

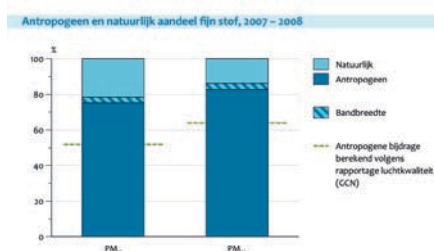
# FIJN STOF KOMT MEER VAN MENSEN DAN GEDACHT

Het beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof, gefinancierd door het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, is eind 2009 afgerond. Het leidde tot veel nieuwe inzichten in de samenstelling en bronnen van fijn stof en in de voortgang in het fijnstof-beleid. Een belangrijk inzicht is dat fijn stof meer afkomstig is van menselijke bronnen dan eerder gedacht.

JAN MATTHIJSEN EN ROBERT KOELEMEIJER\*

## Inleiding

Het beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof (BOP) is een nationaal programma over  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$  en is een samenwerkingsverband tussen vier Nederlandse instituten: het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), de sector Milieu en Veiligheid van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en TNO Bouw en Ondergrond. Het PBL verzorgde de coördinatie. Daarnaast hebben de Milieu-dienst Rijnmond (DCMR), gemeente Breda, GGD Amsterdam en Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR) bijgedragen aan het onderzoeksprogramma door metingen,



Figuur 1: Antropogeen en natuurlijk aandeel  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$ . De gestreepte lijnen geven aan welk deel tot dusver werd vastgesteld als antropogeen in de rapportages over luchtkwaliteit – GCN-kaarten.

meetfaciliteiten en/of onderzoekscapaciteit beschikbaar te stellen. Dit artikel schetst de resultaten en beleidsimplicaties van BOP.

## Het onderzoeksprogramma

BOP had als doel om de kennis over fijn stof te vergroten, zodat beleidsvorming in de toekomst adequater ondersteund kan worden. De belangrijkste onderzoeksdoelstellingen van BOP waren:

- verbeteren van de kennis over de  $PM_{10}$ - en  $PM_{2,5}$ -concentraties, de samenstelling en de bronnen;
- vergroten van het inzicht in het gedrag van fijn stof in het stedelijke gebied;
- bepalen van de trends in fijnstofconcentraties en de bestanddelen ervan;
- verduidelijken van de invloed van beleidsmaatregelen in het verleden en de toekomst op de  $PM_{10}$ - en  $PM_{2,5}$ -concentraties.

De samenstelling van  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$  in Nederland is in beeld gebracht door op

zes locaties te meten gedurende ongeveer een jaar, van augustus 2007 t/m augustus 2008: Schiedam, Rotterdam, Breda (alleen  $PM_{10}$ ), Cabauw, Vredepeel en Hellendoorn. Daarnaast zijn specifieke bronnen in detail onderzocht met gerichte, kortere meetcampagnes en modelstudies. De uitstoot of bijdrage van een aantal antropogene, verbrandingsgerelateerde bronnen is onder de loep genomen: houtverbranding, verkeer en scheepvaart.

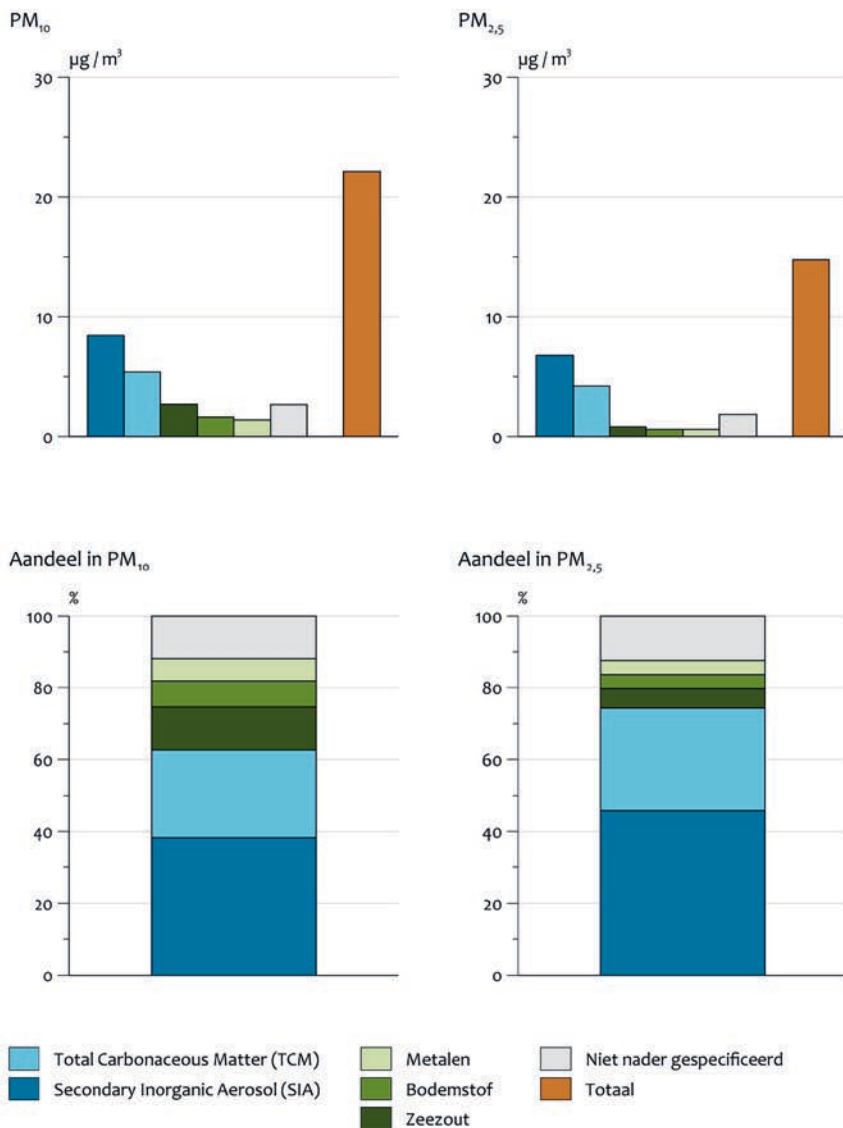
## De resultaten op hoofdlijnen en de beleidsimplicaties

### Grotere antropogene bijdrage aan fijn stof

Fijn stof in de lucht bestaat uit verschillende bestanddelen die deels van natuurlijke oorsprong zijn en deels in de atmosfeer zijn gekomen door menselijk handelen.  $PM_{10}$  bestaat gemiddeld voor 75-80% uit antropogene bestanddelen; voor  $PM_{2,5}$  is dit 85-90% (zie figuur 1, figuur 2). Op zwaar belaste

EEN GROTER ANTROPOGEEN AANDEEL BETEKENT DAT DE OVERHEID EEN GROTER POTENTIEEL HEEFT OM DE  $PM_{10}$ - EN  $PM_{2,5}$ -CONCENTRATIES TE VERMINDEREN DAN EERDER GEDACHT

### Samenstelling fijnstofconcentratie, 2007 – 2008



Figuur 2: Gemiddelde samenstelling van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> (in µg/m<sup>3</sup> en procent) 2007-2008.

locaties, zoals binnenstedelijke wegen, is het antropogene aandeel in PM<sub>10</sub> nog groter dan 80%. Figuur 1 geeft de verdeling tussen de antropogene en natuurlijke bijdragen aan PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> op basis van de gegevens uit het BOP-onderzoeksprogramma en de rapportages luchtkwaliteit. De bandbreedte geeft de onzekerheid aan over het antropogene aandeel in het koolstofhoudend deel van fijn stof. Figuur 2 geeft de gemiddelde samenstelling van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>. Antropogene bestanddelen waarvan de bijdrage aan fijn stof tot nu toe worden onderschat, zijn vooral het in de lucht gevormde fijn stof uit vluchtige organische stoffen, zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak en in mindere mate de antropogene bodemstofbijdrage aan fijn stof, zoals het stof dat wordt opge-

werveld door verkeer. De grootste bijstelling van het antropogene aandeel komt voor rekening van het fijn stof uit het antropogene aandeel zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak. Dat bleek ongeveer de helft groter dan tot nu toe werd gemeten en berekend. Dit resultaat strookt met metingen in België en Duitsland. Secundair aerosol is fijn stof dat in de lucht wordt gevormd en dat niet direct – primair – als fijn stof door een bron wordt uitgestoten.

#### *Ook onzekerheden over bodemstof en koolstofhoudend fijn stof*

Een deel van het als antropogeen bestempelde fijn stof bestaat uit stof dat door opwerveling als gevolg van verkeer langs wegen en door landbouwactiviteiten in de lucht komt. Deze

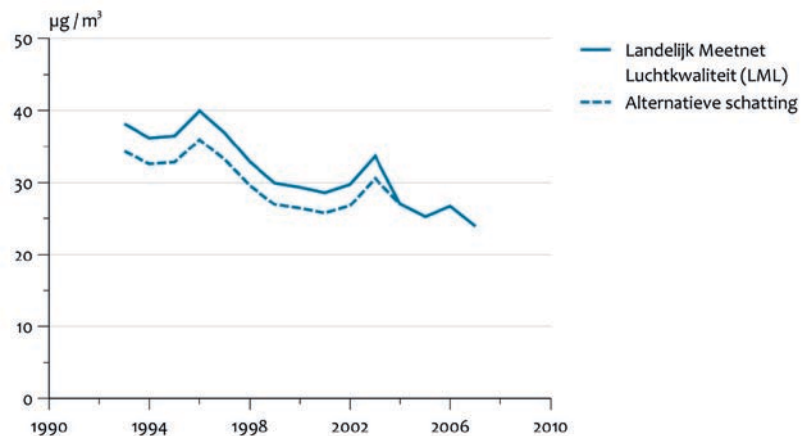
bronnen van fijn stof zijn erg onzeker en maken geen onderdeel uit van de emissieregistratie. De bijdrage van het antropogene bodemstof aan de fijnstofconcentraties wordt daarom ook niet apart berekend voor de rapportages luchtkwaliteit. Maatregelen om de bijdrage aan fijn stof door opwerveling te verminderen lijken overigens niet of nauwelijks effectief, zo blijkt uit eerdere verkennende studies in Nederland en Duitsland.

Koolstofhoudend fijn stof is voor een deel antropogeen en voor een deel natuurlijk van oorsprong. De verhouding tussen het antropogene en natuurlijke aandeel is onzeker. Het antropogene deel vormt naar schatting 50-75% van de totale hoeveelheid koolstofhoudend fijn stof. Koolstofhoudend fijn stof van antropogene herkomst wordt gedeeltelijk direct uitgestoten en gedeeltelijk in de lucht gevormd uit vluchtige organische stoffen. Hoewel de emissie van beide delen onderdeel uitmaakt van de emissieregistratie is er weinig bekend over de effecten van maatregelen die zich richten op de vermindering van vluchtige organische stoffen op de fijnstofconcentratie. Deze maatregelen worden echter wel relevant geacht om de nadelige gezondheidseffecten van fijn stof te verminderen.

#### *Mogelijk groter potentieel aan beleidsmaatregelen door nieuwe inzichten*

Deze bevindingen over de samenstelling van fijn stof hebben geen effect op de hoogte van de fijnstofconcentratie zoals die wordt gemeten. Een groter antropogeen aandeel betekent echter wel dat de overheid een groter potentieel heeft om de PM<sub>10</sub>- en PM<sub>2,5</sub>-concentraties te verminderen dan eerder gedacht. In hoeverre dit daadwerkelijk het geval zal zijn, kan nu nog niet precies worden vastgesteld. Mogelijk zullen beleidsmaatregelen die zijn

PM<sub>10</sub>-concentratie



Figuur 3: Jaargemiddelde PM<sub>10</sub>-concentratie voor regiolocaties (1993-2007). De getrokken lijn geeft de door het RIVM gerapporteerde concentraties conform de aanpassingen die in 2007 met terugwerkende kracht zijn doorgevoerd en de gestreepte lijn geeft een alternatieve (lagere) schatting van de gemiddelde PM<sub>10</sub>-concentratie.

gericht op de vermindering van de emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak, effectiever zijn om fijnstofconcentraties te verminderen dan de huidige projecties aangeven. De verwachte concentratiedaling van PM<sub>10</sub> tussen 2010 en 2020 zal maximaal met ongeveer 50% extra dalen, ongeveer 3 µg/m<sup>3</sup> in plaats van circa 2 µg/m<sup>3</sup>.

**Bijdrage zeezout aanmerkelijk minder**  
Zeezoutaerosol is van natuurlijke oorsprong en levert in Nederland een gemiddelde bijdrage van 12% aan de PM<sub>10</sub>-concentraties en van 5% aan de PM<sub>2,5</sub>-concentraties. Deze bijdrage is echter sterk afhankelijk van de weersomstandigheden en varieert bovendien in tijd en ruimte. In de jaren 2007-2008 bleek de concentratie van zeezoutaerosol te variëren van 4 µg/m<sup>3</sup> in Rotterdam, niet ver van de kust, tot 2 µg/m<sup>3</sup> in Vredepeel, meer landinwaarts. Voor daggemiddelde concentraties zijn maxima gemeten van 16 µg/m<sup>3</sup> in Rotterdam en van 10 µg/m<sup>3</sup> in Vredepeel. De bijdrage van zeezout aan PM<sub>2,5</sub> bleek gemiddeld een derde te zijn van de bijdrage aan PM<sub>10</sub>. Op dagen met verhoogde fijnstofconcentraties is de bijdrage van zeezout juist lager dan gemiddeld (minder dan 1 µg/m<sup>3</sup>), omdat de wind in dergelijke situaties meestal aflagend is.

**Zeezoutaftrek**

Zeezoutdeeltjes zijn niet schadelijk voor de gezondheid. Europese regelgeving staat toe dat de bijdrage door zeezout aan fijn stof buiten beschouwing wordt gelaten bij de toetsing of wordt voldaan

aan de regelgeving van fijn stof. Dit is de zogenoemde zeezoutaftrek. De grondslag voor de zeezoutaftrek is de intentie om een gelijk uitgangspunt te creëren voor Europese lidstaten bij de aanpak van hun luchtkwaliteitsproblemen. Hierdoor wordt van lidstaten geen extra inzet gevraagd als er toevallig een hoge bijdrage uit natuurlijke bronnen is (*level playing field*). De keerzijde is dat de grenswaarden voor fijn stof als gevolg van aftrek van natuurlijke bijdragen een iets lagere bescherming van de gezondheid geven, omdat dit feitelijk leidt tot een versoepeling van de norm. Aftrek van zeezout biedt binnen de ruimte van de norm de mogelijkheid voor extra antropogene bijdragen die – in tegenstelling tot zeezout – mogelijk wel schadelijk zijn. Er treedt dan opvulling tot de grenswaarde op.

**Herziening regeling zeezoutaftrek**

Nederland maakt gebruik van de mogelijkheid tot aftrek van de bijdrage van zeezout conform de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007. Het BOP-onderzoek geeft aan dat de meetregeling voor de aftrek van zeezout bij overschrijding van de grenswaarden

van PM<sub>10</sub> een te hoge zeezoutaftrek geeft. Vanuit het gezondheidsperspectief is herziening van deze regeling wenselijk. In antwoord op Kamervragen heeft de minister van VROM inmiddels het RIVM gevraagd om na te gaan hoe, op basis van de nieuwe inzichten, zeezoutaftrek zou kunnen worden aangepast, en of de beschikbare meetgegevens hiervoor voldoende zijn.

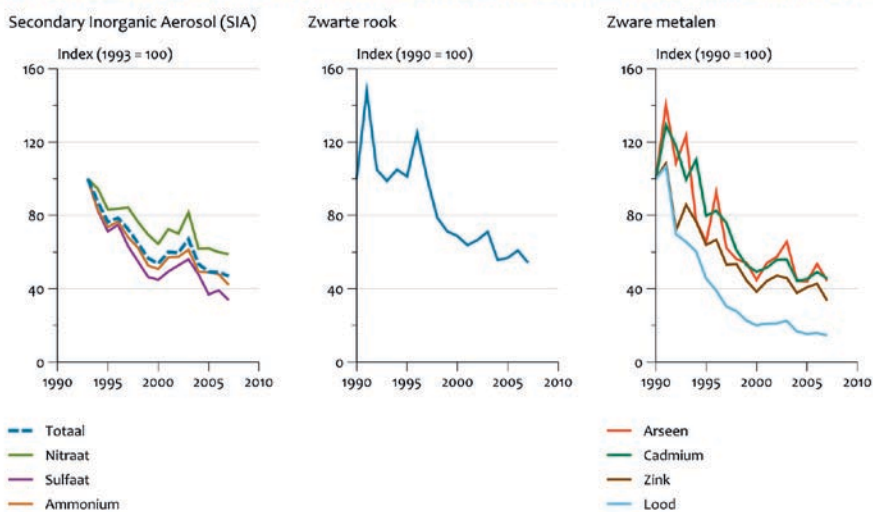
**Dalende concentraties**

De PM<sub>10</sub>-concentraties zijn tussen 1993 en 2007 gemiddeld met 0,7 tot 1,0 µg/m<sup>3</sup> per jaar gedaald (figuur 3). Deze daling komt voor ongeveer twee derde door afgenomen emissies van vooral zwaveldioxide en in mindere mate van stikstofoxiden en ammoniak. De rest van de daling (een derde) komt door verminderde emissies van primaire deeltjes en secundair koolstofhoudend fijn stof en water op deeltjes. Hierbij is ervan uitgegaan dat de hoeveelheid water op deeltjes proportioneel is aan de hoeveelheid fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak.

Het verloop van de daling van jaar tot jaar is moeilijk te duiden door de grote meetonzekerheid in combinatie met jaar tot jaar variaties door het weer in de orde van 2,5 µg/m<sup>3</sup>. Na 2000 is het tempo afgenomen waarmee de emissies en concentraties dalen. De trend sinds 2000 is niet significant. Een licht dalende trend is nog niet te onderscheiden van geen dalende trend, zelfs als

IN NEDERLAND ZIJN IN DE AFGELOPEN TWINTIG JAAR DE GEMETEN CONCENTRATIES VAN ALLE ANTROPOGENE BESTANDDELEN VAN FIJN STOF GEDAALD

## Regionale achtergrondconcentratie fijnstofbestanddelen met Landelijk Meetnet Lucht kwaliteit (LML)



Figuur 4: Gemiddelde trend van een aantal fijnstofbestanddelen voor regiolocaties in Nederland op basis van metingen uit het Landelijk Meetnet Lucht kwaliteit: secundair anorganisch aerosol op fijn stof: nitraat, sulfaat en ammonium en het totaal; zwarte rook; zware metalen op fijn stof: arseen, cadmium, zink en lood.

rekening wordt gehouden met de weer-sinvloeden op de fijnstofconcentraties. In Nederland zijn in de afgelopen twintig jaar de gemeten concentraties van alle antropogene bestanddelen van fijn stof gedaald (figuur 4). Het gaat om fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak en om zwarte rook en zware metalen. De mate waarin verscheidene echter wel per bestanddeel. De grootste dalingen vonden plaats tussen 1990 en 2000. De concentraties van zwarte rook namen tussen 1990 en 2007 in buitenstedelijke gebieden af met 50%. Wegverkeer is waarschijnlijk de dominante bron van dit type fijn stof uit verbrandingsprocessen. In steden zijn de zwarterooktrends echter niet zo eenduidig, zowel stagnerende concentraties als dalende trends zijn waargenomen. Over de trend in fijnstofconcentraties bestaan echter nog veel vragen, ook elders in Europa. Recentelijk is in de literatuur gesignaleerd dat de concentraties in Europa niet meer lijken af te nemen, terwijl de relevante emissies nog wel dalen. In Nederland is geen sprake van een verschil tussen de trend in metingen en emissies.

#### Samenstelling van fijn stof is locatieafhankelijk

De samenstelling van fijn stof kan per locatie verschillen en er blijken variaties in de trend te zijn per locatie. Als dit soort lokale verschillen van belang zijn voor de gezondheid, dan zijn  $PM_{10}$

en  $PM_{2,5}$  ontoereikende grootheden om gezondheidseffecten van beleidsmaatregelen te kunnen monitoren.

Fijn stof bestaat voor een belangrijk deel (gemiddeld 30-40%) uit fijn stof gevormd uit de gassen stikstofoxiden, ammoniak en zwaveldioxide. Op dagen met concentraties boven de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is dat aandeel nog groter. Andere fijnstofbestanddelen blijken niet opvallend extra verhoogd, afgezien van het deel dat chemisch niet nader is gespecificeerd. Daarnaast blijkt de bijdrage van zeezout op zulke dagen juist extra laag. De hoge emissiedichtheid van vooral ammoniak en stikstofoxiden in Noordwest-Europa, in combinatie met lage windsnelheden uit oostelijke en of zuidelijke richtingen, spelen een belangrijke rol bij het veroorzaken van overschrijdingen van de grenswaarde voor daggemiddelde fijnstofconcentraties. Hoge fijnstofconcentraties zijn in Nederland dus bij uitstek een door de mens veroorzaakt fenomeen.

Beleid gericht op de vermindering van de emissies van stikstofoxiden en ammoniak is het effectiefst om te voldoen aan de normen voor fijn stof. Deze vermindering is ook belangrijk om te komen tot een verlaging van de overmatige toevoer van stikstof op de natuur. Maar waarschijnlijk is dit voor de bescherming van de menselijke gezondheid van beperkt belang; grootschalige aanpak van verbrandingsaerosol – en dan vooral roet en metalen – lijkt daarvoor relevanter.

#### Elementair koolstof als indicator

Modelresultaten voor Rotterdam lieten een groot contrast zien tussen concentraties van elementair koolstof (EC) langs drukke wegen en grootschalige EC-concentratie in de stad; verschillen die veel groter waren dan voor  $PM_{2,5}$  en  $PM_{10}$ . EC blijkt een goede indicator voor de verspreiding van uitlaatemissies van fijn stof door wegverkeer. Maatregelen die zijn gericht op vermindering van metalen en koolstofhoudend fijn stof, en dan vooral roet, hebben prioriteit vanuit dat gezondheidsperspectief. In het stedelijke gebied en langs straten zijn maatregelen gericht op deze fracties bovendien nog effectiever, omdat de bijdragen daar groter bleken te zijn dan op de meetlocaties in de landelijke omgeving.

#### Situatie voor $PM_{2,5}$ nu in kaart

In 2007 is het RIVM begonnen met  $PM_{2,5}$ -metingen volgens de Europese referentiemethode. Hieruit blijkt dat jaargemiddelde concentraties van  $PM_{2,5}$  in Nederland vaak liggen tussen 16 en  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Gelijktijdige metingen van de samenstelling van  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$  tonen, zoals verwacht, aan dat het antropogene relatieve aandeel van  $PM_{2,5}$  significant groter is dan van  $PM_{10}$ . De ruimtelijke gradiënten van de  $PM_{2,5}$ -concentraties zijn echter kleiner dan die van  $PM_{10}$ .

EC BLIJKT EEN GOEDE  
INDICATOR VOOR DE  
VERSPREIDING VAN UIT-  
LAATEMISSIES VAN FIJN  
STOF DOOR WEG-  
VERKEER

## METINGEN, MODELLEN EN EMISSIES ROND DE BIJDAGEN VAN KOOLSTOF-VERBINDINGEN EN KOOLSTOFHOUDEND FIJN STOF MOETEN WORDEN VERBETERD, VOORAL VOOR STEDELIJKE GEBIEDEN

In 2008 zijn er in de Europese Unie normen voor  $PM_{2,5}$  vastgesteld, omdat die fractie als gezondheidsrelevanter wordt gezien dan  $PM_{10}$ . Aan de grenswaarden voor  $PM_{2,5}$  moet vanaf 2015 worden voldaan. Verkenningen op basis van metingen en berekeningen laten zien dat het huidige en voorgenomen luchtbeleid – dat onder andere is ingezet om te voldoen aan de grenswaarden voor  $PM_{10}$  – waarschijnlijk ook voldoende is om aan de normen voor  $PM_{2,5}$  te voldoen. De grenswaarde voor daggemiddelde concentraties van  $PM_{10}$  blijkt namelijk strenger dan de nieuwe normen voor  $PM_{2,5}$ , in ieder geval in Nederland. Ook lijkt de inspanningsverplichting om de concentratie van  $PM_{2,5}$  in de stedelijke leefomgeving de komende tien jaar met minstens 15% te verminderen haalbaar met het voorgenomen emissiebeleid. De doelstelling die Nederland krijgt opgelegd, om de gemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentratie in steden te verminderen tussen 2010 en 2020, zal afhangen van de meetresultaten in 2009, 2010 en 2011. Een doelstelling van 15% lijkt waarschijnlijk, maar ook 20% is nog mogelijk. In het laatste geval is het genoemde emissiebeleid waarschijnlijk ontoereikend.

### Houtverbranding soms belangrijke bron van fijn stof

Volgens de emissieregistratie is de fijnstofemissie door houtverbranding in houtkachels, open haarden en kachels voor kleinschalige energieopwekking minder dan 5% van de primaire antropogene emissies van fijn stof in Nederland. Het is echter onzeker hoeveel luchtverontreiniging wérkelijk plaatsvindt bij gebruik van houtkachels. Dit hangt namelijk sterk af van het soort brandstof, het type kachel en vooral het stookgedrag. De directe uitstoot van fijn stof door houtkachels wordt gezondheidsrelevant geacht. De uitstoot van houtkachels vindt plaats

daar waar mensen wonen. Van verhoogde blootstelling aan fijn stof als gevolg van houtverbranding door particulieren kan daarom al snel sprake zijn en dat kan tot overlast leiden, vooral bij gevoelige groepen. Wat het verloop de komende vijftien jaar zal zijn van de emissie door houtkachels is erg onzeker, omdat veel factoren hierbij van invloed zijn, waaronder de energieprijzen. Uit verkennende metingen blijkt, gemiddeld over zomer en winter, een bijdrage van 0,1-0,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  aan de fijnstofconcentraties in het stedelijke gebied. Dit komt overeen met een bijdrage tot ongeveer een procent van  $PM_{10}$ . In de winter is dat hoger (0,2-0,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en kan het, gemiddeld over een dag, incidenteel oplopen tot een aantal  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De concentratiebijdrage aan fijn stof door houtverbranding is seizoensgebonden. Tijdens de wintermaanden kwam de bijdrage van houtverbranding in Amsterdam ongeveer achtmaal hoger uit dan in de zomer. In bosachtig gebied waar veel hout voorhanden is, zijn incidenteel nog hogere bijdragen door houtverbranding aan fijn stof gemeten tot wel 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gemiddeld per maand. In die gevallen kan houtverbranding voor overschrijdingen van de grenswaarde voor daggemiddelde  $PM_{10}$ -concentraties (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) zorgen.

### Vervolgstappen

Om de opgedane kennis bij de uitvoering van het luchtbeleid te kunnen toepassen, is verdere uitwerking en onderzoek noodzakelijk.

- De nieuwe inzichten rond de grootte van antropogene bijdragen aan fijn stof hebben gevolgen voor diagnoses en projecties van fijn stof. Om deze gevolgen te kunnen kwantificeren is een aantal praktische onderzoeksstappen benoemd.
- Een aanvullende indicator is nodig om fijnstofmaatregelen te kunnen monitoren die voor de gezondheid

relevant zijn, maar die niet meetbaar tot uitdrukking komen in de  $PM_{10}$ - of  $PM_{2,5}$ -concentraties. Elementair koolstof en zwarte rook, beide kandidaat voor zo'n aanvullende indicator, zijn nog onderwerp van discussie en nader onderzoek.

- Metingen, modellen en emissies rond de bijdragen van koolstofverbindingen en koolstofhoudend fijn stof moeten worden verbeterd, vooral voor stedelijke gebieden. Deze verbeteringen zijn ook noodzakelijk voor een adequate beschrijving en verificatie van het verband tussen klimaatverandering en luchtkwaliteit.

Het ministerie van VROM heeft een onderzoeksprogramma aansluitend op BOP gefinancierd waarin een aantal van de hier genoemde punten wordt behandeld.

### Referenties

1. De resultaten van het beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof zijn vastgelegd in een aparte publicatierijks van vijftien Engelstalige rapporten. Dit artikel is geschreven op basis van een Nederlandse vertaling van het overzichtsrapport (Matthijssen & Koelemeijer, 2010).
2. Matthijssen, J. & R.B.A. Koelemeijer (2010). Beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof. Resultaten op hoofdlijnen en beleidconsequenties. Report 500099013 Bilthoven, The Netherlands.

Dit rapport en de overige rapporten kunnen worden gedownload van de BOP-pagina op de PBL-site: [http://www.pbl.nl/nl/dossiers/fijnstof/Onderzoeksprogramma\\_ter\\_verkleining\\_onzekerheden\\_fijn\\_stof.html](http://www.pbl.nl/nl/dossiers/fijnstof/Onderzoeksprogramma_ter_verkleining_onzekerheden_fijn_stof.html).

- \* Jan Matthijssen en Robert Koelemeijer, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Den Haag.