)!

Dat het in de keuken niet altijd gezond is, is al langer bekend. Zo geeft koken op gas aanleiding tot de vorming van stikstofoxiden. Het gevaar van koolmonoxide, zoals vroeger met de eenvoudige keukengeiserstjes, behoort gelukkig tot het verleden. Maar nu blijken er misschien nieuwe gevaren op de loer te liggen. In een recent artikel in het gerenommeerde wetenschappelijke tijdschrift *Environmental Science and Technology* berichten een aantal Chinese onderzoekers (en een bekende Nederlander) over 'fine particulate organic matter emitted from Chinese cooking'. Het onderzoek richtte zich op de samenstelling van het organische deel van ultrafijn stof ( $PM_{2,5}$ ) en dan ook nog onderverdeeld naar 'Cantonese, Hunan, Sichuan and Dongbei style restaurant'. Het blijkt dat de organische stoffen die vrijkomen bij het kookproces 5 tot 10% bijdragen aan de het organische fijn stof in  $PM_{2,5}$ . Het grootste gedeelte blijkt te bestaan uit vetzuren met lange ketens, maar ook  $\beta$ -sitosterol en levoglucosan werden aangetroffen. De onderzoekers constateren ook dat het Chinese koken in de stad van onderzoek, Guangzhou, minder dan 1,3% bijdraagt aan de atmosferische concentratie van hexaandecaanzuur. In hoeverre we ons daar al of niet zorgen over moeten maken, wordt uit het artikel overigens niet duidelijk. Ook komen we niet te weten of en in hoeverre Chinese kookprocessen schadelijk voor de gezondheid zijn. Maar misschien is het toch verstandig om voorlopig maar op te passen met het toepassen van Chinese kooktechnieken.

Bron: Y. Zhao, M. Hu, M., S. Slanina, Y. Zhang, 2007. Chemical Compositions of Fine Particulate Organic Matter Emitted from Chinese Cooking. *Environmental Science and Technology* 41, 99-105.





Afbeelding 51 Voertuigen met een dieselmotor emitteren nogal wat stof en roet, maar zo bont als op deze foto's zien we het in Nederland toch maar zelden.



Afbeelding 52 Boven: op- en overslag van materialen kan een belangrijke bron van stof zijn. Onder: het Europees Massagoed- Overslagbedrijf (EMO) BV is de grootste droge bulkterminal in Europa en is sinds 1973 gevestigd op de Maasvlakte in Rotterdam. EMO is gespecialiseerd in de overslag en opslag van ijzererts en kolen vanuit de hele wereld. In 2004 verwerkte de EMO 35 miljoen ton. Foto onder: EMO.

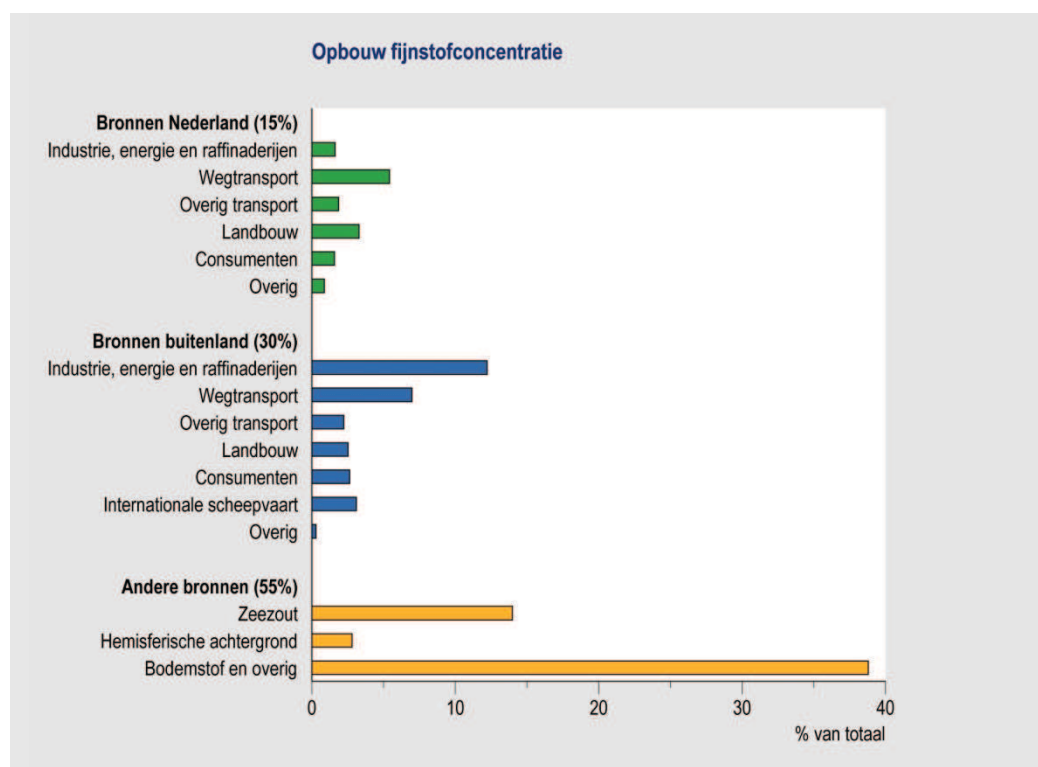


## Herkomst

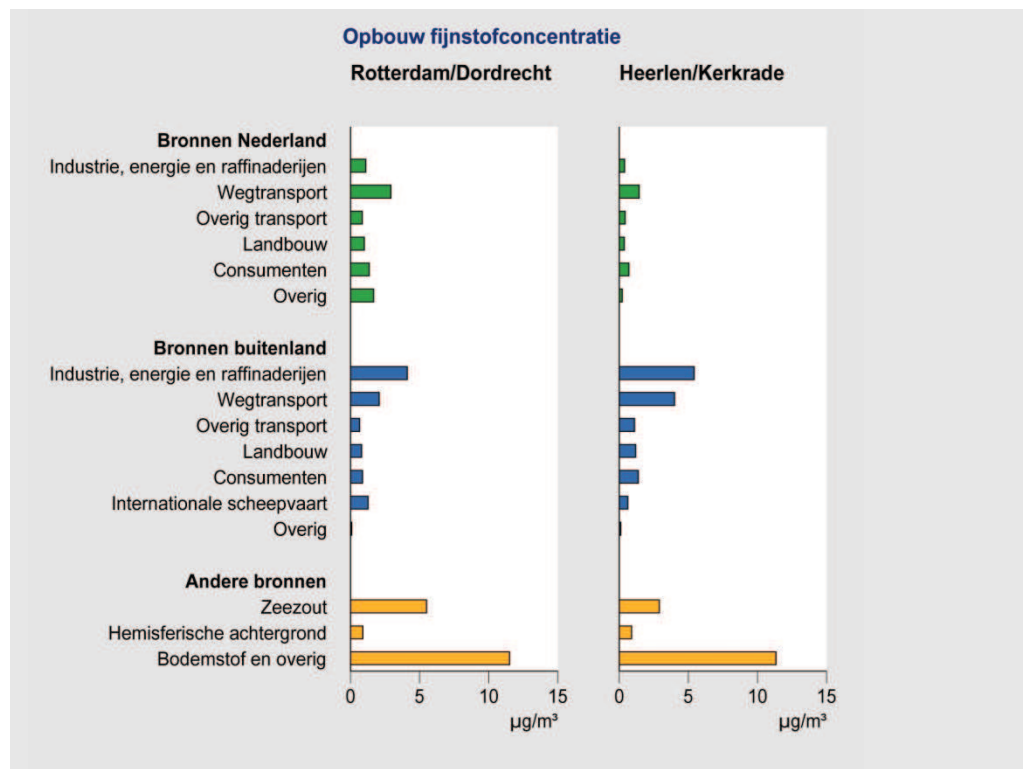
Wie concentraties van luchtverontreiniging heeft gemeten, wil voor een beter begrip ook vaak weten waar de verontreiniging op een bepaalde plaats vandaan komt. Atmosferische-chemische transportmodellen zijn daarbij een onontbeerlijk hulpmiddel. In deze paragraaf informatie over wat deze modellen ons vertellen over de herkomst van het fijn stof. Maar ook wat ze ons niet vertellen of niet kunnen vertellen.

Een belangrijke vraag bij luchtverontreinigingsproblemen is altijd: waar komt het vandaan? En een daaropvolgende vraag: welke bronnen dragen in welke mate bij tot de concentratie op een bepaalde plaats? Om deze vragen te kunnen beantwoorden, worden atmosferisch-chemische transportmodellen gebruikt. Het hoe en wat van deze modellen is eerder besproken (zie het onderdeel *Modellen*).

De uitkomsten van berekeningen met atmosferisch-chemische transportmodellen leren dat, gemiddeld voor Nederland, zeker 45% van de fijnstofbestanddelen van antropogene herkomst is. Hiervan is twee derde deel afkomstig uit buitenlandse bronnen en een derde deel komt uit Nederland zelf (*Afbeelding 53*). Een eenvoudige rekensom leert dan dat minimaal 15% van de fijnstofconcentraties door maatregelen in Nederland beïnvloed kan worden. In steden, waar het verkeer een belangrijke lokale bijdrage levert, zal dit meer kunnen zijn.



Afbeelding 53 Gemiddelde opbouw van fijnstofconcentraties in buitenstedelijke gebieden in Nederland met een onderverdeling naar bronbijdragen. 'Bodemstof en overig' in de categorie 'Andere bronnen' is het langjarig gemiddelde van het niet gemodelleerde deel van fijn stof dat bestaat uit stof van biologische oorsprong, water en de bijdrage van niet- of verkeerd gemodelleerde bronnen. Hierin kunnen dus gedeeltelijk ook antropogene bronnen begrepen zijn. In steden zal er een aanzienlijke bijdrage van lokale bronnen kunnen zijn. Vooral de bijdrage van wegtransport kan fors hoger zijn. De bijdrage van Nederlandse bronnen kan zo oplopen tot maximaal 45% van de fijnstofconcentratie. Bron: *Fijn stof nader bekeken*.



Afbeelding 54 Bijdrage van bronnen in binnen en buitenland aan de jaargemiddelde concentratie van fijn stof in twee stedelijke agglomeraties. 'Bodemstof en overig' in de categorie 'Andere bronnen' is het langjarig gemiddelde van het niet gemodelleerde deel van fijn stof dat bestaat uit stof van biologische oorsprong, water en de bijdrage van niet- of verkeerd gemodelleerde bronnen. Hierin kunnen dus gedeeltelijk ook antropogene bronnen begrepen zijn. Voor een definitie van de agglomeraties zie ook Afbeelding 57. Bron: Fijn stof nader bekeken.

Modellen kunnen onder andere gebruikt worden om iets te zeggen over de herkomst van fijn stof. Hierbij wordt vooral gekeken naar oorsprong, bijvoorbeeld een economische activiteit of een natuurlijke bron. Het OPS-model berekent fijnstofconcentraties op basis van de bekende, officiële antropogene emissies van fijn stof. Vergelijking tussen het berekende en het gemeten niveau laat zien dat er minder berekend wordt dan gemeten. Dit ontbrekende deel heet het 'niet-gemodelleerde deel'. Bij de berekeningen met het OPS-model wordt bovendien een onderscheid gemaakt tussen de primaire en de secundaire fracties. De primaire fractie – we herhalen het nog maar eens - bestaat uit deeltjes die direct door menselijk handelen in de lucht worden gebracht. De secundaire fractie bestaat uit deeltjes die in de atmosfeer worden gevormd na chemische reacties in de lucht. Hierbij zijn vooral ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) en zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ) betrokken.

De herkomst van het fijn stof in Nederland kan in vierën worden onderverdeeld.

- Primair fijn stof van binnenlandse herkomst. De belangrijkste antropogene emissie komt van transport, industrie en landbouw. Circa 8% van de totale fijnstofconcentratie is een gevolg van primaire emissies in Nederland.
- Primair fijn stof uit het buitenland. De belangrijkste bronnen zijn industrie, transport en consumenten. 10% van de totale concentratie in Nederland is een gevolg van primaire emissies elders in Europa.
- Secundair fijn stof uit het binnenland. De belangrijkste bronnen zijn transport en landbouw. 7% van de totale concentratie in Nederland is een gevolg van secundaire emissies in Nederland.
- Secundair fijn stof uit het buitenland. De belangrijkste bronnen zijn transport, industrie en landbouw. 20% van de totale concentratie in Nederland is een gevolg van primaire emissies elders in Europa.

Bovengenoemde emissies zijn in principe beïnvloedbaar met internationaal beleid. Het gemodelleerde deel verklaart, gemiddeld voor Nederland, ongeveer de helft van de gemeten concentraties. Het is van belang om hierbij te bedenken dat het gaat om een vergelijking met meetwaarden die gecorrigeerd zijn met een factor van 1,30.

Daarnaast is er dus de andere helft die niet door het model berekend wordt: het niet-gemodelleerde deel. Dit bestaat waarschijnlijk voornamelijk uit bestanddelen van natuurlijke oorsprong. Deze emissies zijn dan ook grotendeels niet beïnvloedbaar door beleidsmaatregelen. Er zijn vier bijdragen te onderscheiden.

- Zeezout. In kustgebieden vormt de zee een belangrijke natuurlijke bron voor fijn stof in de vorm van zeezoutdeeltjes. Ongeveer 15% van de totale fijnstofconcentratie in Nederland bestaat uit zeezout.
- Bodemstof. Bodemstof is gedeeltelijk van natuurlijke oorsprong. Emissie van bodemstof kan aanzienlijk worden verhoogd door menselijke activiteiten, zoals landbouw en verkeer, en is zo als antropogeen aan te merken. Ruim 10% van de totale fijnstofconcentratie in Nederland bestaat uit bodemstof.
- Hemisferische bijdrage. Dit betreft bijdragen van bronnen buiten Europa; ze zijn deels van natuurlijke en deels van antropogene oorsprong. De hemisferische bijdrage is ongeveer 3% van de totale fijnstofconcentratie in Nederland.
- Overig. Dit is de sluitpost tussen metingen en berekeningen. Het bestaat uit stof van biologische oorsprong, zoals afbraakproducten van organisch materiaal en bacteriën, water en de bijdrage van niet of mogelijk verkeerd gemodelleerde bronnen en systematische meetfouten. Dit gaat om ongeveer 25% van de totale fijnstofconcentratie in Nederland.

De complexe aard van fijn stof heeft nog een andere consequentie. Het primaire fijn stof is direct afkomstig van (aanwijsbare) bronnen. De concentratie van dit deel van het fijn stof zal dan ook ruimtelijk sterk kunnen variëren. Sterkte van bronnen en de afstand tot bronnen zijn hierbij bepalend. Anders ligt het bij het secundaire stof. Dit wordt over het algemeen langzaam in de atmosfeer gevormd. Luchtmassa's kunnen intussen afstanden van tientallen of honderden kilometers afleggen. De concentraties van secundaire aerosolen zullen daarom geen sterke ruimtelijke gradiënten te zien geven. Dit bemoeilijkt de interpretatie van meetgegevens van fijn stof.

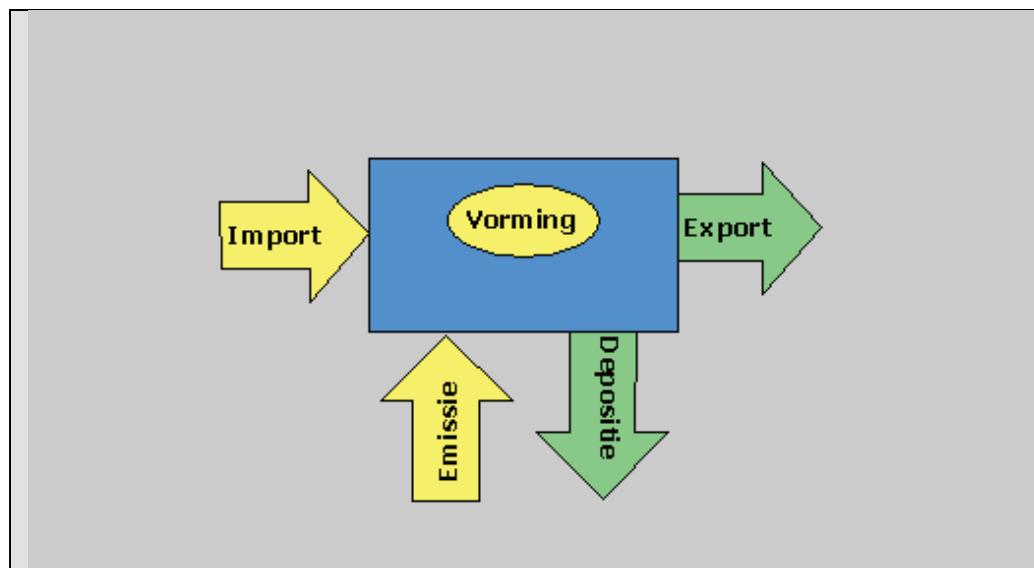
Veel vormen van luchtverontreiniging blijven zo lang in de lucht dat ze landsgrenzen overschrijden. Soms valt in dit verband dan ook het woord grensoverschrijdende luchtverontreiniging. Het betekent dat we dus ook bij luchtverontreiniging kunnen spreken van import en export. Een verwant begrip is grootschalige luchtverontreiniging. Hiermee wordt bedoeld dat sommige vormen van luchtverontreiniging zich over grote afstanden kunnen verplaatsen. Dit begrip lijkt dus erg op het begrip grensoverschrijdende luchtverontreiniging.

In theorie is het gemakkelijk om een import-exportbalans op te stellen. We beschouwen hierbij het Nederlandse luchtruim als een doos. Hier komt fijn stof in in de vorm van import en van emissies in Nederland. Fijn stof gaat er uit door export en door depositie van fijn stof op Nederland. Een laatste element is de vorming van fijn stof in de Nederlandse atmosfeer. Dit kan gebeuren uit reacties van gasvormige componenten. Andersom zou fijn stof in de atmosfeer ook kunnen ontleden in gasvormige componenten. De omvang van dit proces is echter verwaarloosbaar. We kunnen nu verder veronderstellen dat het om een stationaire situatie gaat. Dit betekent dat we aannemen dat de hoeveelheid stof in de atmosfeer constant is. Dus:

$$\text{Import} + \text{Emissie} + \text{Vorming} = \text{Export} + \text{Depositie}$$

Dit model zegt ons dus iets over fluxen, de hoeveelheid getransporteerde stof in of uit het reservoir per tijdseenheid. De gegevens over de emissie kunnen bijvoorbeeld ontleend worden aan de Emissieregistratie. Inzicht in de import, export en depositie kan met een model verkregen worden. Als we nu de vorming op 0 stellen – in eerste orde geen onwaarschijnlijke benadering – dan hebben we een compleet gekwantificeerd (en hopelijk sluitend) model. Het stelt ons in staat uitspraken te doen in de trant van 'Nederland exporteert x maal zo veel luchtverontreiniging als het importeert'.





Afbeelding 55 Schematische weergave van de theoretische benadering om de verhouding van import en export van luchtverontreiniging vast te stellen. De Nederlandse atmosfeer wordt als een doos beschouwd, . Dit is aangegeven met de blauwe rechthoek. De 'doos' bevat een constante hoeveelheid stof. Er komt stof bij door import, emissie en vorming van stof in de atmosfeer zelf. Dit zijn de gele elementen. Er verdwijnt stof door export en door depositie. Dit zijn de groene elementen.

Het doen van uitspraken als 'Nederland is een netto-exporteur' is verleidelijk. Het is immers een aansprekend beeld dat met een dergelijke uitspraak opgeroepen kan worden. Zeker in samenhang met de uitspraak 'De concentratie van fijn stof wordt grotendeels door buitenlandse bronnen bepaald' lijkt het alsof een afgewogen beeld gepresenteerd. Zorgvuldigheid is echter wel gepast, want de uitspraak over import of export gaat over fluxen en niet over concentraties. Bovendien is de vraag hoe volledig het boven geschetste model in het geval van fijn stof is. Zo geldt het model voor het kleinere deel van fijn stof,  $PM_{2,5}$ . Over dit deel van het fijn stof is, zij het met grote onzekerheden, modelmatig iets te zeggen over de fluxen. Maar dat is niet al het fijn stof. Evenzo geldt dit voor het secundair aerosol. Over dit deel van het fijn stof is modelmatig ook iets te zeggen over de fluxen. Maar ook dan hebben we het niet over al het fijn stof. We kunnen hoogstens in eerste benadering zeggen dat we een uitspraak kunnen doen over een deel van het antropogene fijn stof. Met deze nuancering verliest de uitspraak natuurlijk wel aan kracht. En dan nog kunnen we ons afvragen wat de relevantie van een uitspraak over de import en export van fijn stof in depositietermen is. Fijn stof is immers in eerste instantie een luchtkwaliteitsprobleem en geen depositieprobleem, zoals wel het geval is bij verzurende of vermestende depositie.

#### Overal loert het gevaar

Het lijkt wel of tegenwoordig fijn stof altijd en overal aanwezig is. Nergens lijkt een mens nog veilig. Natuurlijk, we wisten al langer dat het binnenshuis niet goed toeven is als het gaat om de luchtkwaliteit. Maar nu heeft onderzoek aangetoond dat het ook in klaslokalen niet pluis is. Er blijken sterk verhoogde concentraties van fijn stof ( $PM_{10}$ ) en ultra fijn stof ( $PM_{2,5}$ ) te kunnen voorkomen.

Gezellig vuurwerk bekijken is er ook al niet mee bij. Vuurwerk leidt niet alleen tot sterk verhoogde concentraties van fijn stof, maar ook sommige bestanddelen erin geven sterk verhoogde concentraties te zien. Wie een beetje verstand heeft van vuurwerkchemie zal dat niet verbazen: de mooie kleuren van vuurwerk zijn afkomstig van metalen. Onderzoek in Spanje bij meerdaagse festiviteiten met vuurwerk gaf verhoogde concentraties van kalium, magnesium, aluminium, titanium, strontium, lood, barium en koper te zien. De onderzoekers concluderen dat er sprake is van een 'health risk to susceptible individuals'.

Helaas is nu ook wetenschappelijk vastgesteld dat een verblijf in de kerk ook al niet gezond is. Bezoekers van de katholieke eredienst blijken aan fijnstofconcentraties te worden blootgesteld die zeven maal zo hoog zijn als in de buitenlucht. De boosdoener blijkt 'heavy incense burning te zijn'. De concentraties kunnen wel oplopen tot  $150 \mu g/m^3$ . Maar ook bij andere geloven waar het branden van wierook tot de gebruikelijke praktijk behoort, lopen gelovigen verhoogde risico's, zo blijkt uit werk van Chinese en Taiwanese onderzoekers.

## Beleid en regelgeving

Stofvormige luchtverontreiniging is decennia geleden al ontdekt als een probleem. Er bestaat dan ook al geruime tijd wet- en regelgeving waarin is vastgelegd, waaraan de luchtkwaliteit voor (fijn) stof moet voldoen. Een korte rondgang langs de wetgeving en de daaraan verbonden eigenaardigheden en problemen.

De erkenning van luchtverontreiniging als probleem met een grote ruimtelijke schaal heeft in Nederland al in de jaren zeventig tot beleid op nationaal beleid geleid. Het was Ginjaar, de toenmalige minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne in het eerste kabinet-Van Agt, die met het *SO<sub>2</sub>-Beleidskaderplan* de eerste stappen zette om te komen tot emissiereducties in Nederland. Het was een voorbeeld van brongericht beleid. Het plan stelde dat in Nederland totaal niet meer dan 500.000 ton zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) per jaar de lucht mocht ingaan. Belangrijke uitgangspunt hierbij was de bescherming van mens en natuur. Dit speelde zich af in een tijd – eind jaren zeventig- dat de luchtverontreinigingsproblematiek, ook beleidsmatig, nog overzichtelijk leek. Enkele jaren later werd de zure regen ‘ontdekt’ en weer later de rol van ammoniak daarin. De situatie werd daardoor heel wat gecompliceerder. In 1982 kwam minister Winsemius daarop met een emissieplafond voor stikstofoxiden. Het beoogde plafond was 300.000 ton per jaar; de werkelijke emissie was op dat moment bijna het dubbele. Het was dan ook een langetermijndoelstelling, te realiseren in de jaren 1990-2000. Het is er tot op de dag van vandaag niet van gekomen. En wat zijn de huidige doelstellingen dan? Hiervoor kunnen we kijken naar de NEC-plafonds. Dit zijn National Emission Cielings die in Europees verband zijn overeengekomen. Voor Nederland geldt een NEC-plafond voor zwaveldioxide van 50.000 ton (vergelijk dit met de 500.000 ton uit 1980!) en plafond van 260.000 ton voor stikstofdioxide.

Winsemius bracht in 1986 een wijziging van de Wet inzake de luchtverontreiniging tot stand, waardoor het voor het eerst mogelijk was om in die wet luchtkwaliteitsdoelstellingen op te nemen. Verder konden er vanaf dat moment regels worden gesteld voor ‘inrichtingen’, dat wil zeggen industrieën, raffinaderijen en dergelijke. Hierdoor kon de uitworp van luchtverontreinigende stoffen beter worden tegengegaan. Gaandeweg was het besef ontstaan dat generieke emissieplafonds en alleen bronbeleid niet volstonden. Er kwam dus ook luchtkwaliteitsbeleid en effectgericht beleid. Kortom, zoals we al zagen, normen voor de luchtkwaliteit en later ook depositiedoelstellingen.



Afbeelding 56 Een aantal ministers en een staatsecretaris met luchtkwaliteit in hun werkpakket. Van links naar rechts dr. L. Ginjaar, minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne (in de wandeling VoMil), 1977-1981; P. Winsemius, minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), 1982-1986; E. Nijpels, minister van VROM, 1986-1989; J.P. Pronk, minister van VROM, 1998-2002; P.L.B.A. van Geel, staatssecretaris voor Milieu, 2002-2007. Ginjaar opende op 12 april 1978 het laatste meetstation van het voltooid Nationaal Meetnet voor Luchtverontreiniging. Winsemius opende in 1982 het symposium *Zure regen* in 's Hertgenbosch. Hiermee werd het zure regenprobleem in Nederland definitief op de kaart gezet. Winsemius bedacht ook de thematische aanpak van de milieuverontreiniging: Vermesting, Verzuring, enzovoorts. Nijpels opende in 1989 het early warning station voor luchtverontreiniging in Polen. Dit meetstation was bedoeld om het ontstaan van een voor Nederland dreigende wintersmogepisode vroegtijdig te detecteren. Onder regie van Nijpels ontstond het eerste Nationaal Milieubeleidsplan, NMP. Onder Pronk kreeg de uitwerking van de nieuwe Europese regelgeving op het gebied van luchtkwaliteit grotendeels zijn beslag. Zijn opvolger Van Geel, die het milieu ‘slechts’ als staatssecretaris deed, probeerde voor de volgens sommigen aperte zwakheden in het huidige regelgevingssysteem een oplossing te bedenken. Men kan zich overigens afvragen hoe het komt dat juist ministers van VVD-huize (Ginjaar, Winsemius, Nijpels) zo’n grote bijdrage hebben geleverd aan de verbetering van de fysieke milieukwaliteit. Bron foto’s: [www.parlement.com](http://www.parlement.com).

Nijpels kwam met het eerste Nationale Milieubeleidsplan, het NMP. Hierin stond een integrale analyse van de milieuproblematiek op lokaal, regionaal en mondiaal niveau. De veroorzakers van milieuverontreiniging werden verantwoordelijk gesteld voor het oplossen daarvan. Het gevolg was dat met doelgroepen, zoals het bedrijfsleven, voortaan taakstellingen werden afgesproken. Ook het begrip duurzaamheid doet, na het verschijnen van *Zorgen voor morgen*, zijn intrede. Het streven naar duurzame ontwikkeling wordt hoofddoelstelling van het milieubeleid.

De eerste wetgeving die bedoeld was om de luchtkwaliteit voor stofvormige luchtverontreiniging te reguleren, dateert uit de jaren tachtig. Zo werd in 1986 Nederlandse regelgeving van kracht voor zwaveldioxide en zwevende deeltjes. Die regelgeving had wel de nodige tijd op zich laten wachten. Zo kondigde de toenmalige minister Ginjaar (zie ook *Afbeelding 56*) al in het *SO<sub>2</sub>-beleidskaderplan* in 1979 het voornemen aan om te komen tot 'richtlijnen voor luchtkwaliteitsnormen'. Pas een wijziging van de Wet inzake de Luchtverontreiniging in 1986 maakte de weg vrij voor een 'normstelling bij wettelijke regeling'. Ook in een ander opzicht was de Nederlandse reactie wat vertraagd. Al in 1980 was in de Europese Gemeenschap een richtlijn met grens- en richtwaarden voor zwaveldioxide en zwevende deeltjes van kracht geworden. Volgens deze richtlijn zou de Europese normstelling binnen 24 maanden in de nationale wetgeving van de lidstaten moeten worden opgenomen. Het werd bijna zes jaar. In deze tijd kon de Europese regelgeving voor lucht nog opgevat worden als een minimumdoelstelling. Het stond de lidstaten vrij om desgewenst strengere grenswaarden te definiëren; en dat is iets wat Nederland ook deed. Niettemin bleek het van het begin af aan geen enkel probleem te zijn om te voldoen aan de Nederlandse luchtkwaliteitsdoelstellingen voor stof. Of eigenlijk moeten we zeggen de doelstellingen voor zwevende deeltjes, zoals gemeten met de zwarterookmethode, want daar ging de regelgeving destijds over.

In 1996 is de Kaderrichtlijn Luchtkwaliteit van kracht geworden. De Kaderrichtlijn is een richtlijn van de Europese Unie en deze geeft een nieuw en samenhangend algemeen Europees kader voor 'de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit'. De Kaderrichtlijn hanteert een aantal belangrijke begrippen: dochterrichtlijnen, voorlopige beoordelingen, beoordelingsdrempels en zones en agglomeraties. De zogenoemde dochterrichtlijnen zijn uitwerkingen van luchtkwaliteitseisen voor specifieke stoffen. Er zijn inmiddels vier dochterrichtlijnen verschenen. De concentratieniveaus van de stoffen uit de eerste dochterrichtlijn, waaronder fijn stof, zijn bij de definitie van de zones en agglomeraties in Nederland een belangrijk element geweest. Het resultaat is een onderverdeling van Nederland in drie zones en zes agglomeraties (*Afbeelding 57*). Dit zijn gebieden waarin de luchtkwaliteit min of meer gelijkmatig is. De zones en agglomeraties weerspiegelen dus, als het goed is, de verschillende luchtkwaliteitsregimes in Nederland.

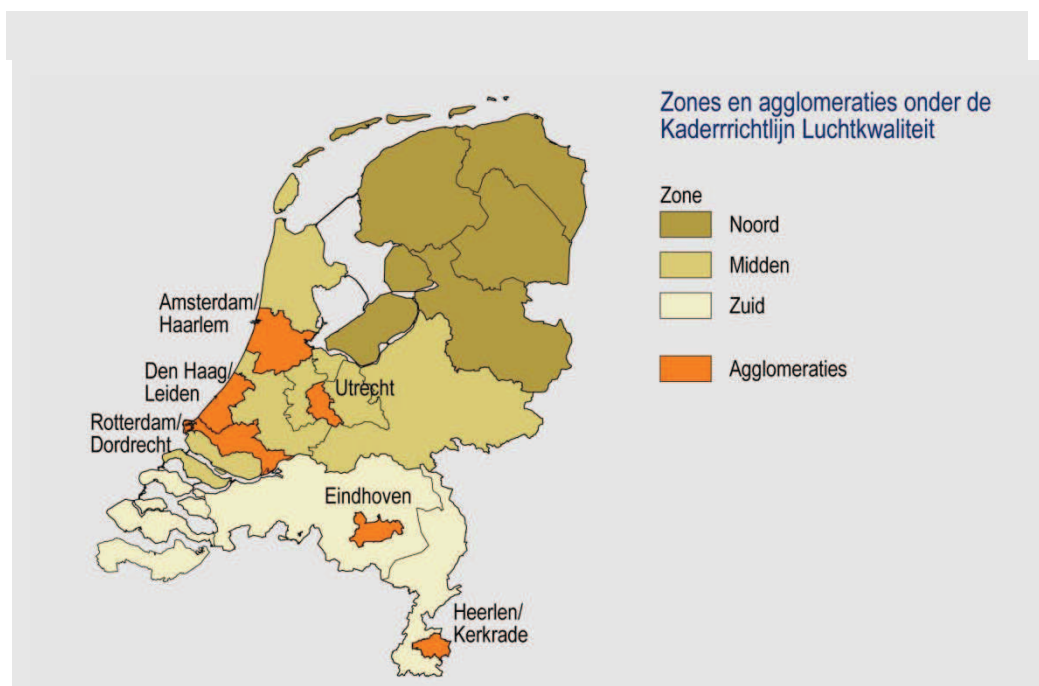
#### Vroege regelgeving

Het Besluit van 13 februari 1986, houdende regels al bedoeld in artikel 2 van de Wet inzake de luchtverontreiniging (Besluit luchtkwaliteit zwaveldioxide en zwevende deeltjes (zwarte rook)) was de eerste regelgeving in Nederland die beoogde de luchtverontreiniging onder controle te brengen. De stofvormige luchtverontreiniging waarop het besluit betrekking had, waren de zwevende deeltjes. Dit is niet hét stof, maar slechts een gedeelte van het stof zoals het in de lucht voorkomt. Dit deel dat ook wel werd omschreven als zwarte rook, werd destijds als het schadelijke bestanddeel van het stof beschouwd.

De reden om zwaveldioxide en stof in de regelgeving in samenhang te behandelen komt, omdat in de jaren zestig en zeventig de opvatting was dat zwaveldioxide en stof synergetisch zouden werken. Synergetisch wil zeggen elkaars (gezondheids)effect versterkend. Bovendien gingen in die tijd hoge niveaus van het een gepaard met hoge niveaus van het ander. Een reden te meer om beide vormen van luchtverontreiniging in samenhang te reguleren.

Het besluit uit 1986 definieerde een viertal grenswaarden voor zwevende deeltjes. Grenswaarden geven een concentratieniveau aan dat niet mag worden overschreden. De vier grenswaarden waren destijds:

- 30 µg/m<sup>3</sup> als 50-percentiel van 24-uursgemiddelde concentraties
- 75 µg/m<sup>3</sup> als 95-percentiel van 24-uursgemiddelde concentraties
- 90 µg/m<sup>3</sup> als 98-percentiel van 24-uursgemiddelde concentraties
- 150 µg/m<sup>3</sup> als 24-uursgemiddelde concentratie.



Afbeelding 57 De verdeling van Nederland in zones en agglomeraties volgens de Kaderrichtlijn Luchtkwaliteit. Bron: Van Breugel en Buijsman.

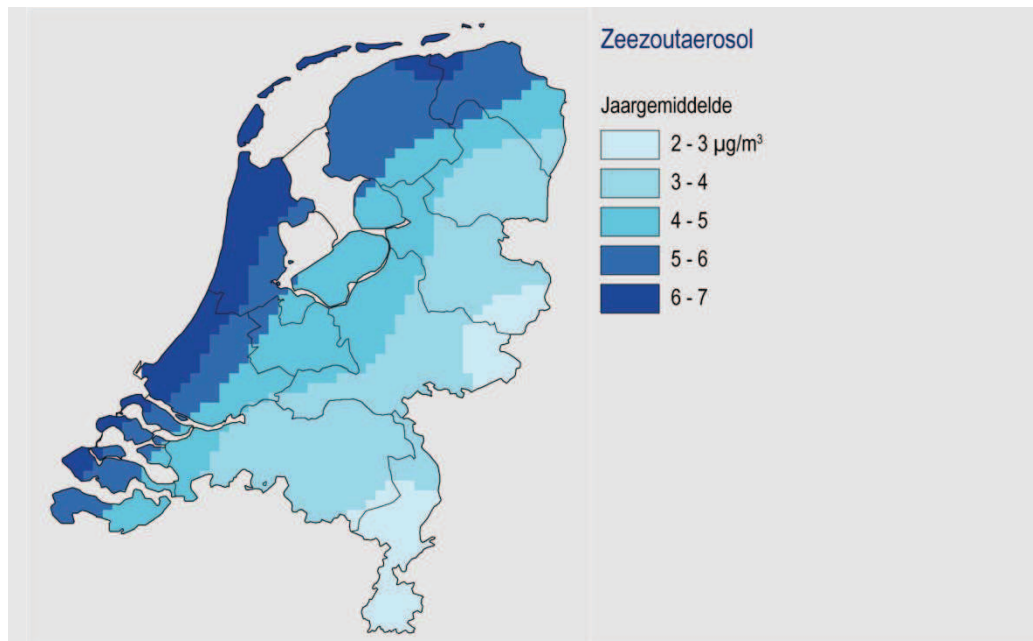
De agglomeraties zijn stedelijke gebieden met minimaal 250.000 inwoners. De eerste dochterrichtlijn geeft bovendien voorschriften voor de aantallen meetstations in de zones en agglomeraties in afhankelijkheid van de aantallen inwoners en de concentratieniveaus. Ook geeft de richtlijn voorschriften voor de te gebruiken meetapparatuur. De implementatie van deze aspecten in Nederland is geheel volgens de Europese richtlijn. Dit alles is in 2001 in de vorm van het Besluit Luchtkwaliteit in de Nederlandse wetgeving opgenomen. De richtlijn kent twee grenswaarden. Er is een grenswaarde voor de jaargemiddelde fijnstofconcentratie die vooral beoogt bescherming te bieden tegen de langetermijneffecten van fijn stof. Deze grenswaarde bedraagt  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De tweede grenswaarde is voor de daggemiddelde fijnstofconcentratie. Deze is vooral bedoeld voor de bescherming tegen effecten op korte termijn. De grenswaarde voor het daggemiddelde is het niveau van  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dat niet meer dan 35 dagen per kalenderjaar overschreden mag worden. In de oorspronkelijke opzet waren de twee grenswaarden als equivalent bedoeld, dat wil zeggen dat ze op basis van de toenmalige kennis als even 'streng' werden verondersteld. In de praktijk blijkt dit niet het geval te zijn. De grenswaarde voor het daggemiddelde is 'strenger' dan die voor het jaargemiddelde.

De Europese regelgeving biedt mogelijkheden om fijn stof dat afkomstig is van 'natuurverschijnselen' onder voorwaarden af te trekken van de (gemeten) fijnstofconcentraties. Dit geeft bijvoorbeeld de landen in Zuid-Europa de mogelijkheid om de bijdrage van Saharastof van de gemeten fijnstofconcentraties af te trekken. Een andere ontsnappingsmogelijkheid is als 'bij het strooien van zand op wegen in de winter opwerveling van deeltjes optreedt'. Ook dan mogen de gemeten concentraties voor deze opgewervelde deeltjes worden gecorrigeerd. Nederland heeft de Europese Commissie erop gewezen dat zeezout een belangrijk bestanddeel van het fijn stof in Nederland is (Afbeelding 58). Dit zeezout is echter niet schadelijk voor de volksgezondheid. Nederland stelt zich daarom op het standpunt dat de bijdrage van zeezout afgetrokken zou moeten worden van de gemeten fijnstofconcentraties. Mocht deze zienswijze geaccepteerd worden dan staat een dergelijke 'correctie' ook voor andere Europese landen open.

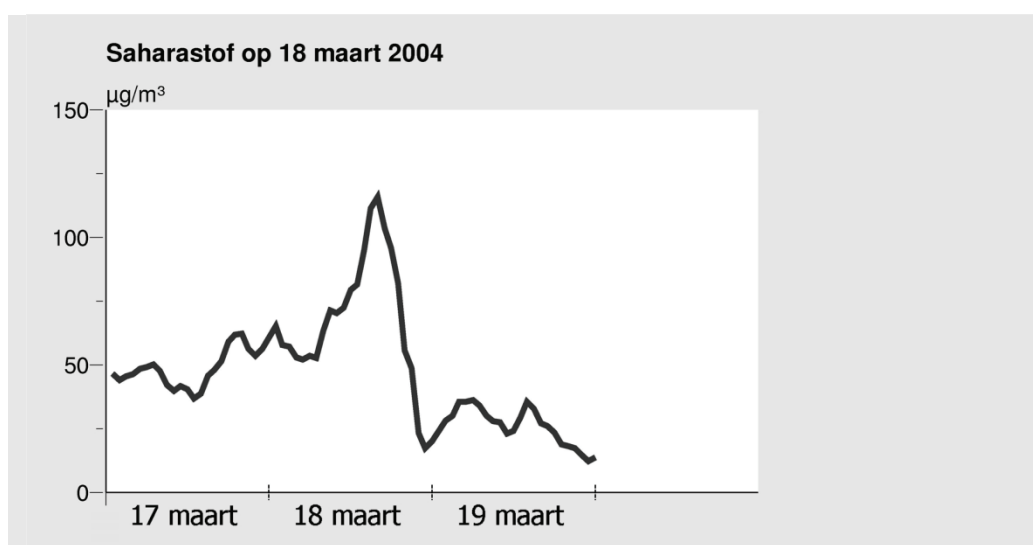
De *Meetregeling luchtkwaliteit 2005* geeft een uitwerking van de gevolgen van de aftrek voor de zeezoutbijdrage. Zo geeft de meetregeling een tabel waarin op gemeenteniveau kan worden afgelezen hoeveel de aftrek voor jaargemiddelde fijnstofconcentraties bedraagt. Deze tabel heeft de afbeelding met de jaargemiddelde zeezoutconcentraties

(Afbeelding 58) als basis. De aftrek loopt van 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor plaatsen aan de kust tot 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor gemeenten in oost en zuid Nederland.

De correctie voor het aantal dagen met een daggemiddelde concentratie boven 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gebeurt op een andere wijze plaats. De meetregeling: 'Uit meetgevens blijkt dat overschrijding van de vierentwintiguurgemiddelde concentratie van 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  vooral plaatsvindt bij oostelijke en zuidelijke windrichtingen, als de concentratiebijdrage van zeezout relatief beperkt is. Zeezout speelt dus vrijwel geen rol in het veroorzaken van de overschrijdingsdagen in een jaar'. De constatering is dat er, in tegenstelling tot bij de jaargemiddelde concentraties, sprake is van een over Nederland gelijkmatige invloed. Het aantal overschrijdingsdagen wordt dan ook, ongeacht de plaats van waarneming, met een aantal van zes verminderd.



Afbeelding 58 Jaargemiddelde bijdrage van zeezoutaërosol aan de fijnstofconcentratie in Nederland. De schatting is gebaseerd op interpolatie van meetresultaten en is gecombineerd met aannames over de verdeling van zeezout langs de Nederlandse kust. Bron: *Fijn stof nader bekeken*.



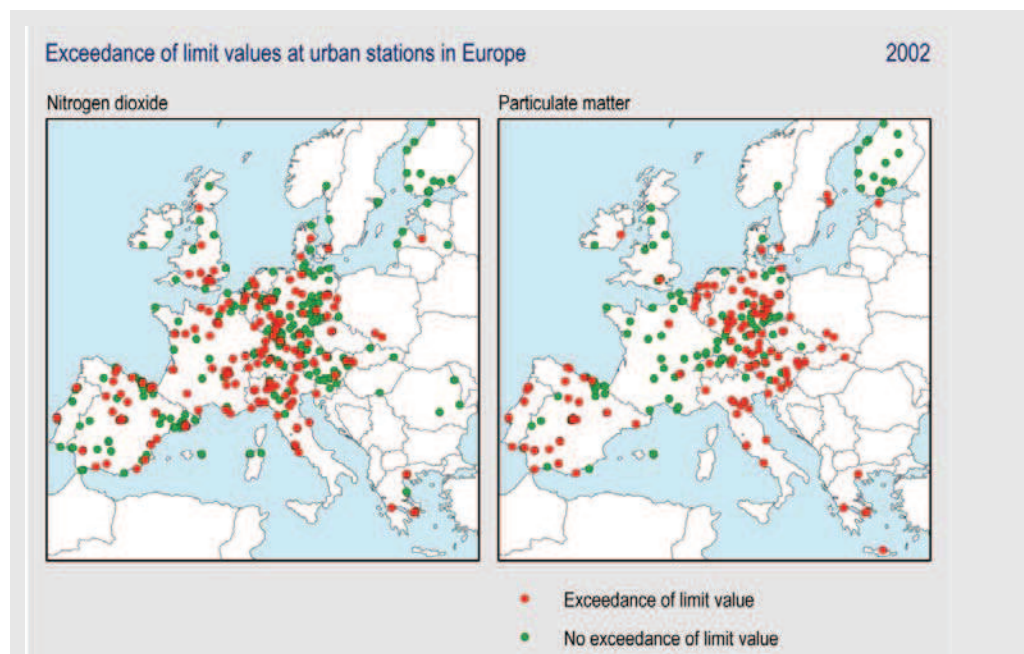
Afbeelding 59 Stof van natuurlijke oorsprong valt niet te reguleren; het is er. Zeezout is een voorbeeld van stof van natuurlijke oorsprong. Maar stof uit natuurlijke bronnen kan soms ook van veel verder komen: Saharastof. Bijvoorbeeld op 18 maart 2004 daalde Saharastof op Nederland neer. Met een krachtige luchtstroming in de hogere luchtlagen werd lucht uit het noorden van Afrika naar Europa getransporteerd. De gemiddelde fijnstofconcentraties vertoonden een piek rond 13, 14 uur op 18 maart 2004. De landelijk gemiddelde



concentratie liep op tot 110-120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Op individuele stations bleek de uurgemiddelde concentratie tot 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  op te lopen. De scherpe daling in de tweede helft van 18 maart komt door het optreden van neerslag waardoor veel stof wordt uitgeregend.

De gemeten fijnstofniveaus in Nederland waren in 2002 zo hoog dat Nederland de verplichting had om met plannen voor aanvullende maatregelen ter verbetering van de luchtkwaliteit te komen. Het kabinet heeft in eerste instantie met het Nationaal Luchtkwaliteitsplan 2004 (NPL04) invulling aan deze verplichting gegeven. Het plan heeft als doelstelling om aan te geven welke aanvullende maatregelen getroffen zouden kunnen worden om aan de grenswaarden voor fijn stof te voldoen binnen de gestelde termijnen. Europese emissie-eisen leveren in Nederland een forse daling van de emissies door het wegverkeer en uit industriële installaties op. Dat is echter niet voldoende. Dat komt vooral door de hoge bevolkings- en bebouwingsdichtheid in Nederland (Beck *et al.*, 2005a). De problemen in Nederland hebben ook te maken met het feit dat in Nederland veel vervuiling uit het buitenland komt. Dit deel is uiteraard per definitie niet door nationaal beleid beïnvloedbaar. Nederland zal dus extra maatregelen moeten nemen om aan de Europese grenswaarden voor fijn stof te kunnen voldoen. Daarbij kan spanning ontstaan tussen de Nederlandse concurrentiepositie en het Europese streven naar een gelijke bescherming van burgers tegen een te hoog niveau aan luchtverontreiniging. Bovendien heeft Nederland de Europese luchtkwaliteitsrichtlijn naar de letter ingevoerd, waardoor Nederland strenger omgaat met de grenswaarden dan andere Europese landen.

Sinds de inwerkingtreding van het Besluit Luchtkwaliteit in 2001 is een juridisch regime in werking getreden waardoor bouw- en uitbreidingsplannen kunnen worden geblokkeerd of moeten worden bijgesteld. Dit blijkt uit uitspraken van de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State (ABRS). Het gaat dan om (ruimtelijke) ontwikkelingsplannen waarbij bezwaar gemaakt werd tot bij de ABRS vanwege een mogelijke strijdigheid met het Besluit Luchtkwaliteit. In een aantal gevallen heeft de ABRS een plan vernietigd op basis van het Besluit Luchtkwaliteit. Veelal blijkt de afwijzing het gevolg van een onvoldoende onderbouwing van de effecten op de luchtkwaliteit door de plannenmakers. Simpel gezegd: de plannenmakers hebben hun huiswerk niet goed gedaan.



Afbeelding 60 Overschrijdingen van de grenswaarden voor jaargemiddelde concentraties van stikstofdioxide (links, 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en fijn stof (rechts, eveneens 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in 2002 op stedelijke stations in de landen van de Europese Unie. Hieruit blijkt dat Nederland zeker niet het enige land is dat problemen heeft met de luchtkwaliteit. Wel is het zo dat het beeld voor fijn stof enigszins vertekend kan zijn, omdat niet alle landen op dezelfde wijze omgaan met correctiefactoren voor meetwaarden van fijn stof. Zo hanteert Frankrijk een correctiefactor van 1,0. Bron: AIRBASE.

Een nieuw element in de discussie is het begrip saldering. Saldering is de mogelijkheid om ruimtelijke plannen uit te voeren in gebieden waar te veel fijn stof en/of stikstofdioxide in de lucht zit. Het gaat om plannen die de luchtkwaliteit ter plekke iets verslechteren. In dat geval moet de luchtkwaliteit in een ander gebied (binnen of gedeeltelijk buiten dezelfde gemeente) wel aanzienlijk worden verbeterd. Per saldo vermindert dan de luchtvervuiling. Saldering (op projectbasis) is mogelijk op basis van het Besluit luchtkwaliteit 2005.

De Raad van State heeft dus de afgelopen jaren plannen voor nieuwe woningen, bedrijfsterreinen, bedrijfsactiviteiten en wegen tegengehouden op grond van de luchtkwaliteitsnormen voor fijn stof en/of stikstofdioxide. Dit heeft duidelijk gemaakt dat gedegen onderzoek nodig is naar de effecten op luchtkwaliteit, voordat een plan kan worden goedgekeurd. En dat het niet voldoen aan de normen een reden is om ruimtelijke ontwikkelingen tegen te houden. Uit een recente inventarisatie blijkt dat soortgelijke situaties zich in het buitenland niet of nauwelijks voordoen. Er zijn in de andere landen van de Europese Unie maar heel weinig vergelijkbare rechtszaken geweest. Dit is verrassend, omdat de grenswaarden ook in de andere landen van de Europese Unie worden overschreden (Afbeelding 60). De verklaring is dat Nederland op diverse punten relatief strikt omgaat met de EU-regelgeving.

Belangrijke aspecten hierbij zijn:

- Nederland heeft een directe koppeling tussen luchtkwaliteits- en het ruimtelijke orderingsbeleid aangebracht. Hierdoor worden veel typen plannen getoetst aan (toekomstige) grenswaarden.
- De grenswaarden worden strikt gehanteerd. Er wordt bij vergunningverlening een scherpe grens getrokken tussen plannen die leiden tot net wel en net niet voldoen aan de grenswaarden. In veel andere landen is dat niet het geval; daar worden ook andere belangen meegewogen.
- In Nederland gelden de grenswaarden overal op het grondgebied. In principe geldt dat voor alle landen van de Europese Unie. In sommige landen wordt de wet echter zo uitgelegd dat de grenswaarden alleen van toepassing zijn op plaatsen waar mensen kunnen worden blootgesteld
- De vaststelling van de luchtkwaliteit gebeurt in Nederland met een hoge mate van detail. Daardoor worden ook veel knelpunten in kaart gebracht.

De rol die de grenswaarden spelen bij het verlenen van vergunningen voor nieuwe plannen, verschilt dus sterk per land, hoewel de onderliggende EU-regelgeving gelijk is en de normen ook in andere landen worden overschreden.

Een heikel punt in het Nederlandse luchtkwaliteitsbeleid is steeds geweest de koppeling tussen luchtkwaliteit en ruimtelijke ordening. Ook na aanhoudende kritiek wil de Nederlandse overheid niet volledig afzien van een dergelijke koppeling. Weliswaar wordt beaamd dat de Europese unie zo'n koppeling niet voorschrijft zo'n koppeling, maar het ministerie VROM vindt de juridische en procedurele risico's van een volledige ontkoppeling te groot. De overheid is beducht voor mogelijke repercussies op langere termijn, als de wetgever zelf géén relatie legt tussen ruimtelijke besluiten en luchtkwaliteit. Mogelijk dat rechters later dan alsnog zullen ingrijpen vanwege het niet voldoen aan Europese luchtkwaliteitseisen. En dan, zo stelt het ministerie VROM is het risico dat 'de problematiek inhoudelijk nog geen stap is opgeschoten'.

Om toch enige ruimte te scheppen heeft het ministerie VROM gekozen voor een andere aanpak, de zogenoemde flexibele koppeling. Deze wijziging, die nog door het parlement moet worden goedgekeurd, stoelt op twee pijlers:

1. Gebiedsgerichte programma's. In situaties waar die niet wordt voldoen aan de Europese normen voor luchtkwaliteit, kunnen een gebiedsgericht programma opzetten. Alle bouwprojecten in dat gebied mogen doorgaan, als maar maatregelen worden genomen om de luchtkwaliteit in het hele gebied op z'n minst gelijk te houden.
2. Het begrip 'in betekenende mate'. Alleen grote ruimtelijke projecten die 'in betekenende mate' de luchtkwaliteit verslechteren worden nog (indirect) getoetst aan de Europese normen voor luchtkwaliteit. Er is veel gedoe geweest over het begrip 'in

betekende mate', want wat betekent het precies. Uiteindelijk is de grens getrokken bij 3%. Het ministerie VROM zegt hiermee 'aan te sluiten bij de definities die buurlanden hiervoor gebruiken'. Die buurlanden zijn alleen Duitsland. Aldaar geldt dus dat projecten die de concentratie van stikstofdioxide of fijn stof met meer dan 3% verhogen, in betekenende mate aan de luchtvervuiling bijdragen. Maar ook geldt daar als aanvullende voorwaarde bijdraagt er maatregelen genomen moeten worden die verder gaan dan het toepassen van 'best beschikbare technieken'. Onder best beschikbare technieken wordt verstaan technieken die de minste milieudruk veroorzaken en economisch en technisch haalbaar zijn. Van dit laatste vinden we niets terug in de Nederlandse 3% benadering.

In de praktijk zal het betekenen dat de 3%-grens niet wordt overschreden bijvoorbeeld bij een woningbouwproject met 2.000 woningen, bij een bedrijventerreinen met een netto uitbreiding van het oppervlak met minder dan 40 hectare en voor kantoorlocaties 40.000 m<sup>2</sup> bruto vloeroppervlak. Op basis van dit gekwantificeerde criterium blijken 150 (van de 5000) ruimtelijke projecten de luchtkwaliteit 'in betekenende mate' verslechteren.

Op 17 maart 2006 is in Nederland de *Regeling saldering luchtkwaliteit 2005* in werking getreden. De regeling werkt de regels voor saldering uit het Besluit luchtkwaliteit 2005 uit. Overheden moeten zoveel mogelijk in de nabijheid van een ruimtelijk project salderen. Ook moeten zij de maatregelen die de luchtkwaliteit in het grotere gebied per saldo verbeteren, zo veel mogelijk tegelijkertijd met dit project realiseren. De regeling stelt eisen aan overheden om ruimtelijk besluiten goed te onderbouwen en motiveren. Overheden moeten bij hun ruimtelijke besluiten aangeven hoe ze rekening houden met mensen voor wie de luchtkwaliteit verslechtert. Uitgangspunt is dat dit aantal afneemt. Zo niet, dat moeten overheden hun besluit extra goed motiveren.

Het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) is de kern van het wetvoorstel luchtkwaliteit dat nu bij de Kamer ligt. In gebieden waar de normen voor luchtkwaliteit niet worden gehaald gaan overheden in gebiedsgerichte programma's de luchtkwaliteit verbeteren. Het NSL is een bundeling van alle gebiedsgerichte programma's en alle maatregelen van de rijksoverheid om de luchtkwaliteit te verbeteren. Het NSL bevat alle maatregelen die de luchtkwaliteit verbeteren en alle ruimtelijke ontwikkelingen die de luchtkwaliteit verslechteren. Het is een soort balans. Links op de balans staan alle maatregelen die het Rijk, provincies en gemeenten vanaf 1 januari 2005 nemen om de luchtkwaliteit in een gebied te verbeteren. Rechts alle grote ruimtelijke activiteiten in het gebied waarover de overheden de komende vijf jaar een besluit willen nemen. Het betreft dan ruimtelijke, verkeers- en infrastructurele besluiten en vergunningen voor industriële installaties. Ook projecten met strategische nationale ruimtelijke doelen kunnen onder dit programma vallen. De balans helt over naar links: de positieve effecten (maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren) moeten de negatieve effecten (ruimtelijke projecten die de luchtkwaliteit verslechteren) ruimschoots overtreffen. Het Rijk coördineert het nationale programma. Het Rijk maakt met provincies en gemeenten afspraken over toetsbare resultaten; in de gebieden moeten de normen voor luchtkwaliteit stap voor stap dichterbij komen. De overheden kunnen op die resultaten worden afgerekend.

Al bij de definitie van de grenswaarden voor fijn stof is afgesproken dat er een evaluatie van de grenswaarden zou volgen. Deze evaluatie is onderdeel van het Clean Air For Europe (CAFE) programma. CAFE is een programma van de Europese Commissie om de luchtkwaliteit in de Europese Unie te verbeteren tot een niveau waarbij 'geen significant negatieve effecten' meer optreden voor de menselijke gezondheid en het milieu. Een nieuw element is de aandacht voor het fijnere deel van fijn stof, het PM<sub>2,5</sub>, en de discussie over de mogelijkheid tot een wettelijke uitzondering voor bestanddelen in fijn stof die van natuurlijke oorsprong zijn en tevens als niet schadelijk gezien worden. Een voorbeeld hiervan is zeezoutaërosol. De huidige twee grenswaarden voor fijn stof zullen zeer waarschijnlijk gehandhaafd blijven. De aandacht voor PM<sub>2,5</sub> is overigens niet nieuw. De kennis over de chemische samenstelling van fijn stof heeft al eerder in de richting van PM<sub>2,5</sub> gewezen. Dit heeft de US Environmental Protection Agency ertoe gebracht om in 1997 grenswaarden voor PM<sub>2,5</sub> vast te stellen. Dit is een grenswaarde van 15 µg/m<sup>3</sup> voor het jaargemiddelde en een grenswaarde van 65 µg/m<sup>3</sup> voor het daggemiddelde.

### Aanleg A74 mogelijk door andere normen luchtkwaliteit



De kans is groot dat toch kan worden begonnen met de aanleg van de A74. Dat is de autosnelweg van Venlo - via Tegelen - naar de Duitse grens.

De aanleg van de weg is onzeker geworden omdat die niet zou voldoen aan de Europese normen voor luchtkwaliteit. Maar CDA-minister Karla Peijs van verkeer mag nu de Duitse meetcijfers gebruiken. En die geven aan dat er veel minder luchtvervuiling te verwachten is van de A74 dan volgens de Nederlandse cijfers. VVD-gedeputeerde Mat Vestjens verwacht dat de minister in april definitief groen licht geeft voor de aanleg van de A74. De weg moet eind volgend jaar klaar zijn maar een vertraging van een paar maanden is mogelijk, zegt de gedeputeerde.

Bron: website LimburgLive, 28 januari 2006

### Putdeksels vervangen door fijnstof-zuigers



Vervang putdeksels in drukke straten door krachtige ventilatoren en de lucht klaart weer op. Fijn stof (PM<sub>10</sub>) in de lucht kan met dit idee van ingenieursbureau Arcadis met 10 procent worden gereduceerd. Niet spectaculair, maar ruimtelijke ontwikkelingen waarvoor auto-emissies lokaal nu een beletsel vormen, kunnen er misschien mee worden gered.

Bron: leader van een artikel in de Verkeerskunde Nieuwsbrief nr. 0406, 14 februari 2006.

N.B.: let ook op de schrijfwijze fijnstof-zuigers.

### Utrecht gaat fijnstof met water te lijf



“De gemeente Utrecht wil drukke verkeerspunten met water besproeien om de luchtkwaliteit te verbeteren. Het schadelijke fijnstof, dat vooral door dieselmotoren wordt uitgestoten, moet de stad via het riool verlaten.

De gemeente weet nog niet hoe de besproeiing ter hand genomen gaat worden. ‘Maar we denken aan sproeiauto’s, of tuinslangen met gaatjes erin’, zegt gemeentewoofdvoerder Casper van Riet. De proef begint volgend jaar. Een sproeilocatie zou volgens Van Riet het 24 Oktoberplein zijn. De gemeente wil dat plein uitbreiden door een fly-over te bouwen, om meer auto’s de stad in en uit te leiden.

Het sproeien zou volgens critici een lapmiddel zijn om aan de luchtkwaliteitsnormen te voldoen, om zo de fly-over te kunnen bouwen. ‘Dit plan staat daar los van’, zegt Van Riet. ‘Maar we verwachten wel dat er effect is op de luchtkwaliteit daar, zodat we het na de proef vaker kunnen toepassen. Kees van Oosten van de stadspartij Luis in de Pels noemt het gebruik van ‘miljoenen liters drinkwater’ om het fijnstof te verdrijven ‘van de pot gerukt’.”

Bron: Volkskrant, 10 februari 2006.

N.B.: de Volkskrant is een van de kranten die regelmatig de schrijfwijze ‘fijnstof’ bezigt.

### CDA Den Haag wil 'fijnstof-flitspalen' voor supervervuilers



Het CDA Den Haag wil dat de gemeente Den Haag gaat experimenteren met 'fijnstof-flitspalen' voor supervervuulende auto's en vrachtwagens. Om de luchtkwaliteit te verbeteren wil het CDA supervervuilers weren uit de oude binnenstad van Den Haag. Dit heeft CDA lijsttrekker Michel Santbergen gezegd in het programma 'BNR Laat' op zondagavond 19 februari 2006 op BNR Nieuwsradio.

Michel Santbergen stelt: “50% van de vervuiling in Den Haag wordt veroorzaakt door 5% van de auto's”. Via deze flitspalen worden voertuigen met een te vervuulende uitstoot geregistreerd. Santbergen: “Supervervuilers zijn niet meer welkom op bijvoorbeeld de Veerkade. Op de CentrumRING en de buitenring komen geen fijnstof-flitspalen. Vervuulende auto's kunnen de stad dus nog gewoon in en uit rijden. Deze auto's zijn niet meer welkom in de binnenstad.

Het CDA wil dat het project start op de Amsterdamse en de Stille Veerkade. Bij het experiment wordt een apparaat ingezet dat zowel de uitstoot van koolstof als van koolstofdioxide meet. Criterium zijn de normen die worden gebruikt bij de APK-keuring. Het apparaat is in ontwikkeling bij TU Delft door professor Andreas Schmidt-Ott.

Onderzocht moet worden hoe dit bestuurlijk gehandhaafd kan worden, bijvoorbeeld via de APV. De hoogte van de boete zal gelijk zijn aan de landelijk geldende normen voor verkeersovertredingen.”

Bron: website CDA Den Haag





Afbeelding 61 Het onderzoek dat een eigen leven is gaan leiden. De Delftse hoogleraar Schmidt-Ott en zijn student Kurniawan kwamen in het nieuws met de resultaten van een onderzoek naar de meting van uitlaatgassen van auto's. In de media was al snel sprake van 'flitspalen voor fijn stof'. Politici gingen er ook mee aan de haal. Dit was een probaat middel om ernstige vervuilers op te sporen en eventueel zelfs te beboeten, zo meenden ze. De onderzoekers nemen intussen de gebruikelijke wetenschappelijke terughoudendheid in acht. Zo spreken ze van 'alleen nog maar een experimentele opstelling' waarmee 'in aanleg althans' de roetuitstoot van afzonderlijke auto's is te meten. Wilde plannen om de apparatuur in te zetten als flitspalen lijken dan ook redelijk voorbarig. Al was het maar, omdat de meetapparatuur in de huidige vorm niet echt in een flitspaal lijkt te passen. Een ijverige politicus, Sentbergen uit Den Haag, ziet het echter wel zitten. Zijn antwoord op de vraag: 'En die fijnstofflitspalen?' luidde: 'Die komen er!'. Sentbergen wil beginnen met een 'pilot' op de Veerkade in Den Haag.

Bron uitspraken: BNR nieuwsradio, 20 februari 2006.

### Fijnstof-alarm, de ongefilterde waarheid



Waar ligt fijnstof nu precies op de loer? Welke schadelijke stoffen bevat fijnstof werkelijk? Welke gevaren bedreigen me en vooral, waar liggen ze op de loer?

De belasting door fijnstof in binnenruimten is beduidend hoger dan in de natuur. Grof geschat is de belasting door fijnstof anderhalf tot twee keer zo hoog als buiten!! Omdat de mens beduidend meer tijd binnen dan buiten doorbrengt, legt de belasting door fijnstof in binnenruimten meer druk op de gezondheid dan fijnstof buiten. Het fijnstof in binnenruimten heeft een hoger toxisch potentieel dan fijnstof buiten.

Samenstelling van fijnstofdeeltjes:

Loodoxide, cadmiumoxide, nikkeloxide, tinoxide, natriumoxide, sulfaat, nitraat, chloride, roet, PAK, enz.

Deze begrippen staan bol van de gezondheid, of niet soms? Maar dit is nog niet alles!

Uit onderzoek door onafhankelijke instituten is gebleken dat fijnstof van toners en elektronische apparaten een bijzonder vernietigende werking heeft, omdat er zelden een kwaliteitsborging voor de samenstelling van dit fijnstof is. Volgens de geeft dit aanzienlijke hoeveelheden nikkel en kwik af. Ook de schommelingen in organotinverbindingen, die hormoonachtig werken, in styreen en bij de grootteverdeling van deeltjes maken duidelijk dat tonerstof niet onder milieu- en gezondheidsaspecten is geoptimaliseerd.

Samengevat kunnen we zeggen:

Loodoxide, cadmiumoxide, nikkeloxide, tinoxide, natriumoxide, sulfaat, nitraat, chloride, roet, PAK, nikkel, kwik, styreen etc. etc. etc.

Hoofdpijn, geïrriteerde ogen en huid, allergieën, bronchitis en zelfs astma, kanker, aandoeningen aan hart en bloedvaten, longfibrose...

**Geef fijnstof geen kans met de innovatieve filtersystemen van Dexwet!**

Bron: [www.dexwet.com](http://www.dexwet.com). Dexwet is een bedrijf dat gespecialiseerd is in 'innovatieve filtersystemen'.





## Gezondheidseffecten

**A**l de ophef over fijn stof zou er niet zijn, als er geen serieuze bezorgdheid was over de schadelijke effecten van fijn stof. We kunnen zelfs stellen dat de regelgeving, net zoals voor andere vormen van luchtverontreiniging, is gebaseerd op die schadelijkheid. De grenswaarden beogen dan ook niets anders als een zekere bescherming van de menselijke gezondheid te bieden. De directe relatie tussen luchtverontreiniging en gezondheidseffecten is echter niet altijd gemakkelijk aan te tonen.

*Fijn stof nader bekeken* geeft op macroniveau een samenvatting van de effecten:

- Gezondheidkundige studies wijzen uit dat in Nederland jaarlijks enige duizenden mensen vroegtijdig overlijden samenhangend met kortdurende blootstelling aan fijn stof. De duur van deze levensverkorting is vermoedelijk kort: enkele dagen tot maanden. Dergelijke resultaten zijn niet alleen in Nederland, maar overal op de wereld gevonden en ze zijn vrij robuust. Zo schatten Engelse onderzoekers dat kortdurende blootstelling aan fijn stof leidt tot 6.500 doden en 6.400 ziekenhuisopnamen per jaar.
- Als bepaalde Amerikaanse studies over langdurende blootstelling geldig zijn voor Nederland, zouden mogelijk tienduizend tot enige tienduizenden mensen ongeveer tien jaar eerder overlijden. Deze uitkomsten zijn echter zeer onzeker.
- Gezondheidseffecten zijn zowel voor  $PM_{10}$  als voor  $PM_{2,5}$  gevonden. Welke chemische bestanddelen van fijn stof gezondheidkundig de oorzaak van de effecten zijn, is nog onbegrepen. Zeezout is vrijwel zeker geen probleem. Iets vergelijkbaars geldt waarschijnlijk ook voor de sulfaat- en nitraatfractie in fijn stof. Het roetdeel uit verbrandingsprocessen speelt mogelijk wel een rol.
- Er is in gezondheidkundige studies geen drempelwaarde voor de effecten van fijn stof waargenomen. Dit betekent dat er geen concentratie is aan te geven waarbeneden geen gezondheidseffecten meer gevonden worden.

Het grote probleem is echter nog steeds dat er geen zekerheid is over welke bestanddelen van fijn stof verantwoordelijk zijn voor de effecten. De hiervoor genoemde dodenaantallen komen voort uit epidemiologisch onderzoek. De omvang van de kortetermijneffecten wordt met veelal statistische middelen afgeleid uit gegevens over sterfte en over omgevingsvariabelen zoals het niveau van luchtverontreiniging. Voor onderzoek naar de langetermijneffecten wordt een grote groep mensen gedurende lange tijd gevolgd. Omgevings- en leefstijl-variabelen worden in kaart gebracht. Statistische methoden kunnen vervolgens soms associaties opleveren; associaties bijvoorbeeld tussen (het niveau van) luchtverontreiniging en levensduur. Lastig is dat er met de hiervoor geschetste aanpakken nog geen verklaringen zijn gevonden; dergelijke informatie moet dan weer uit ander onderzoek komen. Onderzoekers beweren op basis van de resultaten van dergelijk anderssoortig onderzoek wel dat uitspraken zijn te doen over de gezondheidkundig relevante fracties. De verdenking ligt hiermee vooral bij de emissies van het verkeer.

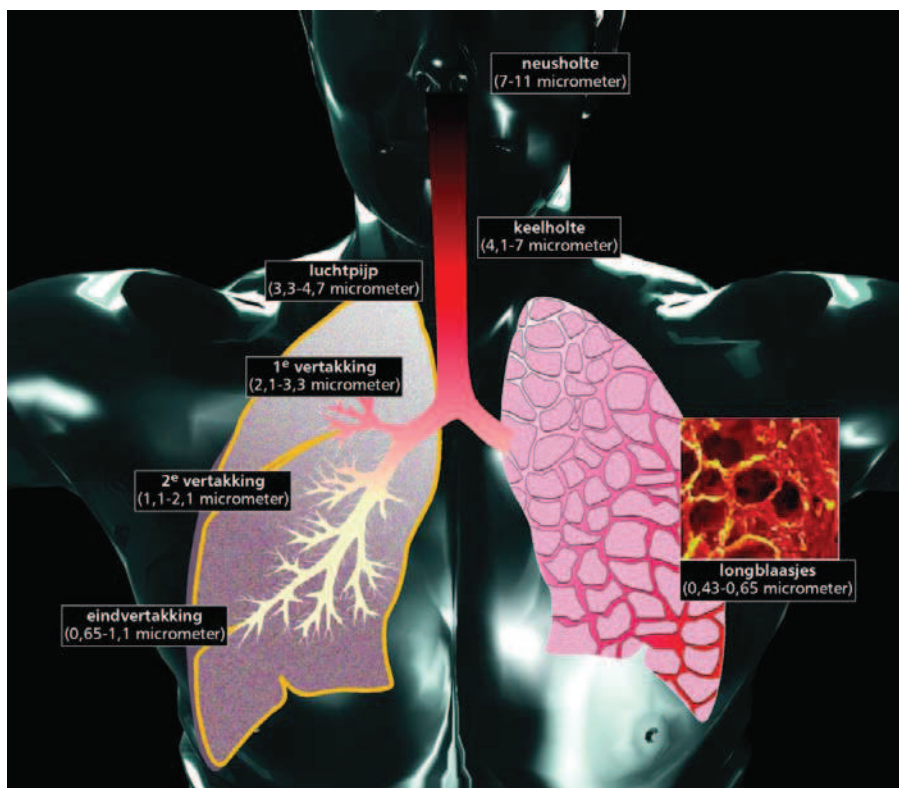
Een andere manier om een indruk te krijgen van de gezondheidsrisico's is om niet in aantallen doden te rekenen, maar in zogenoemde DALY's. DALY staat voor Disability Adjusted Life Years, en is in feite het aantal verloren jaren door verstoringe factoren. Onderzoekers proberen met deze grootheid drie elementen tegelijk in rekening te brengen: de ernst en de duur van de verstoring en de omvang van de erdoor getroffen bevolkingsgroep. Diezelfde onderzoekers zijn overigens wel genuanceerd over 'hun' DALY's: 'DALY's zijn een vereenvoudiging van een zeer complexe werkelijkheid, waardoor de maat slechts een zeer ruwe indicatie geeft van (milieu-gerelateerd) gezondheidsverlies'. Langdurige blootstelling aan fijn stof blijkt van de externe milieufactoren het meeste gezondheidsverlies op te leveren; veel meer dan de veel bekendere risicofactoren als geluid en verkeersongelukken.

Kortweg betekent één DALY dat één mens één jaar eerder dood gaat. Hierin worden omvang, ernst en duur van de effecten verdisconteerd. Hierdoor ontstaat een soort universele gezondheidsmaat voor het totaal aan sterfte en de ziektelast in de bevolking. De gezondheidseffecten die samenhangen met langdurige blootstelling aan fijn stof,

kunnen zo ook in DALY's worden uitgedrukt. De vervroegde sterfte alleen al, onder de aanname van 18.000 sterfgevallen, leidt tot 180.000 DALY's voor de Nederlandse bevolking. De onzekerheid in deze schatting is echter zeer groot. Knol en Staatsen (2005) komen tot een schatting van dit langetermijneffect van fijn stof die varieert van enkele procenten tot wellicht meer dan vijftien procent van de berekende, totale ziektelast in de bevolking. Een zelfde berekening voor andere effecten van chronische blootstelling van fijn stof is op dit moment nog niet mogelijk, omdat daarvoor nog te weinig gegevens bekend zijn. Hoe groot de totale ziektelast in de bevolking is, wanneer met alle mogelijke gezondheidseffecten van fijn stof op de lange termijn rekening gehouden wordt, is dus nog onbekend.

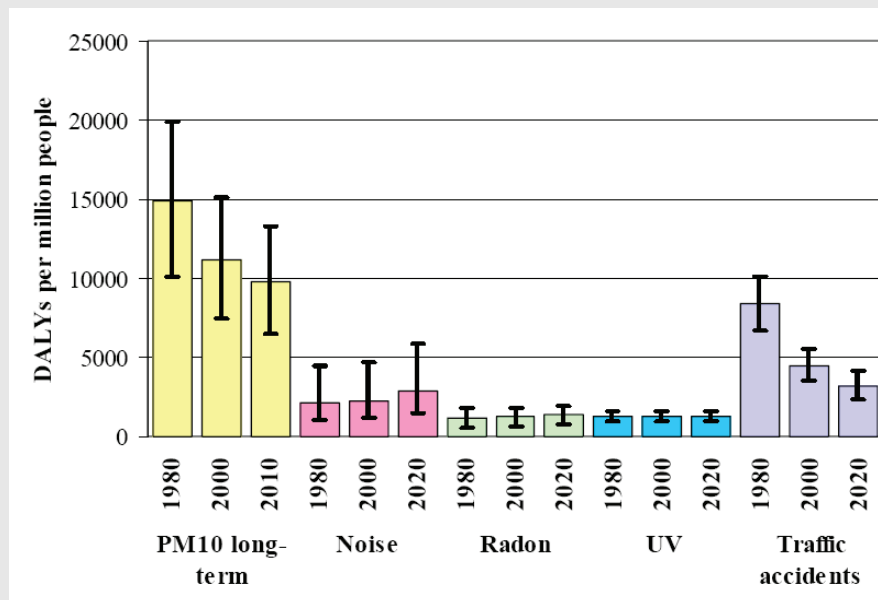
Duidelijk is dat fijn stof voor een groot deel zijn geheimen nog niet heeft prijsgegeven. Zo zou niet alleen de chemische samenstelling van de deeltjes, maar ook het aantal deeltjes ook een rol kunnen spelen bij de gezondheidseffecten. Toxicologisch onderzoek suggereert dat de aanwezigheid van kankerverwekkende stoffen en metalen op stof, roet en de ultrafijne fractie een deel van de gezondheidseffecten zou kunnen verklaren. Hierbij komt de fractie  $PM_{2,5}$  op de voorgrond, evenals de nog kleinere fractie, namelijk de ultrafijne deeltjes of deeltjes met een diameter kleiner dan  $0,1 \mu m$ . Deze steeds weer nieuwe suggesties zonder dat iets definitief bewezen is, is ooit in schertsartikel van de hand van G van Dam op hilarische wijze verwoord. Dit artikel is integraal in dit boekje opgenomen; zie hiervoor het onderdeel *Het artikel van G van Dam* (→pagina 83).

Een nogal eens onderbelicht punt is de kwestie van het binnenmilieu. De discussie over fijn stof en de regelgeving ervoor gaat over de buitenlucht. Toch brengen de meeste mensen het grootste deel van de tijd binnenshuis door. Zo veel onderzoek er naar de kwaliteit van de buitenlucht gedaan is (en wordt), zo weinig geldt dat voor de kwaliteit van de binnenlucht. Kwalitatief kan gesteld worden dat, gemiddeld genomen, de kwaliteit van de binnenlucht slechter zal dan die van de buitenlucht.



Afbeelding 62 Schematische weergave van het ademhalingssysteem van de mens. De tussen haakjes aangegeven deeltjesgrootten zijn slechts indicatief bedoeld, maar illustreren wel goed dat de fijnste deeltjes het diepst in de longen kunnen doordringen. Bron: *Fijn stof nader bekeken*.

We moeten hierbij als oorzaak denken aan luchtverontreinigende activiteiten als koken (geeft emissie van koolmonoxide, stikstofoxiden, stof), schoonmaken (geeft vluchtige organische stoffen, stof) en vooral roken (geeft een bijzonder breed scala aan stoffen, waaronder 'rook').



Afbeelding 63 DALY's voor een aantal externe milieufactoren. 'Radon' staat voor de belasting door het radioactieve radongas in woningen. 'UV' staat voor het optreden van huidkanker door ultraviolette straling. Het gebruik van DALY's is niet onomstreden. Er moeten bij de berekening de nodige aannames worden gedaan. Dit resulteert in een grote onzekerheid (de verticale zwarte balken in de figuur). Bron: Knol en Staatsen.



Afbeelding 64 Roken is een belangrijke bron van luchtverontreiniging binnenshuis. We zouden ons kunnen afvragen waarom we ons zo druk maken over de buitenluchtkwaliteit. De kwaliteit van de lucht in onze huizen is vaak slechter dan de kwaliteit van de buitenlucht. Roken en koken, maar ook huisdieren, zijn belangrijke bronnen van luchtverontreiniging.

### Nachrüstfilter gegen Feinstaub aus Laserdruckern

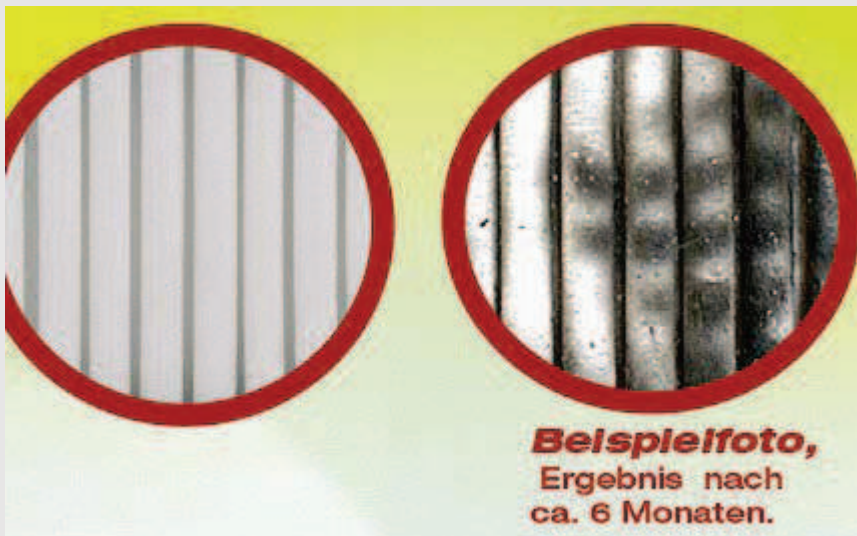
‘Bei Nachrüstfiltern gegen Feinstaub denkt man zunächst an Diesel-Fahrzeuge. Aber auch Laserdrucker belasten die Umwelt mit teilweise giftigen Staubpartikeln. Für dieses Problem gibt es allerdings ebenfalls Filter zum Nachrüsten.

Im letzten Jahr ging ein Gespenst um in Deutschland – das Feinstaub-Gespenst. Eine deutsche Großstadt nach der anderen meldete überschrittene Grenzwerte, die Forderung nach Fahrverboten für "Stinker" und serienmäßigen Partikelfiltern für Diesel-PKW wurde laut, Kommunalpolitiker schmiedeten Pläne, um LKWs aus den Innenstädten zu verbannen. Doch nicht nur Kraftfahrzeuge produzieren Feinstaub, auch Laserdrucker leisten ihren Beitrag zur Umweltbelastung. Für Letztere gibt es seit einiger Zeit Filter zum Nachrüsten.

Dexwet Technology stellt solche Feinstaubfilter zum Nachrüsten her. Das österreichische Unternehmen beruft sich auf eine Studie der Landesgewerbeanstalt in Nürnberg, wonach von Tonern in Laserdruckern eine giftige Feinstaubbelastung ausgehen kann, die die vorgegebenen Grenzwerte überschreitet. Besonders gravierend sei, dass es sich dabei um lungengängigen Feinstaub handelt, der vom Körper großteils nicht ausgeschieden werden könne. Auch zinnorganische Bestandteile finde sich im Staub, der von den Tonern ausgehe.

Dexwet Technology bietet bereits seit einiger Zeit ein nachrüstbares Filtersystem an, mit dem sich die Emission von Toner-Feinstaubpartikeln um bis zu 90 Prozent reduzieren lassen soll. Der Filter wird laut Hersteller am Lüfterausgang des Druckers aufgeklebt. Er soll auf alle gängigen Laserdrucker passen (Geräteliste) und den Lüftungsstrom des Druckers nicht behindern.

Das Dexwet-Filtersystem ist in Deutschland ab 49,99 Euro erhältlich, eine Liste der Vertriebspartner finden Sie hier. Dexwet zufolge wurden bisher 50.000 Filter verkauft. Der Nachrüstfilter dürfte besonders für Druckerbesitzer interessant sein, deren Geräte im Wohn- oder Schlafbereich stehen.’



Bron: [www.pcwelte.de](http://www.pcwelte.de), 11 april 2006.

Zie ook de eerdere tekstbox *Fijnstof-alarm, de ongefilterde waarheid*.

### Software tegen fijn stof

“Minister van Leefmilieu Kris Peeters (CD&V) wil alle Vlaamse gemeentebesturen een softwarepakket bezorgen waarmee ze kunnen nagaan of ze straten hebben met een te hoog gehalte aan fijn stof. Een studie toonde vorige week aan dat verkeersdrempels slecht kunnen zijn voor het leefmilieu omdat ze wagens dwingen tot almaar opnieuw optrekken. De baas van De Lijn wilde ze daarom maar afbreken en vervangen door flitspalen. Peeters denkt dat zeker in street canyons (straten met langs beide zijden hoogbouw) verkeersdrempels te veel stof veroorzaken, maar hij wil ze niet zo maar vervangen door flitspalen.

Voor minister van Verkeer Van Brempt (SP.A) bewijzen drempels hun nut in straten met een maximum snelheid van 30 of 50 per uur. „Om wagens te laten vertragen van 70 naar 50 per uur zijn ze minder zinvol.“

Bron: Het Nieuwsblad, België, 22 februari 2006.

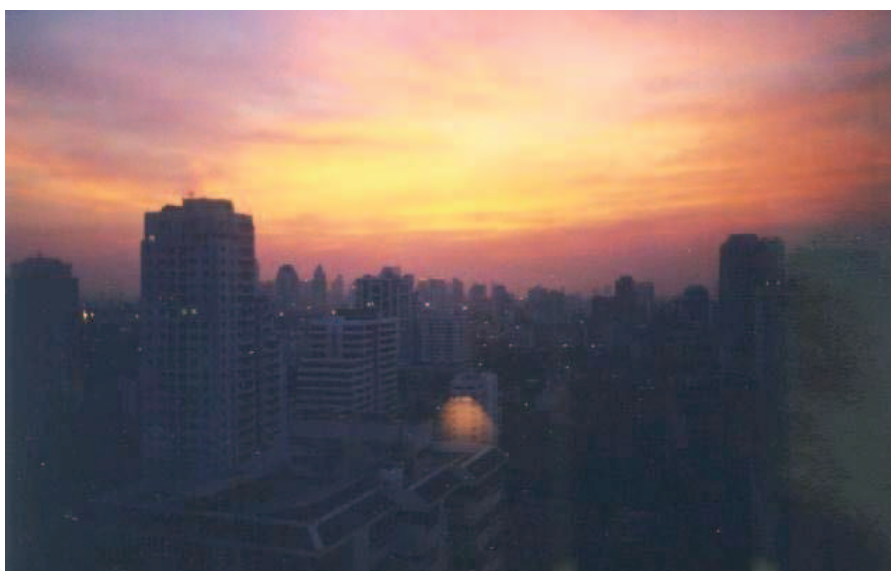




## Ter afsluiting

**D**e lezer zal al voortgaande soms mogelijk de indruk gekregen hebben dat hij of zij in plaats van meer te weten te komen juist met verwarring werd opgezadeld. Dan kan soms terecht geweest zijn, want het onderwerp fijn stof kent vele onzekerheden en onduidelijkheden. Toch hopen we met deze informatie duidelijkheid te verschaft te hebben over de fijnstofproblematiek op die plaatsen waar het kon en verwarring over te brengen op die onderdelen waar dat terecht was.

Uiteindelijk moge duidelijk geworden zijn dat het nodige maar toch niet alles onduidelijk is aan fijn stof. Het onderzoeksveld is wetenschappelijk nog steeds sterk in beweging. Vooral ook omdat het goed meten van fijn stof nog steeds een probleem vormt. En nog altijd is het zo dat bij de duiding van de milieukwaliteit en de ontwikkelingen erin meetgegevens een belangrijke rol spelen. Het ziet er daarom niet naar uit dat het fijnstofdossier op korte termijn gesloten kan worden.



Afbeelding 65 Een zekere mate van vervuiling van de atmosfeer met (fijn) stof staat garant voor fraai gekleurde zonsondergangen.

## Fijn stof als korenwolf

De term fijn stof is nieuw. Tien jaar geleden hoorde je niet over fijn stof, tegenwoordig staat er bijna dagelijks een bericht over in de krant. De ene dag dreigen bouwprojecten in Nederland stil te worden gelegd vanwege overschrijdingen van de Europese fijn stof normen, de volgende dag krijgen auto's een vignet waarop staat hoeveel fijn stof ze uitstoten, dan weer wordt een ranglijst gepresenteerd van de straten met de hoogste fijn stof concentraties. Mooie uitspraak in het blad De Ingenieur (die hadden het overigens weer uit een ander blad, Natuur Wetenschap & Techniek). De toxicoloog Flemming Cassee, werkzaam bij het RIVM, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, beschouwt fijn stof als een hedendaagse korenwolf.



### Hamster

Even ter verduidelijking, enkele jaren geleden was het hele land in rep en roer omdat het slecht ging met deze Limburgse hamster. Allerlei stukken in de krant, de onvermijdelijke Bekende Nederlanders die al kamperend actie voerden voor dit knaagdierkje, een speciaal fokprogramma. Te midden van de commotie werd vergeten dat het over de grens, in Duitsland, barst van de korenwolven. Ook werd vergeten dat het logisch is dat wanneer mais oprukt ten koste van koren dan ook de korenwolf, die geen mais blijft, achteruitgaat. En in de derde plaats werd over het hoofd gezien dat de vos, met wie het heel goed gaat in Nederland, de korenwolf ziet als een hartig tussendoortje – toen er gefokte korenwolven in Limburg werden uitgezet, waren de vossen dan ook zeer in hun nopjes: binnen een week waren ze allemaal opgepeuzeld.

### Fijn stof

Ook bij fijn stof wordt van alles over het hoofd gezien. In de eerste plaats dat het woord wel nieuw is maar het verschijnsel niet. Fijn stof is de verzamelnaam voor minuscule deeltjes die diep in de longen kunnen doordringen en daar enge ziekten veroorzaken. Ze komen vrij bij allerlei verbrandingsprocessen maar in het bijzonder uit de uitlaat van dieselauto's. De metingen van fijn stof nemen pas rond 1990 een aanvang (sindsdien dalen de gehalten aan fijn stof overigens consequent) maar daarvoor was het er natuurlijk ook. Sterker, de gehalten aan fijn stof moeten in vorige eeuwen, toen er nog steenkool werd verstoofd, veel hoger zijn geweest dan tegenwoordig. Er is eens op basis van de importcijfers van steenkool in Engeland, die vrij nauwkeurig zijn bijgehouden, berekend hoe hoog de concentratie aan fijn stof in de zeventiende eeuw moeten zijn geweest: minstens honderd maal zo hoog als nu.

Ook wordt over het hoofd gezien dat fijn stof elders in de wereld een veel groter probleem is. Vooral in arme landen, waar de bewoners vuurtjes stoken in hutten dan wel huizen, is de vervuiling met fijn stof veel ernstiger dan bij ons. Fijn stof is mede dankzij het eerder genoemde RIVM een korenwolf, pardon hype, geworden. Dit milieu-instituut heeft ooit met de natte vinger geschat dat er in Nederland jaarlijks 18.000 mensen extra aan fijn stof zouden overlijden.

### Computer

Het RIVM overdrijft wel vaker milieudreigingen en dit leek me een typisch geval van hoe een computer de mens op sleeptouw kan nemen. Onder het motto garbage in, garbage out voer je veronderstellingen over de relatie tussen fijn stof en sterfte in de computer en vervolgens laat je de computer naar de sterftcijfers kijken. Er komt vervolgens een schatting uit rollen die als min of meer wetenschappelijk wordt gepresenteerd, maar onderweg is vergeten dat alles op een veronderstelling, dus drijfzand, was gebaseerd. Wat lees ik nu tot mijn genoegen in De Ingenieur? Dat een van de opstellers van de schatting over de 18.000 doden door fijn stof, Anne Knol, over dat cijfer heeft gezegd: 'Daar zit een moeras van aannamen achter.'

Bron: Simon Rozendaal in Elviesier op 27 februari 2006

## Het artikel van G van Dam



Atmospheric Environment 37 (2003) 1987–1988

**ATMOSPHERIC  
ENVIRONMENT**

### An experience based model to predict future developments in particulate matter effects research

Gerrit van Dam\*

*Netherlands Foundation for Progressive Insights, Bovencamp 57, 3992 RX Houten, The Netherlands*

Received 1 April 2002; received in revised form 1 April 2003; accepted 6 June 2003.

#### Abstract

Until now, scientists have not been able to identify the health relevant part of airborne particulate matter. Contrary to the popular believe, scientific research will not in time provide answers to all questions. In this paper we present a simple and very cost efficient tool to explore environmental problems. We postulate that simple statistical tools are useful to investigate past and present developments in particulate matter effects research.

© 2003. Elsevier Ltd. All rights reserved.

*Keywords:* Particulate matter; Effects; PM<sub>20</sub>; PM<sub>10</sub>; PM<sub>2.5</sub>; PM<sub>1</sub>; PM<sub>0.3</sub>; PM<sub>0.1</sub>

#### 1. Introduction

Airborne particulate matter continues to give rise to concern as a result of its adverse effects on human health. Whilst some doubt still exists as to which particle metric (e.g. number, surface area or mass) or size fraction is most closely related to the adverse health outcomes (Harrison and Yin, 2000), current air quality standards in both Europe and North America are expressed in terms of mass concentration and therefore control policies are directed at reducing the mass concentration of particles in the atmosphere.

The formulation of cost-effective abatement strategies for airborne particulate matter is crucially dependent on knowledge of the contributions of individual source models suffer from many weaknesses including poor information on the magnitude of certain particle source categories (e.g. resuspension). Furthermore, the last ten years there has been an in depth debate on the size fraction of particulate matter which should be held responsible for the negative health effects which have been observed in epidemiological studies. The quality of this discussion is severely hampered by the lack of definite proof of the working mechanism of particulate matter on the human constitution. Recent studies

have presented well-founded assumptions concerning the biological mechanisms involved and the groups of people that are probably more susceptible to particulate matter. Unfortunately, particulate matter is a generic term for a complex mixture of large and small air-borne particles. However, the causal factors within this complex mixture are difficult to disentangle and have not yet been identified (Buringh and Opperhuizen, 2002).

Even with particulate matter concentrations well below European Union (EU) standards, people's health will still be affected because no threshold has been found for the occurrence of health effects. Particulate matter is a complex mixture containing fractions that are to a greater or lesser extent health-relevant. This differentiation in potency has profound implications for an efficient and effective reduction of health impacts through particulate matter emission abatement.

This paper will present a completely different approach to tackle this problem. Simple statistical methods provide easy tools to predict future developments. Successful examples of this approach have been published. Recently, a model for the development of the number of measurement sites for sulphur dioxide in the Netherlands has been proposed (Anonymus, 2002). The only input in this model was the number of measurement sites in the past. In this paper, we will prove that a similar approach is applicable to particulate matter effects research as well.

\*Corresponding author. Tel.: +31 30 6373498; fax: none.  
E-mail address: info@inzichten.nl



## 2. Experimental

Calculations were carried out with Microsoft Excel for Windows 97 on a Compaq Deskpro EN desktop computer with a 1 Mhz Intel processor and 128 MB internal memory. Some supplementary calculations were made with a CASIO FX-602P calculator.

## 3. Results and discussion

We took the theoretical framework that has been developed for the prediction of the number of measurements sites for sulphur dioxide in the Netherlands as a starting point (Anonymus, 2002). This model uses information on the number of measuring sites in the period 1975-2000 as an input to predict future developments in the number of sites.

The application of this model to the subject of particulate matter research requires the availability of historical data. However, such data are not available as there have not been any systematic and long-term measurements of particulate matter in the last 30 years. Forced by this lack of quantitative information, we tried to apply the model in a more qualitative way. In the early days of atmospheric research particulate matter measurements were generally carried out by so called high volume systems. The results were reported as 'total dust' or 'total suspended particulates'. Research showed that airborne solid particles were sampled with a diameter up to 30-100  $\mu\text{m}$  dependent on the specific sampling system. In accordance with later definitions (see below) most methods sampled particulate matter with a 50% efficiency cut-off at 20  $\mu\text{m}$  aerodynamic diameter. We denote this with the symbol  $\text{PM}_{20}$ . In our model we define for time frame '1' the particulate matter fraction as  $\text{PM}_{20}$ . Note that time frame '1' roughly corresponds to the years before 1990.

In the late eighties and the early nineties epidemiologists suggested that probably a smaller fraction than  $\text{PM}_{20}$  could be held responsible for health effects. This contributed to the definition of, and subsequent incorporation in legislation, of so called  $\text{PM}_{10}$ .  $\text{PM}_{10}$  is defined as the fraction of airborne particulate matter which passes through a size-selective inlet with a 50% efficiency cut-off at 10  $\mu\text{m}$  aerodynamic diameter. For time frame '2' we therefore have chosen a value of  $\text{PM}_{10}$ . In the second half of the nineties, discussion on the health effects of particulate matter shifted to an even smaller fraction of particulate matter:  $\text{PM}_{2.5}$ . We attribute this value of  $\text{PM}_{2.5}$  to time frame '3'.

Based on these three observations we developed a simple model by means of least square regression analysis (Figure 1). The resulting model is exponential. It is simple and straightforward in its use. Extrapolation results in predictions of future developments. Time frame '4', which is located in the near future, will see a discussion which shifts to even smaller fractions of particulate matter. There is some experimental support for our model. Round 2000, in the United States suggestions of  $\text{PM}_1$  as the health relevant fraction emerged.

In time frame '5' the discussion will focus on  $\text{PM}_{0.3}$ . Some scientists believe that the carbonaceous part of particulate matter is the health relevant fraction. We consider this as a firm support for our model as this

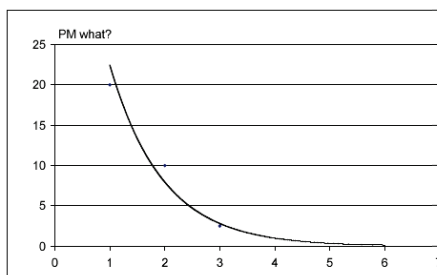


Fig. 1. Development of the discussion on the health relevant fraction of particulate matter in time. The line gives the best fit based on an exponential data model. Regression equation:  $y = 63.5e^{-1.04x}$ . The explained variance:  $R^2=0.96$ . The line was extrapolated beyond time frame '3' to show future developments.

corresponds well with our prediction. Finally, the discussion will, according to our model, end with  $\text{PM}_{0.1}$ . Until now, no suggestions have been presented in literature as to what chemical species this fraction might represent.

## 4. Conclusions

Simple statistical tools have proven to be useful to investigate past developments in particulate matter effects research and to predict future trends. The model does not require additional assumptions. The distribution of underlying data is of no importance, as there are no data required for the analysis. The only drawback so far is that no quantitative time reference can be given. Further research will focus on this flaw.

## Acknowledgements

The author is grateful to Mr HC Eerens of the National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven The Netherlands, for a suggestion for the meaning of  $\text{PM}_{0.3}$ .

## References

- Anonymous, 2002. Historische doorbraak in luchtonderzoek (Historical break-through in air research). Opgebakken Lucht (Refried Air). May 12.
- Buringh, E., Opperhuizen, A., 2002. On health risks of ambient PM in the Netherlands. Report 650010 033, National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, The Netherlands.
- Harrison, R.M., Yin, J., 2000. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? Science of the Total Environment 249, 85-101.

## Verder lezen

De literatuur om verder te lezen is onderverdeeld in drie groepen: Verdieping, Wet- en Regelgeving en Historische achtergrond. De groep 'Verdieping' biedt literatuur waarin op de fijnstofproblematiek of deelaspecten ervan dieper wordt ingegaan. De groep 'Wet- en Regelgeving' geeft een overzicht van de huidige en vroegere regelgeving voor stof in de lucht. De groep 'Historische achtergrond' geeft een aantal literatuurverwijzingen naar documenten die inzicht geven in het onderzoek zoals dat vroeger werd verricht.

### Verdieping

- Anonymus, 1996. De relatie radiometrie-gravimetrie van de  $\beta$ -stofmonitoren van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Rapport BL95616.01, Bureau Blauw, Wageningen.
- Anonymus, 2006. Nieuwe inzichten in de omvang van de fijnstofproblematiek. Rapport nr. 500093003, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- Beelen, R., Hoek, G., Fischer, P., Brandt, P. van den, Brunekreef, B., 2007. Estimated long-term outdoor air pollution concentrations in a cohort study. *Atmospheric Environment* 41, 1343-1358.
- Breugel P. van, Buijsman E., 2001. Preliminary assessment of air quality for sulfur dioxide, nitrogen dioxide, nitrogen oxides, particulate matter, and lead, in the Netherlands under European Union legislation. Rapport 725601005, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.  
[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/725601005.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/725601005.html)
- Brosset, C. 1978. Possible changes in aerosol composition due to departure from equilibrium conditions during sampling. Report B454, IVL, Swedish Water and Air Pollution Research Institute, Stockholm.
- Buijsman, E., Elzakker, B.G. van, 1996. Meetactiviteiten in 1996 in het kader van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. Rapport 723101022, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.  
[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/723101022.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/723101022.html)
- Buijsman, E., Leeuw, F.A.A.M. de, 2004. Correction factors and  $PM_{10}$  measurements in AirBase. ETC/ACC Technical paper 2004/4. European Topic Centre on Air and Climate Change, Bilthoven.  
[air-climate.eionet.eu.int/docs/meetings/041122\\_9th\\_EIONET\\_AQ\\_WS/05d\\_PM10\\_corr\\_factors\\_in\\_AirBase\\_Nov2004-TempDraft.pdf](http://air-climate.eionet.eu.int/docs/meetings/041122_9th_EIONET_AQ_WS/05d_PM10_corr_factors_in_AirBase_Nov2004-TempDraft.pdf)
- Buijsman, E., Beck, J.P., van Bree, L., Cassee, F.R., Koelemeijer, R.B.A., Matthijsen, J., Thomas, R., Wieringa, K., 2005. Fijn stof nader bekeken. Rapport 500037008, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven. ISBN 90-6960-124-9, 58 pagina's.  
[Ook digitaal beschikbaar op www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500037008.pdf](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500037008.pdf).
- Buringh, E., Opperhuizen, A. (eds), 2002. On health risks of ambient PM in the Netherlands, Rapport 650010032, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.  
[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/650010032.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/650010032.html)
- Buringh, E., Opperhuizen, A. (eds), 2002a. Over de gezondheidsrisico's van fijn stof in Nederland. Samenvattend rapport. Rapport 650010033, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Buringh, E., Opperhuizen, A. (eds), 2002b. Over de gezondheidsrisico's van fijn stof in Nederland. Rapport 650010032, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Carlsaw, N., 2007. A new detailed chemical model for indoor air pollution. *Atmospheric Environment* 41, 1164-1179
- Charron, A., Harrison, R.M., Quincey, P., 2007. What are the sources and conditions responsible for exceedences of the 24 h  $PM_{10}$  limit value ( $50 \mu g m^{-3}$ ) at a heavily trafficked London site? *Atmospheric Environment* 41, 1960-1975.
- Chiang, K-C., Liao, C-M., 2006. Heavy incense burning in temples promotes exposure risk from airborne PMs and carcinogenic PAHs. *Science of The Total Environment* 372, 64-75.
- Dam, G. van, 2003. An experienced based model to predict future developments in particulate matter effects research. *Atmospheric Environment* 37, 1987-1988.
- Eerens, H.C., 1998. Sea salt aerosol-model, Notitie van het Laboratorium voor Luchtonderzoek, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven <sup>4</sup>.
- Elzakker, B.G. van, 2001. Monitoring activities in the Dutch National Air Quality Monitoring Network in 2000 and 2001. Rapport 723101055, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.  
[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/723101055.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/723101055.html)

<sup>4</sup> De auteur noemt deze publicatie zelf een 'notitie'. De status en de verkrijgbaarheid ervan is echter onduidelijk.



- EU, 1996. Richtlijn 96/62/GC van de raad van 27 september 1996 inzake de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 296/55.
- EU, 1999. Richtlijn 1999/30/EG van de raad van 22 april 1999 betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in lucht. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 163/41.
-  [europa.eu.int/eur-lex/pri/nl/oj/dat/1999/l\\_163/l\\_16319990629nl00410060.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/nl/oj/dat/1999/l_163/l_16319990629nl00410060.pdf).
- EU, 2002. Guidance to member states on PM<sub>10</sub> monitoring and intercomparisons with reference method. EC Working Group on Particulate Matter.
-  [europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/finalwgreporten.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/finalwgreporten.pdf).
- EU, 2005. Demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods. EC Working group on Guidance for the Demonstration of Equivalence.
-  [www.europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/equivalence\\_report3.pdf](http://www.europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/equivalence_report3.pdf).
- Fischer, P.H., Ameling, C.B., Marra, M., 2005. Air pollution and daily mortality in The Netherlands over the period 1992 – 2002. Rapport 630400002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
-  [www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/630400002.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/630400002.html).
- Fromme, H., Twardella, D., Dietrich, S., Heitmann, D., Schierl, R., Liebl, B., Rüden, H., 2007. Particulate matter in the indoor air of classrooms—exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment* 41, 854-866.
- Gehrig, R., Hueglin, C., Schwarzenbach, B., Seitz, T., Buchmann, B. 2005. A new method to link PM<sub>10</sub> concentrations from automatic monitors to the manual gravimetric reference method according to EN12341. *Atmospheric Environment* 39, 2213-2223.
- Harrison, R.M., Jones, A.M., Larence, R.G., 2003. A pragmatic mass closure model for airborne particulate matter at urban background and roadside sites. *Atmospheric Environment* 37, 4927-4933.
- Hea, C., Morawska, L., Hitchins, J., Gilbert, D., 2004. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric Environment* 38, 3405-3415.
- Heringa, S., Fine, P.M., Sioutas, C., Jaques, P.A., Ambs, J.L., Hogrefee, O., Demerjane, K.L., 2004. Field assessment of the dynamics of particulate nitrate vaporization using differential TEOM® and automated nitrate monitors. *Atmospheric Environment* 38, 5183-5192.
- Holländer, W., Morawietz, G., Bake, D., Laskus, L., Elzakker, B.G. van, Meulen, A. van der, Zierock, K.H., 1990. A field intercomparison and fundamental characterization of various dust samplers with a reference sampler. *Journal of Air & Waste Management Association* 40, 881- 886.
- Hoogerbrugge, R., Matthijsen, J., Jaarsveld, H. van, Schaap, M., Denier van der Gon, H., 2005. Aanbeveling voor een voorlopige regeling voor de correctie van fijn stof (PM<sub>10</sub>) concentraties voor de bijdrage van zeezout. Notitie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Milieu- en Natuurplanbureau en TNO <sup>5</sup>.
- Hussein, T., Glytsos, T., Ondráček, J., Dohányosová, P., Ždímal, V., Hämeri, K., Lazaridis, M., Smolík, J., Kulmalaa, M., 2006. Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house. *Atmospheric Environment* 40, 4285-4307.
- ISO, 1999. En12341. Air quality. Determination of the PM<sub>10</sub> fraction of suspended particulate matter. Reference method and field test procedure to demonstrate reference equivalence of measurement methods. International Organization for Standardization, Genève.
- Jaarsveld, J.A. van, 2004. The Operational Priority Substances model, Rapport 500045001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
-  [www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500045001.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500045001.html)
- Jaques, P., Ambs, J., Grant, W., Sioutas, C., 2004. Field Evaluation of the Differential TEOM Monitor for Continuous PM<sub>2.5</sub> Mass Concentrations. *Aerosol Science & Technology* 38, Supplement 1, 49-59.
- Johansson, C., Johansson, P.-Å., 2003. Particulate matter in the underground of Stockholm. *Atmospheric Environment* 37, 3-9.
- Jones, A.P., 1999. Indoor air quality and health. *Atmospheric Environment* 33, 4535-4564.
- Jones, A.M., Harrison, R.M., 2006. Assessment of natural components of PM<sub>10</sub> at UK urban and rural sites. *Atmospheric Environment* 40, 7733-7741.
- Jonge, D. de, Meulen, A. van der, Elshout, S. van den, Laan, J. van der, Kummu, P., Visser, J., Weijers, E., Loon, J. van, Severijnen, M., 2006. Overzicht van onderzoek naar correctiefactoren voor automatische PM<sub>10</sub> metingen in Nederland. Rapport 680500002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
-  [www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680500002.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680500002.html).

<sup>5</sup> De auteurs noemen deze publicatie zelf een ‘notitie’. De status en de verkrijgbaarheid ervan is echter onduidelijk. Dit is des te merkwaardiger, omdat er zelfs in een officieel stuk als de *Meetregeling luchtkwaliteit 2005* naar gerefereerd wordt.

- Klimov, D., 2006. Contribution of sea-salt aerosols to PM<sub>10</sub> concentrations in the Netherlands on the basis of a mechanistic approach. Traineeship paper, Netherlands Environment Assessment Agency, Bilthoven/Vrije Universiteit, Faculteit Aard- en Levenswetenschappen, Amsterdam.
- Koelmeijer, R.B.A., Backes, Ch.B., Blom, W.F., Bouwman, A.A., Hammingh, P., 2005. Consequenties van de EU-luchtkwaliteitsrichtlijnen voor ruimtelijke ontwikkelingsplannen in verschillende EU-landen. Rapport 500052001, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.  
[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500052001.pdf](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500052001.pdf).
- Knol, A.B., Staatsen, B.A.M., 2005. Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands, 1980 – 2020. Rapport 500029001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.  
[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500029001.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500029001.html).
- Lee, S-C, Wang, B. 2004. Characteristics of emissions of air pollutants from burning of incense in a large environmental chamber. *Atmospheric Environment* 38, 941-951.
- Leeuw, F.A.A.M., 2005. PM<sub>10</sub> measurement methods and correction factors in AIRBASE. 2004 status report. Technical paper 2005/6. European Topic Centre on Air and Climate Change, Bilthoven.  
[air-climate.eionet.eu.int/reports/docs/ETCACC\\_TechPaper\\_2005\\_6\\_PM10\\_Corr\\_factors\\_2004.pdf](http://air-climate.eionet.eu.int/reports/docs/ETCACC_TechPaper_2005_6_PM10_Corr_factors_2004.pdf).  
 Zie ook de spreadsheet bij  
[http://air-climate.eionet.europa.eu/reports/ETCACC\\_TechPaper\\_2005\\_6\\_PM10\\_CorrFactors2004](http://air-climate.eionet.europa.eu/reports/ETCACC_TechPaper_2005_6_PM10_CorrFactors2004).
- Matthijsen, J., Visser, H., 2006. PM<sub>10</sub> in Nederland. Rekenmethodiek, concentraties en onzekerheden. Rapport 500093005, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.  
[www.mnp.nl/nl/publicaties/2006/PM10\\_in\\_Nederland\\_Rekenmethodiek\\_concentraties\\_onzekerheden.html](http://www.mnp.nl/nl/publicaties/2006/PM10_in_Nederland_Rekenmethodiek_concentraties_onzekerheden.html).
- McFarland, A.R., Ortiz, C.A., 1982. Wind tunnel evaluation of the British smoke shade sampler. *Atmospheric Environment* 17, 325-328.
- Mol, W.J.A., Hooydonk, P.R. van, 2005. European exchange of air quality monitoring information in 2003. ETC/ACC Technical paper 2005/2, European Topic Centre on Air and Climate Change, Bilthoven.  
[air-climate.eionet.eu.int/docs/ETCACC\\_TechPaper\\_2005\\_2\\_Eol\\_AQ\\_meta\\_info2003.pdf](http://air-climate.eionet.eu.int/docs/ETCACC_TechPaper_2005_2_Eol_AQ_meta_info2003.pdf).
- Moreno, T., Querol, X., Alastuey, A., Minguillón, M.C., Pey, J., Rodriguez, S., Miró, J.V., Felis, C., Gibbons, W., 2007. Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metalliferous particles from firework displays. *Atmospheric Environment* 41, 913-992.
- Ott, W. R., Siegmann, H.C., 2006. Using multiple continuous fine particle monitors to characterize tobacco, incense, candle, cooking, wood burning, and vehicular sources in indoor, outdoor, and in-transit settings. *Atmospheric Environment* 40, 821-843.
- Paoletti, L., De Bernardis, B., Arrizza, L., Granato, V., 2006. Influence of tobacco smoke on indoor PM<sub>10</sub> particulate matter characteristics. *Atmospheric Environment* 40, 3269-3280.
- Patashnick, H., Rupprecht, G., Ambs, J.L., Meyer, M.B., 2001. Development of a Reference Standard for Particulate Matter Mass in Ambient Air. *Aerosol Science & Technology* 34, 42-45.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D., 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*. 287: 1132-41.
- Putten, E.M. van, Bloemen, H.J.Th., Van der Meulen, A., 2002. Betrouwbaarheid van PM<sub>10</sub>-metingen in Nederland, een samenvattend overzicht. Rapport 650010026, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.  
[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/650010026.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/650010026.html).
- Sillanpää, M., Hillamo, R., Saarikoski, S., Frey, A., Pennanen, A., Makkonen, U., Spolnik, Z., Grieken, R. van, Braniš, M., Brunekreef, B., Chalbot, M-C., Kuhlbusch, T., Sunyer, J., Kerminen, V-M., Kulmala, M., Salonen, R.O., 2006. Chemical composition and mass closure of particulate matter at six urban sites in Europe. *Atmospheric Environment* 40, 212-223.
- Singels, M., Klooster, J., Hoek, G., 2005. Luchtkwaliteit in Nederland. Enkele brandende vragen. Publicatienummer 05.4049.36, CE, Delft.
- Singels, M., Klooster, J., Hoek, G., 2005. Luchtkwaliteit in Nederland. Gezondheidseffecten en hun maatschappelijke kosten. Publicatienummer 05.4094.27, CE, Delft.
- Staatsblad (2001). Besluit van 11 juni 2001, houdende uitvoering van de richtlijn 1999/30/EG van de Raad van de Europese Unie van 22 april 1999, betreffende grenswaarden zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht (PbEG L 163) en de richtlijn 92/62/EG van de Raad van de Europese Unie van 27 september 1996 inzake de beoordeling van de luchtkwaliteit (PbEG L 296) (Besluit luchtkwaliteit). Staatsblad 269, 1-58.
- Ven, H. van de, Wesseling, J. 2006. Gevoeligheidsanalyse 'Niet in betekende mate'. Verkenning van de effecten van mogelijke keuzes voor 'niet in betekende mate' bijdragen aan verslechtering van de luchtkwaliteit.

- Viana, M., Maenhaut, W., Chi, X., Querol, X., Alastuey, A., 2007. Comparative chemical mass closure of fine and coarse aerosols at two sites in south and west Europe: Implications for EU air pollution policies. *Atmospheric Environment* 41, 315-326.
- Visser H., Buringh E., Breugel P.B. van, 2001. Composition and origin of airborne particulate matter in the Netherlands. RIVM Rapport 650010029, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.  
 [www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/650010029.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/650010029.html).
- Wang, B., Lee, S.C., Ho, K.F., 2006. Chemical composition of fine particles from incense burning in a large environmental chamber. *Atmospheric Environment* 40, 7858-7868.
- Weber, S., 2006. Exposure of churchgoers to airborne particles. *Environmental Science and Technology* 40, 5251-5256.
- Whitby, K., 1978. The physical characteristics of sulphur aerosols. *Atmospheric Environment* 12, 135-159.
- Wilson, W.E., Chow, J.C., Claiborn, C., Fusheng, W., Engelbrecht, J., Watson, J.G., 2002. Monitoring of particulate matter outdoors. *Chemosphere* 49, 1009-1043.
- Zhao, Y., Hu, M., Slanina, S., Zhang, Y., 2007. Chemical Compositions of Fine Particulate Organic Matter Emitted from Chinese Cooking. *Environmental Science and Technology* 41, 99-105.

### Wet-en regelgeving

- Anonymus, 2005. Regeling saldering luchtkwaliteit 2005 (concept). Brief van staatssecretaris Van Geel van 19 december aan de Tweede Kamer.  
 Alleen digitaal beschikbaar op [www.vrom.nl/pagina.html?id=22210](http://www.vrom.nl/pagina.html?id=22210)
- EU, 1996. Richtlijn 96/62/GC van de raad van 27 september 1996 inzake de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 296/55. EU, 1997.
- EU, 1997. Ambient air pollution by particulate matter. Position paper on particulate matter.  
 [www.europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/pp\\_pm.pdf](http://www.europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/pp_pm.pdf).
- EU, 1999. Richtlijn 1999/30/EG van de raad van 22 april 1999 betreffende de grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in lucht. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 163/41.  
 [www.europa.eu.int/eur-lex/pri/nl/oj/dat/1999/l\\_163/l\\_16319990629nl00410060.pdf](http://www.europa.eu.int/eur-lex/pri/nl/oj/dat/1999/l_163/l_16319990629nl00410060.pdf).
- EU, 2004. Second position paper on particulate matter. CAFE Working Group on Particulate Matter.  
 [www.europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/pdf/working\\_groups/2nd\\_position\\_paper\\_pm.pdf](http://www.europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/pdf/working_groups/2nd_position_paper_pm.pdf).
- Staatsblad, 2001. Besluit van 11 juni 2001, houdende uitvoering van de richtlijn 1999/30/EG van de Raad van de Europese Unie van 22 april 1999, betreffende grenswaarden zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht (PbEG L 163) en de richtlijn 92/62/EG van de Raad van de Europese Unie van 27 september 1996 inzake de beoordeling van de luchtkwaliteit (PbEG L296) (Besluit luchtkwaliteit). Staatsblad 269, 1-58.

### Historische achtergrond

- Buijsman, E., 2003. Er zij een meetnet. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. ISBN 90-6960-103-6, 214 pagina's.
- Boelhout, H.C., Buurma, I.J., Schneider, T., Minderhoud, A., Fonds, A.W., 1980. Voorstudie Stofmetingen. Rapport 227901001, Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven.
- Boelhout, H.C., Fonds, A.W., Minderhoud, A., 1983. Vergelijkend onderzoek van methoden voor stofmetingen (Voorstudie Stofmetingen). Rapport 227901002, Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven.
- Brimblecombe, P., 1987. The big smoke. Methuen, London.
- EG, 1980. Richtlijn van de raad van 15 juli 1980 betreffende grenswaarden en richtwaarden voor de luchtkwaliteit voor zwaveldioxide en zwevende deeltjes (80/779/EG). Publicatieblad nr. L229/30.
- Gillet A, Leclerc E. 1936. Sur une méthode simple de dosage des poussières ou des impuretés dans l'air ou dans gaz en mouvement. *Revue Universelle des Mines* 79, 138-144.
- Hartogensis F. 1965. De bepaling van het gehalte aan stof in de atmosfeer. *Chemisch Weekblad* 61, 161-164.
- Leclerc E. 1953. A propos de la détermination du degré de pollution de l'atmosphère des villes. Extrait de la *Revue Universelle des Mines*, 801-808.
- OECD. 1964. Methods of measuring air pollution. Organisation for Economic Co-operation and Development, Parijs.
- Schneider, T., 1977. Voorstudie stofmetingen. Rapport 227603001, Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven.
- Schneider, T., 1979. Voorstudie stofmetingen. Rapport 227603004, Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven.

Schuursma, M.J.N. 1952. Verontreiniging van de buitenlucht. I. Inleiding en overzicht. De Ingenieur 64, no. 24, G53-55.  
 Staatsblad, 1986. Besluit van 13 februari 1986, houdende regels als bedoeld in artikel 2 van de Wet inzake de luchtverontreiniging (Besluit luchtkwaliteit zwaveldioxide en zwevende deeltjes (zwarte rook)) 78, 1-6.

### Informatiebronnen op internet

AIRBASE. De luchtkwaliteitsdatabase van het European Topic Centre on Air and Climate Change.  
 [airclimate.eionet.eu.int/databases/airbase](http://airclimate.eionet.eu.int/databases/airbase).

Milieu- en Natuurcompendium. Milieu en Natuur in cijfers.  
 [www.mnp.nl/mnc](http://www.mnp.nl/mnc).

Ministerie voor Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.  
 [www.vrom.nl](http://www.vrom.nl).

Air Quality Expert Group Report on Particulate Matter in the United Kingdom.  
 [www.defra.gov.uk/environment/airquality/aqeg/particulate-matter/](http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/aqeg/particulate-matter/)

Particulate Matter (PM) Research, US Environmental Protection Agency.  
 [www.epa.gov/pmresearch/](http://www.epa.gov/pmresearch/)

Infomil, een organisatie die overheden informeert over de implementatie van milieubeleid. Niettemin ook voor particulieren een nuttige informatiebron. Zie bij 'Luchtkwaliteit' en bij 'Fijn stof'.  
 [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl).

Handreiking Luchtkwaliteitsplan. De handreiking is bedoeld voor medewerkers van de gemeenten die een luchtkwaliteitsplan ex artikel 9 en 10 Besluit luchtkwaliteit 2005 gaan opstellen, maar kan ook van anderen interessant zijn.  
 <http://www.infomil.nl/asp/get.aspx?xdl=/views/infomil/xdl/page&ltmldt=29402&Sitldt=111&Varldt=82>.

Over Saharastof  
 [www.keesfloor.nl/artikelen/zenit/stof/](http://www.keesfloor.nl/artikelen/zenit/stof/)



Een poster van de American Lung Association uit de jaren zeventig van de vorige eeuw.



Niet alleen wetenschappers worstelen met  $PM_{10}$ . Ook op internet wordt er heel wat ge- $PM_{10}$ 'd. Het trefwoord  $PM_{10}$  levert in Google een uitzonderlijk breed scala aan afbeeldingen op. De opmerking: 'Dat zoeken we even op met Google', bevat zeker een kern van waarheid. Men kan echter van mening verschillen over de kwaliteit van het antwoord. Hieronder een willekeurige keuze van de afbeeldingen die gevonden worden met het trefwoord  $PM_{10}$ .

