

Beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof Resultaten op hoofdlijnen en beleidsconsequenties

Dit is een publicatie van het Nederlands onderzoeksprogramma fijn stof

Beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof

Resultaten op hoofdlijnen en beleidsconsequenties

Jan Matthijsen (PBL), Robert Koelemeijer (PBL)



Planbureau voor de Leefomgeving



**Beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof.
Resultaten op hoofdlijnen en beleidsconsequenties**

© Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
Den Haag/Bilthoven, 2010

PBL-rapport 500099013/2010
ISSN: 1875-2322 (print); 1875-2314 (online)

Trefwoorden / Keywords:
Bronnen, samenstelling, fijn stof, gezondheid, beleid, PM₁₀, PM_{2,5}, onderzoek

Contact: jan.matthijsen@pbl.nl

Deze publicatie werd gemaakt in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) in het kader van het beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof (BOP).

U kunt de publicatie downloaden via de website www.pbl.nl.
Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:
Planbureau voor de Leefomgeving, de titel van de publicatie en het jaartal.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en altijd wetenschappelijk gefundeerd.

Planbureau voor de Leefomgeving
Vestiging Den Haag
Postbus 30314
2500 GH Den Haag
T 070 3288700
F 070 3288799
E: info@pbl.nl
www.pbl.nl

Vestiging Bilthoven
Postbus 303
3720 AH Bilthoven
T 030-2742745
F 030-2744479

Voorwoord

Verhoogde concentraties van fijn stof in de lucht worden geassocieerd met nadelige gezondheids-effecten en vormen de belangrijkste milieugerelateerde ziektelast in Nederland en Europa. Om deze effecten tegen te gaan zijn op Europees niveau onder andere normen vastgesteld voor de fijnstofconcentratie (PM_{10}) en de fijnere fractie van fijn stof ($PM_{2,5}$). Deze normen zijn de maximaal toegestane concentraties waaraan Europese landen vanaf 2011 (voor PM_{10}) en vanaf 2015 (voor $PM_{2,5}$) moeten voldoen. In aanvulling op Europees beleid is generiek nationaal beleid ontwikkeld om tijdig en overal in Nederland te voldoen aan deze normen. Ook worden locatiespecifieke maatregelen getroffen gericht op het opheffen van de fijnstofknelpunten.

Wetenschappelijke onzekerheden in dit dossier maken het lastig om doelmatig en doeltreffend beleid te formuleren. Hoe varieert de natuurlijke en door de mens veroorzaakte bijdrage aan fijn stof in de ruimte en tijd? Hoeveel dragen verschillende bronnen bij en aan welke fracties? En wat zijn de aangrijpingspunten voor het beleid om fijnstofconcentraties te verminderen en wat is het mogelijke effect op de gezondheid van fijnstofmaatregelen? Om deze vragen te kunnen beantwoorden heeft het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) een beleidsgericht onderzoeksprogramma gefinancierd om de kennis over fijn stof te verbeteren. Het Beleidsgericht Onderzoeksprogramma Particulate Matter (BOP) is uitgevoerd door een samenwerkingsverband van Nederlandse onderzoeksinstituten: ECN, PBL, RIVM en TNO en liep van 2007 tot 2009. Het onderzoek leidde tot verschillende nieuwe inzichten in de samenstelling en bronnen van fijn stof en in de voortgang in het fijnstofbeleid. Deze inzichten hebben geleid tot beleidsaanbevelingen. De resultaten hebben hun weerslag gekregen in vijftien rapporten.

Dit rapport schetst de resultaten op hoofdlijnen en de beleidsimplicaties daarvan.

Directeur Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
Dr. A.B.M. Hoff



Directeur Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
Prof.dr. M.A. Hajer



Directeur sector Milieu en Veiligheid van het
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM/MEV)
Dr.ir. R.D. Woittiez



Directeur TNO Bouw en Ondergrond
Ir. D.Ph. Schmidt



Inhoud

- Abstract 9

Bevindingen 11

- Resultaten op hoofdlijnen en beleidsconsequenties 13
 - Samenvatting 13
 - Inleiding 15
 - Chemische samenstelling van fijn stof 16
 - Trend in concentraties 18
 - Mogelijke vervolgstappen 22
 - Lijst van BOP-rapporten 23

Verdieping 25

- 1 Inleiding 27
 - 1.1 Ontwikkelingen rond fijn stof 27
 - 1.2 Onderzoeksdoelstellingen en werkwijze 32
- 2 Samenstelling en bronnen fijn stof 33
 - 2.1 Gegevensbasis 33
 - 2.2 Samenstelling en bronnen 36
 - 2.3 Wat is de samenstelling bij hoge en lage fijnstofconcentraties? 40
 - 2.4 Hoe verschilt de samenstelling van fijn stof per locatie; regio, stad en straat? 41
- 3 Fijn stof in het stedelijke gebied 43
 - 3.1 PM_{10} en $PM_{2,5}$ en bestanddelen in stad en straat 44
 - 3.2 Hoe varieert de fijnstofconcentratie in het stedelijke gebied? 45
 - 3.3 Verbrandingsaerosol 46
- 4 Beleidsimplicaties 51
 - 4.1 Welk deel van fijn stof is antropogeen dan wel natuurlijk? 51
 - 4.2 Effectiviteit beleidsstrategieën 53
 - 4.3 Strookt de huidige zeezoutaftrek uit de Regeling beoordeling luchtkwaliteit met de nieuwe inzichten? 54
- 5 Hoe effectief is het beleid? 57
 - 5.1 Trends in PM_{10} en bestanddelen 57
 - 5.2 $PM_{2,5}$ en de nieuwe normen 59
 - 5.3 Effecten van het gevoerde beleid en de gezondheid 61
- 6 Hoe nu verder? 63
 - 6.1 Belangrijkste acties en opstaande vragen 63
 - 6.2 Beschouwing fijnstofbeleid in een breder kader 65
 - 6.3 Beleidsagenda voor fijn stof 2010 - 2020 68
- Literatuur 69
- Bijlage Onzekerheden 73
 - Meetonzekerheden 73
 - Representativiteit en consistentie van de meetgegevens 74

Abstract

Policy research programme on particulate matter Main results and policy consequences

Chemical composition of particulate matter

- The total anthropogenic contribution to concentrations of particulate matter (PM_{10}) and to the finer fraction of particulate matter ($PM_{2.5}$) is higher – by 25 and 20 per cent, respectively – than was previously assumed on the basis of available data.
- Contributions to particulate matter from the conversion of the atmospheric compounds of sulphur dioxide, nitrogen oxides and ammonia, appear 50 per cent larger than were measured and calculated in the past.
- Contributions from natural sources, such as sea salt, appear smaller than according to earlier estimations. In higher PM_{10} concentrations, the contribution of sea salt is smaller.
- Contributions from Dutch sources to PM concentrations are larger than previously thought. When PM concentration levels reach beyond $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, there is an extra increase in the contribution of particulate matter from nitrogen oxides and ammonia.
- The relative share from wood-burning heaters and fireplaces to average PM_{10} concentrations is no more than a few per cent. During winter months, however, this share can increase up to 30 per cent for PM_{10} and 40 per cent for $PM_{2.5}$ in locations with many wood burners.
- The above findings on the composition of particulate matter have no influence on the measured PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentration levels in total. It therefore does not change the current number of measured exceedances of the PM_{10} and $PM_{2.5}$ standards.

Trends in concentrations

- Between 1993 and 2007, PM_{10} concentrations have decreased by 24 to 32 per cent. This decrease is consistent with developments of the relevant anthropogenic – man made – emissions.
- In the Netherlands, all measured concentrations of anthropogenic components of particulate matter have decreased over the past 20 years. This decrease involved heavy metals, black smoke, and PM from sulphur dioxide, nitrogen oxides and ammonia, although the observed decreases did vary between components. The largest decreases occurred between 1990 and 2000.
- Between 1990 and 2007, concentration levels of black smoke decreased by 50 per cent in outer urban areas. Traffic-related combustion processes are likely to be the dominant source of this type of particulate matter. Within cities, however, the trend is not this clear.

Expected developments

- All European standards for $PM_{2.5}$ could probably be attained, according to projections of PM_{10} and $PM_{2.5}$ emissions based on present and proposed national and European emission policies. An uncertain factor related to this attainability, is the required average decrease in $PM_{2.5}$ concentrations within cities, between 2010 and 2020. This target level depends on the concentration levels in 2009, 2010 and 2011, and will therefore be known for certain in 2012. The target level is now expected to be around 15 per cent but could go up to 20 per cent. To attain a 20 per cent decrease, would probably require additional national and European policies.
- The proposed measures could have more effect than was initially projected. Between 2010 and 2020, the maximum additional decrease in PM_{10} concentrations is expected to be 50 per cent, some $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in stead of about $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Health effects

- Between 1993 and 2007, the average health benefit in the Netherlands, if measured according to exposure to PM_{10} , would have been roughly 30 per cent. Not all components of particulate matter are equally health relevant. If the health effects were to be measured according to exposure to PM from combustion processes, a component of particulate matter which is considered particularly health relevant, the health benefit might even have been larger.
- PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations are less suited on a local scale for monitoring the effect of emission reduction measures which are considered health relevant. Currently, research is being done to determine if black smoke or elementary carbon could be used as an additional indicator of particulate matter from combustion processes.

Policy consequences

- The most effective way of meeting the standards for particulate matter would be to decrease emissions of nitrogen oxides and ammonia, in the Netherlands and in Europe.
- It would be advisable to revise the regulation by which sea salt is subtracted in cases of limit value exceedances of PM_{10} , as the sea salt contribution is less than was previously assumed.
- The larger anthropogenic contribution to PM concentrations means, basically, that there is a larger potential for policy measures to decrease concentration levels of particulate matter. Whether this will be the case is a question which will be addressed in a follow up of the policy research programme on PM.

Bevindingen



Resultaten op hoofdlijnen en beleidsconsequenties

Samenvatting

Chemische samenstelling van fijn stof

- De totale bijdrage door menselijk handelen aan fijnstofconcentraties (PM_{10}) en van de fijnere fractie hiervan ($PM_{2,5}$) blijkt groter te zijn dan waar tot nu toe op basis van de beschikbare kennis van was uitgegaan: 25 procent meer voor PM_{10} en 20 procent voor $PM_{2,5}$.
- Atmosferische omzettingen van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak dragen 50 procent meer bij aan de fijnstofconcentraties dan tot nu toe werd gemeten en berekend.
- Natuurlijke bronnen, waaronder zeezout, dragen minder bij dan volgens eerdere schattingen. Bij verhoogde PM_{10} -concentraties is de bijdrage van zeezout geringer.
- Nederlandse bronnen dragen meer bij aan de fijnstofconcentraties dan gedacht. Bij fijnstofconcentraties boven 30 microgram per kubieke meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) is de bijdrage van fijn stof uit stikstofoxiden en ammoniak extra hoog.
- Houtverbranding in kachels en open haarden dragen hooguit enkele procenten bij aan de gemiddelde PM_{10} -concentratie. Dit kan echter oplopen tot 30 procent voor PM_{10} en 40 procent voor $PM_{2,5}$ in de wintermaanden op locaties waar veel hout wordt gestookt.
- Bovenstaande bevindingen over de samenstelling van fijn stof hebben geen invloed op de hoogte van de gemeten totale PM_{10} en $PM_{2,5}$ concentraties. Het verandert dus niets aan het huidige aantal gemeten overschrijdingen van de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -normen.

Trends in concentraties

- De PM_{10} -concentraties zijn tussen 1993 en 2007 met 24 tot 32 procent gedaald. Deze daling is in lijn met de ontwikkelingen van de relevante antropogene - door menselijk handelen veroorzaakte - emissies.
- Alle gemeten concentraties van antropogene bestanddelen van fijn stof zijn in de afgelopen 20 jaar in Nederland gedaald. Het gaat om zware metalen, zwarte rook en fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak. De mate waarin versilde 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 procent. Wegverkeer is waarschijnlijk de belangrijkste bron van dit type fijn stof uit verbrandingsprocessen. In steden zijn de zwarterooktrends echter niet zo eenduidig.

Verwachte ontwikkelingen

- Projecties voor de emissies van PM_{10} en $PM_{2,5}$ leren dat alle Europese normen voor $PM_{2,5}$ waarschijnlijk haalbaar zijn op basis van het huidige en het voorgenomen nationale en Europese emissiebeleid. Een onzekere factor hierbij is het percentage waarmee de gemiddelde $PM_{2,5}$ concentratie in steden moet afnemen tussen 2010 en 2020. De hoogte van deze doelstelling is afhankelijk van de concentraties in 2009, 2010 en 2011 en zal daarom niet eerder dan 2012 met zekerheid bekend zijn. Nu wordt een doelstelling van 15 procent verwacht, maar deze kan 20 procent worden. Om een afname van 20 procent te realiseren is waarschijnlijk additioneel nationaal en Europees beleid nodig.
- Voorzienne maatregelen zullen mogelijk meer effect sorteren dan met de huidige projecties aanvankelijk was becijferd. De verwachte PM_{10} concentratiedaling tussen 2010 en 2020 zal maximaal met ongeveer 50 procent extra dalen, ongeveer $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in plaats van circa $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gezondheidseffecten

- De gemiddelde gezondheidswinst is grofweg 30 procent geweest in Nederland tussen 1993 en 2007 als deze aan de blootstelling aan PM_{10} zou worden afgemeten. Niet alle bestanddelen van fijn stof zijn even relevant voor de gezondheid. Als het gezondheidseffect wordt afgemeten aan de blootstelling aan fijn stof uit verbrandingsprocessen, een bestanddeel van fijn stof dat juist als gezondheidsrelevant geldt, dan is de gezondheidswinst mogelijk nog groter geweest.
- PM_{10} - of $PM_{2,5}$ -concentraties zijn minder geschikt om op lokale schaal het effect te volgen van maatregelen op emissies die vanuit gezondheidsoogpunt als relevant gelden. Uit nader onderzoek moet blijken of zwarte rook of elementair koolstof kunnen dienen als een aanvullende indicator voor het fijn stof uit verbrandingsprocessen.

Beleidsconsequenties

- Vermindering van de emissies van stikstofoxiden en ammoniak in Nederland en Europa is het effectiefste middel om te voldoen aan de normen voor fijn stof.
- Herziening van de regeling voor de aftrek van zeezout bij overschrijding van de grenswaarden van PM_{10} is gewenst. Want de bijdrage van zeezout aan de fijnstofconcentraties is minder dan tot nu toe werd aangenomen.
- De grotere antropogene bijdrage aan de fijnstofconcentraties betekent in principe dat beleidsmaatregelen om de concentraties van fijn stof te verlagen effectiever kunnen zijn. De vraag in welke mate dit het geval is zal worden behandeld in een vervolg op het beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof.

Inleiding

Verhoogde concentraties van fijn stof in de lucht worden geassocieerd met nadelige gezondheidseffecten en vormen de belangrijkste oorzaak van de ziektelast in Nederland en Europa die met milieu te maken heeft. Om deze gezondheidseffecten tegen te gaan zijn op Europees niveau onder andere normen vastgesteld voor de concentratie van fijn stof (PM_{10}) en de fijnere fractie van fijn stof ($PM_{2,5}$). Het gaat om maximaal toegestane concentraties, waaraan vanaf 2011 (voor PM_{10}) en vanaf 2015 (voor $PM_{2,5}$) moet worden voldaan.

De aandacht voor fijn stof is vooral in Nederland groot, omdat grenswaarden voor PM_{10} op grote schaal werden overschreden. Een complicatie hierbij was dat de mogelijkheden van Nederland beperkt leken om die overschrijdingen terug te dringen. Het niet op tijd voldoen aan de Europese regelgeving bleek bovendien grote economische gevolgen te hebben, aangezien door toetsing aan luchtkwaliteitsnormen vele ruimtelijke ordeningsprojecten kwamen stil te liggen of werden vertraagd. In aanvulling op Europees beleid is in Nederland generiek nationaal beleid ontwikkeld om tijdig en overal in Nederland te voldoen aan deze normen. Verder worden locatiespecifieke maatregelen getroffen, gericht op het opheffen van de fijnstofknelpunten.

Door de wetenschappelijke onzekerheden op fijnstofgebied is het tot nu toe niet altijd eenvoudig om doeltreffend en doelmatig beleid te formuleren. Het gaat hierbij onder andere om antwoorden op vragen als: hoe varieert de natuurlijke en antropogene bijdrage aan fijn stof in ruimte en tijd? Hoeveel dragen de verschillende bronnen bij (en aan welke fracties)? Wat zijn de aangrijpingspunten voor het beleid om de concentraties van fijn stof te verminderen?

Daarnaast bestaan over de trend in de fijnstofconcentraties veel vragen, ook elders in Europa. Begrip van de trend is echter een voorwaarde om de effectiviteit van het beleid te kunnen beoordelen. Het ministerie van VROM heeft daarop van 2007 tot 2009 een beleidsgericht en wetenschappelijk onderzoeksprogramma gefinancierd, dat antwoorden op deze vragen zou moeten geven.

Onderzoeksdoelstellingen en werkwijze

Het Beleidsgericht Onderzoeksprogramma Particulate Matter (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 van fijn stof.
- 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.

Het onderzoek heeft zich vooral gericht op situaties waarin grenswaarden worden overschreden. Overschrijdingen van de Europese grenswaarden voor PM_{10} vinden ook

tegenwoordig nog plaats in het stedelijke gebied of in de buurt van snelwegen en locaties met een hoge lokale emissie. De samenstelling van fijn stof en de bijdragen van verschillende antropogene en natuurlijke bronnen zijn vooral in situaties waarin grenswaarden worden overschreden nog onvoldoende bekend. Ook is de kennis over ruimtelijke verschillen in fijnstofconcentraties beperkt. Het gaat hierbij om de ruimtelijke variabiliteit van fijn stof in het stedelijke gebied, maar ook om verschillen tussen stedelijke en landelijke gebieden.

BOP is uitgevoerd door een samenwerkingsverband van Nederlandse onderzoeksinstituten: 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.

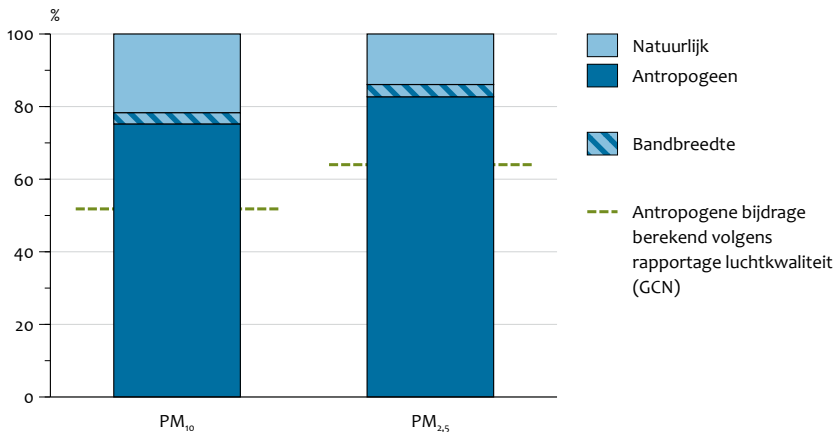
Daarnaast hebben de Milieudienst Rijnmond (DCMR), de gemeente Breda, de GGD Amsterdam en Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR) bijgedragen aan het onderzoeksprogramma door metingen, meetfaciliteiten en/of onderzoekscapaciteit beschikbaar te stellen.

BOP is in 2009 afgerond en heeft veel nieuwe informatie opgeleverd. De resultaten zijn vastgelegd in een aparte publicatiereeks van 15 rapporten. Een deel van deze rapporten gaat over de samenstelling en bronnen van fijn stof, met expliciet aandacht voor samenstellende bestanddelen als zeezout, bodemstof, secundair anorganisch aerosol, elementair koolstof (EC) en organisch koolstof (OC). Andere BOP-rapporten behandelen onderwerpen als fijnstofconcentraties in het stedelijke gebied, trends in de fijnstofconcentraties, fijnstofemissies door scheepvaart, EC- en OC-emissies door het verkeer, fijnstofemissie door houtverbranding en de haalbaarheid van de nieuwe normen voor $PM_{2,5}$. Technische details van het onderzoeksprogramma zijn vastgelegd in twee achtergronddocumenten: een over metingen en een over modelontwikkelingen.

Al tijdens de uitvoering van het onderzoeksprogramma zijn resultaten uit het BOP-onderzoek gebruikt om het luchtbeleid op nationaal en Europees niveau te ondersteunen. Zo heeft de verkennende studie rond fijnere fractie van fijn stof ($PM_{2,5}$) (Matthijsen & ten Brink 2007) een belangrijke ondersteunende rol kunnen spelen bij de vaststelling van de Europese normen van $PM_{2,5}$. Ook zijn resultaten uit het BOP-onderzoek toegepast bij het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) en bij de toekomstverkenningen rond fijn stof (Matthijsen et al. 2009; Velders et al. 2009; PBL 2009a).

Leeswijzer

Het eerste deel van deze studie, de Bevindingen, presenteert de belangrijkste uitkomsten van het onderzoek. Hierbij komen achtereenvolgens aan de orde: de (chemische) samenstelling van fijn stof, trends in concentraties, verwachte ontwikkelingen, gezondheidseffecten, beleidsconsequenties en hoe nu verder te gaan met het dossier fijn stof. In het tweede deel van de studie, de Verdieping, staat de verantwoording en worden de achterliggende analyses uitgewerkt.



Op basis van de geregistreerde bronnen wordt circa 50 procent van het PM₁₀ en 65 procent van het PM_{2,5} als antropogeen becijferd. Uit de BOP-meetgegevens blijkt echter dat de antropogene bijdrage aan zowel PM₁₀ als PM_{2,5} aanzienlijk groter is.

Chemische samenstelling van fijn stof

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. Fijn stof (PM₁₀) bestaat gemiddeld voor 75-80 procent uit antropogene bestanddelen; voor de fijnere fractie van fijn stof (PM_{2,5}) is dit 85-90 procent (zie figuur 1, figuur 2). Op zwaar belaste locaties, zoals binnenstedelijke wegen, is het antropogene aandeel in PM₁₀ nog groter dan 80 procent. Figuur 1 geeft de verdeling tussen de antropogene en natuurlijke bijdragen aan PM₁₀ en PM_{2,5} 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 fijn stof. Figuur 2 geeft de gemiddelde samenstelling van PM₁₀ en PM_{2,5}. Antropogene bestanddelen waarvan de bijdrage aan fijn stof tot nu toe worden onderschat, zijn het in de lucht gevormde fijn stof uit vluchtige organische stoffen, zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak en de antropogene bodemstofbijdrage aan fijn stof.

Belang secundair anorganisch aerosol groter

De grootste bijstelling van het antropogene aandeel komt voor rekening van het fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak. Dat aandeel bleek ongeveer de helft groter dan tot nu toe werd gemeten en berekend. Dit resultaat strookt overigens 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.

Mogelijk groter potentieel aan beleidsmaatregelen door nieuwe inzichten

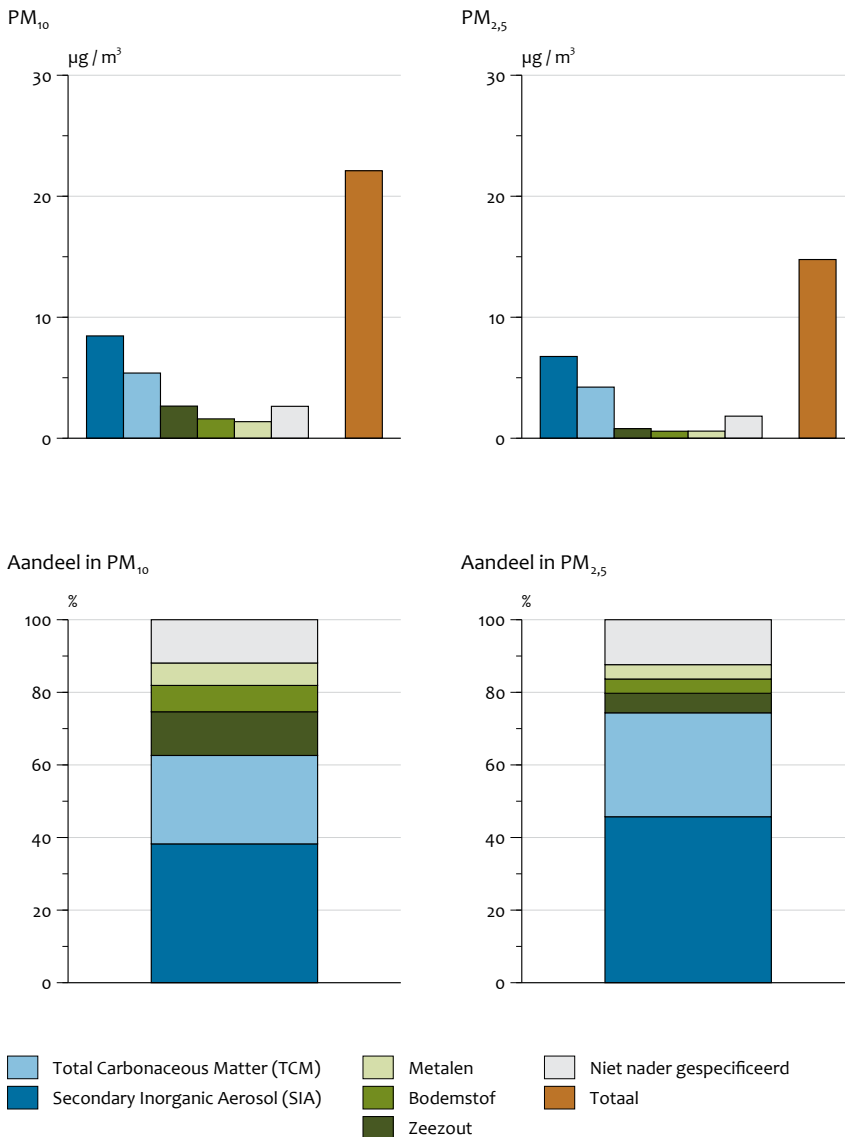
Deze bevindingen over de samenstelling van fijn stof hebben geen effect op de hoogte van de fijnstofconcentratie zoals die wordt gemeten. Een groter antropogeen aandeel betekent echter wel dat de overheid in principe een groter potentieel heeft om de PM₁₀- en PM_{2,5}-concentraties

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 gericht op de vermindering van de emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak, effectiever zijn om fijnstofconcentraties te verminderen dan de huidige projecties aangeven. Het maximale effect zal zijn dat de verwachte PM₁₀ concentratiedaling tussen 2010 en 2020 met ongeveer 50 procent toeneemt.

Nog onzekerheden over bodemstof en koolstofhoudend fijn stof

Een deel van het als antropogeen bestempelde fijn stof bestaat uit stof dat door opwerveling langs wegen en door landbouwactiviteiten in de lucht komt. Deze bron van fijn stof is erg onzeker en maakt geen onderdeel uit van de Emissie Registratie. 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 tot 75 procent 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 uitmaken van de Emissie Registratie 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.



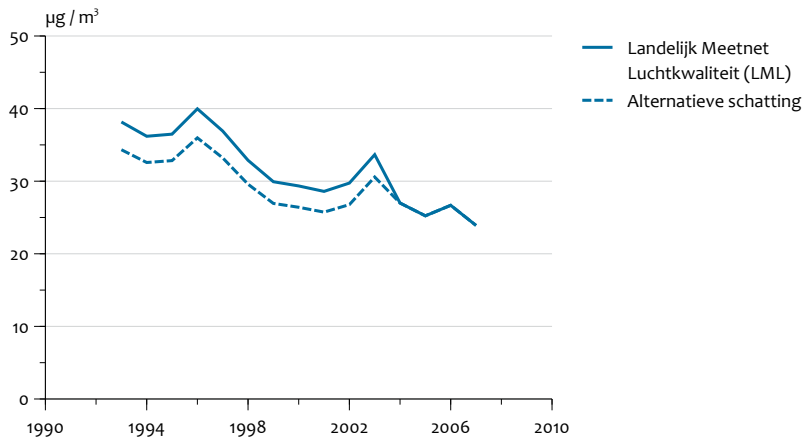
Secundair anorganisch aerosol en koolstofhoudend fijn stof leveren de grootste bijdrage aan zowel PM_{10} als $\text{PM}_{2.5}$.

Bijdrage zeezout aanmerkelijk minder

Zeezoutaerosol is van natuurlijke oorsprong en levert in Nederland een gemiddelde bijdrage van 12 procent aan de PM_{10} -concentraties en van 5 procent aan de $\text{PM}_{2.5}$ -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 $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Rotterdam, niet ver van de kust, tot $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Vredepeel, meer landinwaarts. Voor daggemiddelde concentraties zijn maxima gemeten van $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Rotterdam en van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Vredepeel. De bijdrage van zeezout aan $\text{PM}_{2.5}$ bleek gemiddeld een derde te zijn van de bijdrage aan PM_{10} . Op dagen met verhoogde fijnstofconcentraties is de bijdrage van zeezout juist lager dan gemiddeld (minder dan $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), omdat de wind in dergelijke situaties meestal afluiddig 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.



De PM₁₀-concentraties zijn tussen 1993 en 2007 gemiddeld met 0,7 tot 1,0 µg/m³ per jaar gedaald. Dit betekent een afname met 24 tot 32 procent sinds het begin van de metingen.

Herziening regeling zeezoutaftrek

Nederland maakt gebruik van de mogelijkheid tot aftrek van de bijdrage van zeezout conform de Regeling Beoordeling Luchtqualiteit 2007. Het BOP-onderzoek geeft aan dat de meetregeling voor de aftrek van zeezout bij overschrijding van de grenswaarden van PM₁₀ een te hoge zeezoutaftrek geeft. Vanuit het gezondheidsperspectief is herziening van deze regeling wenselijk. Als er geen zeezoutaftrek meer zou zijn, wordt de meest kritische grenswaarde voor fijn stof, de grenswaarde voor daggemiddelde fijnstofconcentraties iets aangescherpt. Het is nog onduidelijk in hoeverre een minder grote zeezoutaftrek gevolgen zal hebben voor het aantal knelpunten in het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtqualiteit, waar de grenswaarde voor daggemiddelde fijnstofconcentraties wordt overschreden.

Trend in concentraties

Dalende concentraties

De PM₁₀-concentraties zijn tussen 1993 en 2007 gemiddeld met 0,7 tot 1,0 µg/m³ 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 koolstofstofhoudend 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/m³. 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 rekening wordt gehouden met de weersinvloeden op de fijnstofconcentraties.

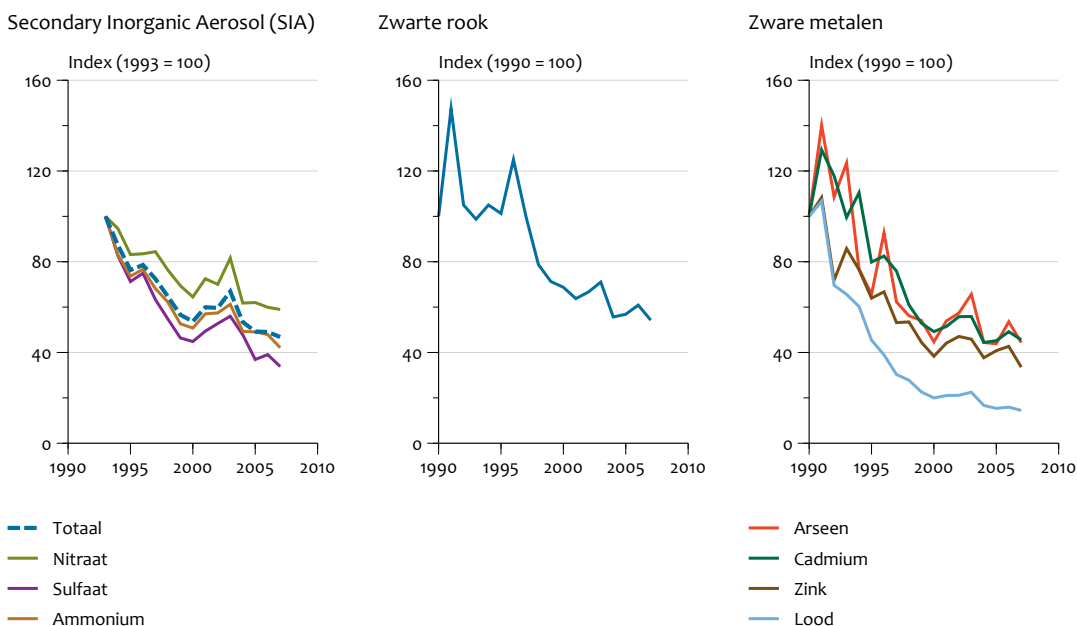
In Nederland zijn in de afgelopen 20 jaar de gemeten concentraties van alle antropogene bestanddelen van fijn stof gedaald (figuur 4). Het gaat om fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak en om zwarte rook en zware metalen. De mate waarin verschilde echter wel per bestanddeel. De grootste dalingen vonden plaats tussen 1990 en 2000. De concentraties van zwarte rook namen tussen 1990 en 2007 in buitenstedelijke gebieden af met 50 procent. 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 echter 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 PM₁₀ en PM_{2,5} ontoereikende grootheden om gezondheidseffecten van beleidsmaatregelen te kunnen monitoren.

Fijn stof bestaat voor een belangrijk deel (gemiddeld 30-40 procent) uit fijn stof gevormd uit de gassen stikstofoxiden, ammoniak en zwaveldioxide. Op dagen met concentraties boven de 30 µg/m³ is dat aandeel nog groter (figuur 5). 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



In het buitenstedelijke gebied van Nederland zijn alle gemeten concentraties van antropogene fijnstofbestanddelen gemiddeld gedaald. De grootste daling vond plaats tussen 1990 en 2000.

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} (figuur 6). 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

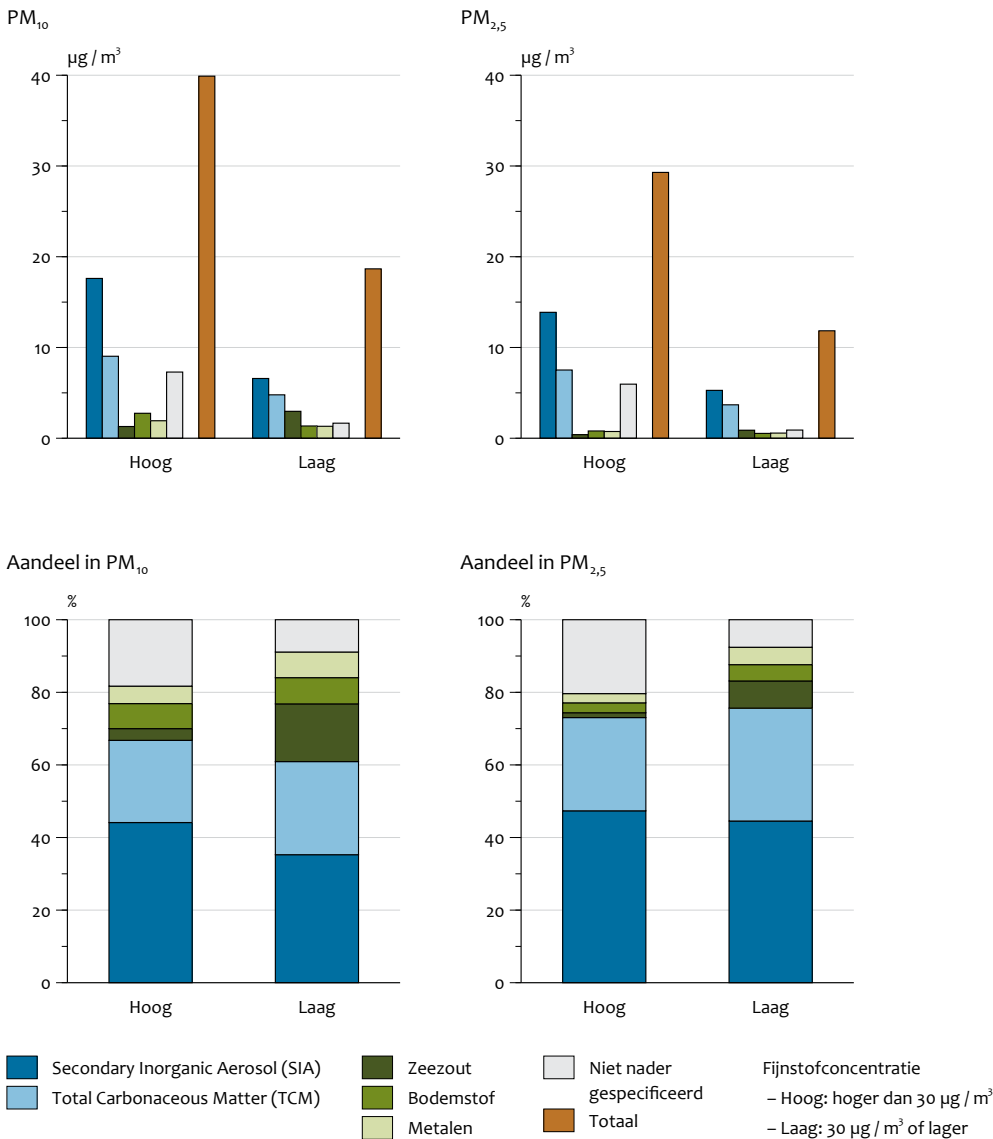
In 2007 is het RIVM begonnen met $PM_{2,5}$ -metingen volgens de Europese referentiemethode. Hieruit blijkt dat jaargemiddelde concentraties van $PM_{2,5}$ in Nederland vaak liggen tussen 16 en 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Gelijktijdige metingen van de samenstelling van PM_{10} en $PM_{2,5}$ tonen, zoals 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} .

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 voorgenoemde 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 procent te verminderen haalbaar met het voorgenoemde 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 procent lijkt waarschijnlijk, maar ook 20 procent 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 procent van de primaire antropogene emissies van fijn stof in Nederland. Het is echter onzeker hoeveel luchtverontreiniging wéérkelijk 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



Op dagen met concentraties boven de 30 µg/m³ is het relatieve aandeel groter van fijn stof dat is gevormd uit de gassen stikstofoxiden, ammoniak en zwaveldioxide.

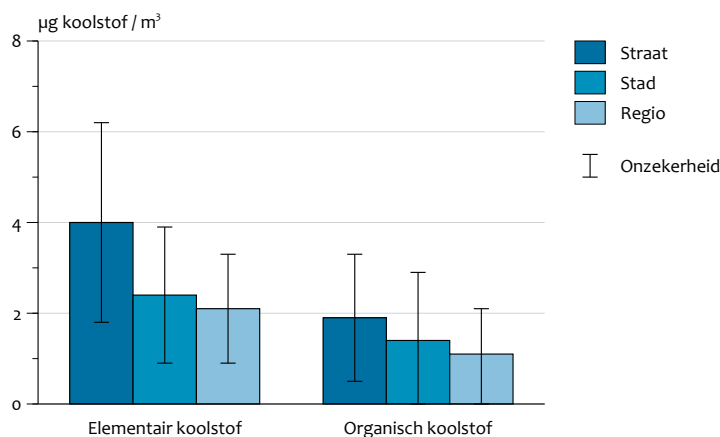
vindt plaats daar waar mensen wonen. Van verhoogde blootstelling aan fijn stof als gevolg van houtverbranding door particulieren kan daarom al snel sprake zijn en dat kan tot overlast leiden, vooral bij gevoelige groepen. Wat het verloop de komende 15 jaar zal zijn van de emissie door houtkachels is 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 µg/m³ aan de fijnstofconcentraties in het stedelijke gebied. Dit komt overeen met een bijdrage tot ongeveer een procent van PM₁₀. In de winter is dat hoger (0,2-0,4 µg/m³) en kan het, gemiddeld over een dag, incidenteel oplopen tot een aantal µg/m³. De concentratiebijdrage aan fijn stof door houtverbranding is seizoensgebonden. Tijdens de wintermaanden kwam de bijdrage van houtverbranding in Amsterdam ongeveer 8 maal hoger uit dan in de zomer

(figuur 7). In bosachtig gebied waar veel hout voorhanden is, zijn incidenteel nog hogere bijdragen door houtverbranding aan fijn stof gemeten tot wel 6 µg/m³ gemiddeld per maand. In die gevallen kan houtverbranding voor overschrijdingen van de grenswaarde voor daggemiddelde PM₁₀-concentraties (50 µg/m³) zorgen. In tegenstelling tot de lokale bijdrage aan de fijnstofconcentraties door stallen, op- en overslag en verkeer is de lokale bijdrage door houtverbranding veel minder grondig in kaart gebracht met modellen en metingen. Op basis van de metingen verdient het aanbeveling de verspreiding van de bijdrage door houtverbranding aan fijn stof in Nederland beter in kaart te brengen, bijvoorbeeld met modellen. Hiervoor is dan wel een verbeterde beschrijving nodig in ruimte en tijd van de emissies door houtverbranding.

Fijnstofbeleid in een breder kader

Het luchtbeleid voor de vermindering van fijnstofconcentraties in Nederland heeft ook effect op andere

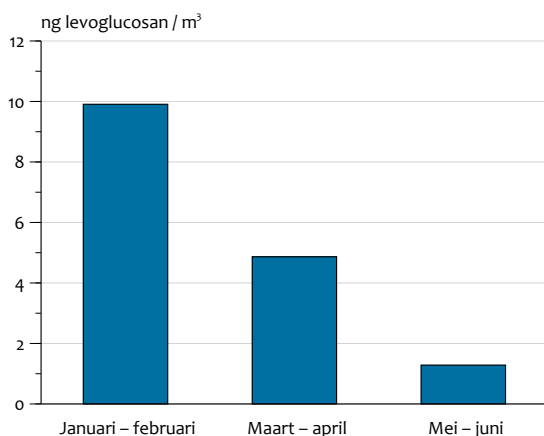


Er zijn forse verschillen in de bijdrage van elementair en organisch koolstof aan de fijnstofconcentraties afhankelijk van het type locatie.

Concentratie door houtverbranding, 2006

Figuur 7

Meetlocatie Amsterdam-Vondelpark



Levoglucosan is een goede indicator voor de bijdrage van houtstook aan de fijnstofconcentraties.

milieuthema's. Maatregelen die de emissies verminderen van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak zijn effectief om de grenswaarden voor PM₁₀ én voor PM_{2,5} te halen. Bovendien nemen de depositie van stikstof en zwavel op ecosystemen en andere kwetsbare gebieden af. Het beleid dat zich richt op emissievermindering van stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen is gunstig voor zowel de fijnstof- als de ozonconcentraties op leefniveau. Voor klimaatverandering – en in mindere mate ook voor ozon op leefniveau – zijn er voor- en nadelen. Zo heeft het beleid om de emissies van zwaveldioxide te verminderen geleid tot een daling van fijnstofconcentraties. Maar waarschijnlijk heeft dit beleid tegelijkertijd geleid tot een versterking van de opwarming van de aarde door een verminderde (in)directe koelende werking van fijn stof uit zwaveldioxide. Vermindering van zwarte deeltjes, zoals in de vorm van elementair koolstof, is daarentegen waarschijnlijk zowel goed voor het klimaat als de gezondheid.

Representativiteit van de meetgegevens

De meetcampagnes van het BOP-onderzoeksprogramma gaven een momentopname van de fijnstofsituatie tussen 2007-2008. Fijn stof heeft veel verschillende en variabele bronnen in binnen- en buitenland. De representativiteit van een meetcampagne om de fijnstofsituatie in Nederland te schetsen wordt daardoor beperkt door het aantal meetpunten en de meetfrequentie. In het BOP-onderzoek is op zes meetlocaties, waarvan drie regio-, een stads- en twee straatlocaties, de totale fijnstofconcentratie en de samenstelling ervan bepaald. De samenstelling en concentratie van fijn stof en de verschillen per locatietype kunnen daarom slechts als indicatief worden gezien voor de rest van Nederland tijdens de BOP-metperiode. De concentratieverschillen van PM₁₀ en PM_{2,5} tussen de stadslocatie en drie verschillende regiolocaties bleken gemiddeld klein; 0 tot 3 µg/m³ (PM₁₀) en 0 tot 1 µg/m³ (PM_{2,5}). Deze verschillen waren kleiner of van de zelfde grootte als de

concentratieverschillen tussen de drie regiolocaties onderling. Daarom was de gebruikte meetopzet ontoereikend om de bijdrage aan fijn stof door bronnen in de stad significant te kunnen bepalen. In het vervolgonderzoek zal de stadsbijdrage met speciaal daarop gerichte metingen worden onderzocht.

Consistentie van de meetgegevens

Om de consistentie van de BOP meetgegevens met andere gegevens over fijn stof te onderzoeken zijn de verschillende studies in het BOP-programma zoveel mogelijk uitgebreid met een Europese component. De meetresultaten zijn in perspectief geplaatst van bestaande metingen in Nederland en de rest van Europa en van berekeningen met het LOTOS-EUROS model. Dit chemie-transportmodel beschrijft de luchtkwaliteit voor geheel Europa en wordt gebruikt om de keten van emissie tot concentratie en verwijdering te beschrijven. Daarnaast zijn de BOP meetgegevens met een statistische methode geanalyseerd om bronnen te kunnen identificeren. Deze onafhankelijke toetsing van de meetgegevens bleek de conclusies over de bronnen van fijn stof verder te onderbouwen.

Vergelijking met eerder onderzoek

In Nederland is in 1998-1999 een meetcampagne uitgevoerd, het zogenoemde bronstofonderzoek. Sindsdien is de kennis over verschillende gezondheidsaspecten van fijn stof en de bronbijdragen veranderd en verbeterd. Het bronstofonderzoek is te kenschetsen als de eerste grote verkenning van de bronnen van fijn stof in Nederland. De resultaten van het onderzoek zijn vooral om technische redenen niet een-op-een vergelijkbaar met die van het BOP-onderzoek. Zo waren er nog geen afspraken over referentiemethoden om PM_{10} en $PM_{2,5}$ te bemonsteren. In vergelijking met de bronstofresultaten is het aandeel natuurlijk volgens de schatting in BOP (ongeveer $5 \mu g/m^3$) zeker 40 procent lager.

Buitenlandse meetcampagnes in Nederlands perspectief

In België en Duitsland zijn ook meetcampagnes uitgevoerd om de samenstelling en bronnen van fijn stof te achterhalen. De recente campagne in Duitsland liep deels synchroon met de campagne in Nederland. Het onderzoek in België vond plaats in 2006-2007. Bij de conclusies op basis van de Nederlandse gegevens is zoveel mogelijk rekening gehouden met de resultaten van de genoemde campagnes. Opvallende verschillen zijn gevonden tussen de bodemstofbijdrage in België, Duitsland en Nederland. In België was de bijdrage van bodemstof aan de PM_{10} -concentraties gemiddeld ongeveer tweemaal zo hoog als die in Nederland. In Duitsland zijn de bodemstofconcentraties, hoewel licht hoger, wel redelijk goed vergelijkbaar met die in Nederland. Hiervoor is nog geen sluitende verklaring. Ook zijn er verschillen gevonden in de bijdragen door elementair koolstof en organisch koolstof aan de toename van fijnstofconcentraties in de stad ten opzichte van de regionale achtergrond.

Mogelijke vervolgstappen

Om de opgedane kennis bij de uitvoering van het luchtbeleid te kunnen toepassen is verdere uitwerking en onderzoek noodzakelijk. Tegelijkertijd zijn er nog grote vraagtekens

rond fijn stof op onderdelen. Verbetering van de kennis is noodzakelijk voor de beleidsagenda over fijn stof in de periode tot 2020 en mogelijk daarna. De beleidsagenda wordt gedreven door Europese regelgeving rond luchtkwaliteit en klimaatverandering.

De volgende aspecten zijn in de toekomst nog van belang:

- De nieuwe inzichten rond de grootte van antropogene bijdragen aan fijn stof (door menselijk handelen) hebben gevolgen voor diagnoses en projecties van fijn stof. Om deze gevolgen te kunnen kwantificeren zijn hierna beschreven stappen noodzakelijk. In de eerste plaats is er vervolgonderzoek nodig om te bepalen in hoeverre antropogene bronbijdragen, die – zoals bleek – nog niet of in onvoldoende mate zijn meegenomen in de berekeningen voor luchtkwaliteitsrapportages, wel daarin kunnen worden betrokken. In de tweede plaats zijn metingen nodig om te bepalen waardoor het fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak tot dusver is onderschat. Hiermee kan een trend in secundair anorganisch aerosol nauwkeuriger worden bepaald. Ten derde moeten modellen worden aangepast om de beschrijving van antropogene bijdragen aan fijn stof te verbeteren. Het gaat hierbij niet alleen om fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak, maar ook om het fijn stof uit vluchtige koolstof verbindingen en om bodemstof en water dat is gebonden aan antropogene fijnstofbestanddelen. Ten slotte moet de bijdrage worden herberekend van de verschillende economische sectoren uit binnen- en buitenland aan de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentratie. Deze bijdragen zijn vooral relevant als fijnstofconcentraties verhoogd zijn. Hierna is het bepalen van een optimale strategie mogelijk om de grote bijdrage van het fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak te verminderen op dagen met hoge PM_{10} -concentraties voor Nederland en de landen in de regio.
- Herziening van de regeling voor de aftrek van zeezout bij overschrijding van de grenswaarden van PM_{10} is gewenst. De bijdrage door zeezout aan PM_{10} -concentraties bleek gemiddeld lager dan op basis van eerdere inzichten.
- 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.

Lijst van BOP-rapporten

- Arkel, F.Th. van et al. (2010), *Measurements in the Netherlands Research Program on Particulate Matter BOP: a technical background document*, Report 500099009, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency (in voorbereiding).
- Brink, H. M. ten, E. P. Weijers, F. Th. Van Arkel & D. de Jonge (2009), *Carbon (EC/OC) concentrations as derived from routine PM measurements in the Netherlands*, Report 500099005, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Denier van der Gon, H., M & J. Hulskotte (2010), *Methodologies for estimating shipping emissions in the Netherlands*, Report 500099012, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Denier van der Gon, H., M. Jozwicka, E. Hendriks, M. Gondwe & M. Schaap (2010), *Mineral Dust as a Constituent of Particulate matter*, Report 500099003, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency (in voorbereiding).
- Hoogerbrugge, R., H. Denier van der Gon, M. van Zanten & J. Matthijsen (2010), *Trends in Particulate Matter*, PBL Report 500099014, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency (in voorbereiding).
- Keuken, M. P. & H.M. ten Brink (2009), *Traffic emissions of elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) and their contribution to PM_{2,5} and PM₁₀ urban background concentrations*, Report 500099011, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Manders, A.M.M., M. Schaap, M. Jozwicka, F. van Arkel, E.P. Weijers & J. Matthijsen (2009), *The contribution of sea salt to PM₁₀ and PM_{2,5} in the Netherlands*, Report 500099004, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Matthijsen, J. & H.M. ten Brink (2007), *PM_{2,5} in the Netherlands, Consequences of the new European air quality standards*, MNP-rapport 500099001, Milieu en Natuurplanbureau, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Matthijsen, J., B.A. Jimmink, F.A.A.M. de Leeuw & W.L.M. Smeets (2009), *Attainability of PM_{2,5} air quality standards, situation for the Netherlands in a European context*, Report 500099015, Bilthoven, The Netherlands.
- Matthijsen, J. & P.J.H. Bultjes (2010), *Workshop measurements and modelling of PM_{2,5} in Europe*, Report 500099017, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Schaap, M., A.M.M. Manders, E.C.J. Hendriks, J.M. Cnossen, A.J.S. Segers, H.A.C. Denier van der Gon, M. Jozwicka, F.J. Sauter, G.J.M. Velders, J. Matthijsen & P.J.H. Bultjes (2009), *Regional modelling of particulate matter for the Netherlands*, Report 500099008, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Schaap, M., E. P. Weijers, D. Mooibroek & L. Nguyen (2010), *Composition and origin of Particulate Matter in the Netherlands, Results of the Dutch Research Programme on Particulate Matter*, Report 500099007, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency (in voorbereiding).
- Voogt, M.H., M.P. Keuken, E.P. Weijers & A. Kraai (2009), *Spatial variability of urban background PM₁₀ and PM_{2,5} concentrations*, Report 500099010, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Weijers, E.P., E. Sahan, H.M. ten Brink, M. Schaap, J. Matthijsen, R.P. Otjes & F. van Arkel (2010), *Contribution of secondary inorganic aerosols to PM₁₀ and PM_{2,5} in the Netherlands; measurement and modelling results*, Report 500099006, Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.

Verdieping



Inleiding



Het beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof (BOP) is een nationaal programma over PM_{10} en $PM_{2,5}$, gefinancierd door het ministerie van VROM. Het programma 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. Daarnaast hebben de Milieudienst Rijnmond (DCMR), gemeente Breda, GGD Amsterdam en Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR) bijgedragen aan het onderzoeksprogramma door metingen, meetfaciliteiten en/of onderzoekscapaciteit beschikbaar te stellen.

BOP is gericht op het verminderen van het aantal beleidsdilemma's, dat zich voordoet bij de handhaving van Europese normen voor fijn stof. De onzekerheden over fijn stof bemoeilijken de ontwikkeling en uitvoering van passende beleidsmaatregelen, waarmee de overheid effecten van fijn stof op de volksgezondheid op een adequate manier te lijf kan gaan. Overigens voert BOP geen expliciet onderzoek uit naar onzekerheden over de gezondheidsaspecten van fijn stof zelf. De gezondheidsaspecten zijn echter wel belangrijk en de resultaten van BOP worden ook in dat perspectief geplaatst.

Het onderzoeksprogramma van 2007 tot en met 2009 is afgerond en heeft veel nieuwe informatie opgeleverd. De resultaten zijn in 15 rapporten vastgelegd als een aparte publicatieserie. Gaandeweg het onderzoeksprogramma zijn de resultaten al zoveel mogelijk ingebracht om het luchtbeleid op nationaal en Europees niveau te ondersteunen en in de praktijk vorm te geven. Zo heeft de verkennende studie rond $PM_{2,5}$ (Matthijssen & ten Brink 2007) een rol gespeeld bij het vaststellen van de Europese normen van $PM_{2,5}$. Ook zijn deelresultaten al zoveel mogelijk meegenomen bij het opstellen van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) en bij toekomstverkenningen rond fijn stof (Matthijssen et al. 2009; Velders et al. 2009; PBL 2009a).

Dit rapport geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten, het vat de beleidsrelevantie samen en benoemt de overgebleven onzekerheden en mogelijke vervolgstappen. Dit hoofdstuk schetst het hoe en waarom van de onderzoeksdoelen tegen de achtergrond van de ontwikkelingen rond fijn stof in de afgelopen circa 15 jaar.

Het doel van dit rapport is beleidsmakers en onderzoekers te informeren, zonder uitputtend in te gaan op de wetenschappelijke details die zijn voortgekomen uit het onderliggende onderzoek. We beperken ons in dit verband tot een aantal beleidsgerichte publicaties rond fijn stof voor Nederland. BOP bouwt hierop voort. Het gaat om:

- Het onderzoeksprogramma rond fijn stof ('Bronstof'), dat eind jaren negentig is uitgevoerd (Buringh & Opperhuizen 2002; Visser et al. 2001).
- 'Fijn stof nader bekeken', waarin de feiten rond fijn stof zijn vastgelegd (Buijsman et al. 2005). Het Milieu en Natuurplanbureau en het RIVM hebben deze publicatie rond de inwerkingtreding van de PM_{10} -grenswaarden gemaakt in antwoord op de nationale hectiek rond fijn stof.
- Nieuwe inzichten in de omvang van de fijnstofproblematiek (MNP 2006).

1.1 Ontwikkelingen rond fijn stof

De Europese regelgeving rond luchtverontreiniging en de implementatie ervan in Nederlandse wetgeving, zorgde in de afgelopen 15 jaar voor veel ontwikkelingen op het gebied van fijn stof. De aandacht voor fijn stof was vooral in Nederland groot omdat grenswaarden voor PM_{10} op grote schaal werden overschreden, terwijl de invloed van Nederland op die overschrijdingen beperkt leek. Het niet op tijd halen van de normen heeft bovendien grote economische consequenties door de toetsing van ruimtelijke ordeningsprojecten aan luchtkwaliteitsnormen. Maar dit beeld rond de haalbaarheid van PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -grenswaarden in Nederland is vooral de laatste vier jaar sterk gewijzigd door nieuwe inzichten. Hieronder volgt een overzicht van de ontwikkelingen rond fijn stof in Nederland op het gebied van: normen, metingen, modelberekeningen, onderzoek en gezondheidseffecten.

1.1.1 Normen voor PM_{10} en $PM_{2,5}$

In de jaren negentig is Europese regelgeving vastgesteld om de luchtkwaliteit in Europa te verbeteren (Kaderrichtlijn luchtkwaliteit: EU 1996). Om de mogelijke negatieve gezondheidseffecten van fijn stof te beperken, zijn in 1999 grens- en richtwaarden voor onder andere PM_{10} vastgesteld (1e dochterrichtlijn: EU 1999a). Op dat moment werd PM_{10} in Nederland al sinds 1992 routinematig gemeten door het RIVM in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Normen voor $PM_{2,5}$ volgden met de Luchtkwaliteitsrichtlijn in 2008 (EU 2008b). De tekstbox Overzicht normen voor PM_{10} en

Overzicht normen voor PM₁₀ en PM_{2,5}

Overzicht van de in Nederland geldende grens- en richtwaarden van PM₁₀ en PM_{2,5}. Grenswaarden zijn resultaatverplichtingen en richtwaarden zijn inspanningsverplichtingen. De juridische gevolgen voor Europese Lidstaten van het niet halen van richtwaarden zijn veel minder vergaand dan het niet halen van grenswaarden. Daarnaast heeft het niet halen van fijnstofgrenswaarden in Nederland economische gevolgen door het stilleggen van bouwplannen, als gevolg van de koppeling tussen ruimtelijke ordening en de luchtkwaliteit.

Welke nu geldende fijnstofnorm is het strengst?

Op basis van de huidige informatie is de norm voor daggemiddelde PM₁₀-concentraties nog steeds het strengst.

Als de indicatieve grenswaarde voor jaargemiddelde PM_{2,5}-concentraties van 20 µg/m³ van kracht zou worden in 2020, wordt deze mogelijk strenger.

Nederland mag later voldoen aan de PM₁₀ normen op basis van het NSL

Nederland heeft in juli 2008 een verzoek tot derogatie ingediend bij de Europese Commissie. De Europese Commissie heeft in april 2009 ingestemd met dit verzoek. Aan de grenswaarde voor PM₁₀ moet nu vanaf 11 juni 2011 worden voldaan. De basis voor het uitstel wordt gevormd door het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL).

Stof	Norm	Niveau	Status	Toepassingsgebied
PM ₁₀	Jaargemiddelde	40 µg/m ³	Grenswaarde geldig vanaf 2005 (2011 met derogatie)	Overal ^{a)}
	Daggemiddelde, overschrijding is toegestaan op niet meer dan 35 dagen per jaar	50 µg/m ³	Grenswaarde geldig vanaf 2005 (2011)	Overal ^{a)}
PM _{2,5}	Jaargemiddelde	25 µg/m ³	Grenswaarde geldig vanaf 2015	Overal ^{a)}
	Gemiddelde blootstellingsindex ^{b)}	20 µg/m ³	Grenswaarde geldig vanaf 2015	^{b)}
	Gemiddelde blootstellingsindex ^{b)}	15-20% vermindering ^{c)}	Richtwaarde te bereiken in 2020 ten opzichte van 2010	^{b)}
	Jaargemiddelde	25 µg/m ³	Richtwaarde geldig vanaf 2010	Overal ^{a)}
	Jaargemiddelde	20 µg/m ³	Indicatieve grenswaarde vanaf 2020 ^{d)}	Overal ^{a)}

^{a)} De luchtkwaliteitsrichtlijn van 2008 bevat grenswaarden voor zowel PM₁₀ als PM_{2,5}. De richtlijn stelt ook vast waar de normen moeten worden gehaald: overal in de publieke leefomgeving, behalve op plaatsen 'waartoe leden van het publiek gewoonlijk geen toegang hebben'.

^{b)} De gemiddelde blootstellingsindex (GBI) wordt gebaseerd op een gemiddelde van metingen op stedelijke achtergrondlocaties, en wordt bepaald als gemiddelde over drie jaar. De GBI voor 2010 wordt in Nederland bepaald over de jaren 2009-2011. De GBI voor andere jaren wordt bepaald als gemiddelde over de laatste 3 jaren. Dus de GBI voor 2015 wordt bepaald als gemiddelde over de jaren 2013-2015, en de GBI voor 2020 over de jaren 2018-2020.

^{c)} Blootstellingsverminderingdoelstelling (BVD). In 2013 wordt de luchtkwaliteitsrichtlijn herzien. Deze herziening beoogt onder andere om van de BVD-richtwaarde een grenswaarde te maken.

^{d)} Het niet halen van de indicatieve grenswaarde heeft nu geen juridische gevolgen. Bij de herziening van de richtlijn in 2013 wordt de indicatieve grenswaarde mogelijk omgezet in een richtwaarde of grenswaarde die wél verplichtingen met zich meebrengt voor de lidstaten.

PM_{2,5} geeft de huidige normen voor PM₁₀ en PM_{2,5} en benoemt de strengste norm en de mogelijkheid tot uitstel om aan luchtkwaliteitsnormen te voldoen (derogatie).

1.1.2 Metingen van PM₁₀ en PM_{2,5}

Metingen in combinatie met modelberekeningen bepalen in Nederland of grenswaarden voor PM₁₀ en PM_{2,5} worden overschreden. De referentiemethoden om PM₁₀ en PM_{2,5} te meten zijn vastgelegd in de Europese luchtkwaliteitsrichtlijn (EU 2008b). Routinematige metingen van PM_{2,5} in het LML worden volgens de referentiemethode uitgevoerd. Routinematige metingen van PM₁₀ in het LML worden uitgevoerd met automatische monitoren, in plaats van de referentiemethode. Dit is toegestaan omdat is aangetoond dat ze binnen de toegestane onzekerheidsmarge van 25 procent equivalent zijn met de referentiemethode. De automatische PM₁₀-metingen worden ook gebruikt om aan de informatieplicht voor de luchtkwaliteit te kunnen voldoen. Het publiek moet, ook vanwege de EU-richtlijn, namelijk tijdig

op de hoogte zijn als er sprake is van luchtverontreiniging. Met automatische monitoren worden fijnstofconcentraties op uurbasis gemeten, die vervolgens via internet en teletekst worden gepresenteerd.

Routinematige PM₁₀ metingen in Nederland zijn gestart in 1992 op tien meetlocaties. In 2005, op het moment dat de grenswaarden voor PM₁₀ van kracht werden, waren er voor PM₁₀ 39 meetlocaties. Ongeveer de helft hiervan bevond zich op regiolocaties in de landelijke omgeving voor het meten van grootschalige PM₁₀ achtergrondconcentraties. De overige meetlocaties bevonden zich in steden en straten.

Metingen van fijnstofconcentraties in Nederland hebben een onzekerheid van circa twintig procent (Beijk et al. 2007). Deze onzekerheid blijkt veelal groter dan metingen van andere luchtverontreinigende stoffen, zoals zwaveldioxide. Dit komt doordat de meetmethode moeilijker te controleren is ten opzichte van standaarden en door de samenstelling

Metingen PM₁₀ en PM_{2,5} in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit

In het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit wordt automatisch PM₁₀ en PM_{2,5} gemeten door de verzwakking te bepalen van bèta straling door stofdeeltjes op een filterband. Uit onderzoek is gebleken dat deze methode systematisch de gemeten stofconcentraties onderschat ten opzichte van de Europese referentiemethoden. Meetgegevens van automatische monitoren worden daarom gekalibreerd. De kalibratiefactor kan locatie- en monitortype afhankelijk zijn.

Chronologisch overzicht vanaf 1996 van Europese en nationale bepalingen en activiteiten gericht op het meten van PM₁₀ en PM_{2,5} en het verminderen van de onzekerheid in de metingen.

1996 In 1996 is door de Europese kaderrichtlijn luchtkwaliteit (EU 1996) een beschrijving gegeven van de regelgeving voor het verrichten van metingen van onder andere PM₁₀. In Nederland wordt dan al sinds 1992 PM₁₀ gemeten. De automatische PM₁₀-metingen zijn begin jaren negentig vergeleken met een voorloper van de meest recente referentiemethode voor PM₁₀. Hierbij bleek dat de automatische metingen de PM₁₀-concentraties systematisch onderschatten. Om hiervoor te corrigeren is een kalibratiefactor ingevoerd (zie bijvoorbeeld Putten et al. 2002).

1999 In 1999 is de zogenoemde 1e dochterrichtlijn (EU 1999a) vastgesteld met onder andere grenswaarden voor PM₁₀. Deze richtlijn geeft specifieke technische bepalingen voor het meten van PM₁₀. In 1999 is ook de meest recente referentiemethode voor het meten van PM₁₀ (EN: 12341 1999) vastgesteld.

2001 In 2001 heeft de Europese Commissie met een beschikking (EC 2001) bepaald dat fijnstofconcentraties moeten worden gerapporteerd zoals gemeten bij omgevingstemperatuur en -vochtigheid, in tegenstelling tot bijvoorbeeld andere luchtkwaliteitsindicatoren, waarvoor referentieomstandigheden gelden. Hiervoor waren er geen Europese bepalingen voor meetomstandigheden voor fijn stof. Deze beschikking leidde in Nederland netto tot een verhoging van gemeten jaargemiddelde PM₁₀ concentraties met circa 4 procent.

2003 Tussen 2003 en 2008 vond een verbeteringsslag plaats van het fijnstofmeetnet in Nederland. Automatische PM₁₀-monitoren werden vervangen door een nieuwer type en de meetbehuizingen in het LML werden aangepast. Door deze wijzigingen in het meetnet is equivalentie met de referentiemethode opnieuw bepaald.

2005 In 2005 is de referentiemethode voor het meten van PM_{2,5} vastgesteld (Europese Normen (EN): 14907 2005).

2007 In 2007 heeft het RIVM in samenspraak met Nederlandse beheerders van lokale meetnetten technische afspraken gemaakt, Nederlands Technische Afspraak (NTA: 8029 2008), om het aantal vrijheidsgraden te beperken van de Europese referentiemethode. Per maart 2008 zijn in het LML de

referentiemetingen van PM₁₀ en PM_{2,5} verricht op basis van deze afspraak. De concentraties blijken gemiddeld 1 tot 2 µg/m³ lager dan daarvoor. Dit verschil bestaat uit waterdamp, dat zich aan de stoffilters kan hechten en als fijn stof werd meegerekend.

2008 In 2008 is de herziene Europese richtlijn voor luchtkwaliteit (EU 2008b) vastgesteld met onder andere grenswaarden voor PM_{2,5}. Met deze richtlijn zijn specifieke technische bepalingen geïntroduceerd voor het meten van PM_{2,5} en de samenstelling ervan.

In Nederland zijn de automatische PM₁₀-metingen in het LML gelijkwaardig bevonden aan de referentiemethode conform de Europese richtlijn. Dit is aan de Europese Commissie gerapporteerd (Beijk et al. 2007, 2008). De zo bepaalde kalibratiefactor voor PM₁₀-metingen is in 2007 met terugwerkende kracht doorgevoerd in de gehele PM₁₀ meetreeks. In 2007 bestond het meetnet uit 20 'oude' monitoren (voornamelijk in stedelijke gebieden) en 20 monitoren van een nieuwer type (voornamelijk op regiolocaties). In de periode van 2007 tot 2008 zijn de 20 'oude' monitoren vervangen door het nieuwe type.

Aanscherping monitoring fijn stof en consequenties voor het beleid

In 2006 heeft de bijstelling van de kalibratiefactor voor regiolocaties tot nieuwe inzichten geleid in de omvang van de PM-problematiek (MNP 2006). Jaargemiddelde PM₁₀-concentraties zijn toen met 3-5 µg/m³ naar beneden bijgesteld voor alle typen meetlocaties, als gevolg van bovenstaande wijzigingen. In 2006 is dit gebeurd voor regiolocaties en in 2007 voor stads- en straatlocaties. De wijzigingen zijn met terugwerkende kracht doorgevoerd in de gehele meetreeks. Hierdoor veranderde het beeld rond PM₁₀ en overschrijdingen van de Europese grenswaarden in Nederland drastisch. Tot ongeveer 2005 werden grenswaarden op grote schaal overschreden in Nederland op basis van metingen en berekeningen. Na doorvoering van de technische verbeteringen in het meetnet en herijking bleek de mate waarin PM₁₀-grenswaarden werden overschreden veel minder groot. Er waren nog wel overschrijdingen in stedelijke gebieden, langs snelwegen, in de buurt van op- en overslag van droge bulkgoederen en bij grote agrarische eenheden. Deze fijnstofknelpunten konden echter met algemeen en lokaal beleid door Nederland in aanvulling op het vaststaande Europese luchtbeleid worden opgelost. Vóór de bijstelling waren zelfs draconische maatregelen in Nederland vaak onvoldoende om overal aan de PM₁₀ grenswaarden te kunnen voldoen. Hoewel de bijstelling binnen de onzekerheidsmarges van PM₁₀ lag, waren de bestuurlijke consequenties erg groot, omdat op veel locaties de PM₁₀ concentraties van net boven tot net onder de grenswaarde daalden. Bij de vaststelling van een overschrijding van een grenswaarde wordt namelijk geen rekening gehouden met in hoeverre die overschrijding statistisch significant is.

Modelberekeningen PM₁₀ en PM_{2,5}

Concentratiekaarten fijn stof en onzekerheid

De PM₁₀- en PM_{2,5}-concentratiekaarten worden gemaakt door verspreidingsberekeningen van bekende antropogene emissies (bronnen door menselijk handelen) te kalibreren met metingen van PM₁₀ dan wel PM_{2,5}. De methodiek om deze kaarten te maken is samengevat in Velders et al. (2009) en is in detail beschreven in Matthijsen & Visser (2006). Voor de gemodelleerde grootschalige PM₁₀-concentraties wordt als beste schatting van de onzekerheid in de gemodelleerde concentratie een waarde van 40 procent gebruikt. De onzekerheid voor projecties van PM₁₀ is van de zelfde grootte, als geen rekening wordt gehouden met de onzekerheden door jaarlijks verschillende weersomstandigheden en emissieprojecties. De onzekerheid in de berekende bijdragen van de verschillende economische sectoren aan de PM₁₀-concentratie is erg groot (groter dan 40 procent). De modelonzekerheid is voor een historisch jaar ongeveer twee maal groter dan die in de metingen. Als gevolg van kalibratie van de PM₁₀ metingen daalt de uiteindelijke onzekerheid in PM₁₀ concentratiekaarten echter weer tot circa 20 procent.

Welke antropogene bijdrage aan fijn stof wordt gemodelleerd?

De antropogene bijdrage aan fijn stof vindt plaats door directe emissie van deeltjes en door vorming in de atmosfeer van deeltjes door de emissie van de gassen zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak en vluchtige organische stoffen (VOS).

De bijdrage uit alle geregistreerde Europese bronnen aan fijn stof van al deze stoffen wordt gemodelleerd, behalve de vorming van deeltjes in de atmosfeer uit VOS. De gemodelleerde bijdrage aan PM₁₀ van de antropogene geregistreerde bronnen is tot dusver berekend op ongeveer de helft (12-14 µg/m³) van de gemeten PM₁₀ concentratie op regiolocaties. De bijdrage door VOS emissies aan de PM₁₀ concentratie is hierbij niet meegenomen, omdat de modelmatige beschrijving hiervan nog erg onzeker is en het aantal metingen ter verificatie te beperkt zijn. De huidige bijdrage door antropogene VOS emissies aan de PM₁₀ concentratie in Nederland wordt geschat op grofweg 1 µg/m³.

Het 'niet gemodelleerde deel'

Het relatief grote verschil tussen de gemeten en berekende fijnstofconcentratie, het 'niet-gemodelleerde deel' is in het verleden in kaart gebracht (Visser et al. 2001). Buijsman et al. (2005), Matthijsen & Visser (2006) geven aan waaruit het 'niet-gemodelleerde deel' waarschijnlijk bestaat. Naast de natuurlijke bijdragen aan fijn stof, zoals zeezout, bevat het niet-gemodelleerde deel impliciet systematische afwijkingen in

de metingen en modelresultaten. De totale fijnstofconcentratie in de concentratiekaarten is vrij ongevoelig voor systematische afwijkingen in de modelresultaten, zoals de niet of mogelijk verkeerd gemodelleerde bijdragen van antropogene bronnen. Dit komt doordat de afwijkingen grotendeels worden gecompenseerd door de kalibratie van metingen. De systematische afwijkingen werken echter wel door in de grootte van de berekende bijdragen per economische sector en in de projecties van PM₁₀. Systematische afwijkingen in de metingen van fijn stof werken ook direct door in de concentratiekaarten. Voor fijnstofprojecties is het noodzakelijk een schatting te maken van het niet-gemodelleerde deel in toekomstige jaren. Hiervoor wordt het gemiddelde van de niet gemodelleerde delen uit het verleden gebruikt. De methodiek voor de bepaling van het niet gemodelleerde deel is in detail beschreven in Matthijsen & Visser (2006) en Velders et al. (2009).

Wijzigingen en aanpassingen modellering PM₁₀ en PM_{2,5}

Jaarlijks vinden aanpassingen en wijzigingen plaats bij de productie van grootschalige concentratiekaarten voor PM₁₀ en PM_{2,5} (GCN). De veranderingen ten opzichte van de kaarten uit de eerdere rapportages worden vastgelegd in de GCN-publicaties. Het gaat hierbij om:

- De ruimtelijke verdeling van de emissie is voor het merendeel van de stoffen en sectoren ontleend aan de Nederlandse Emissie Registratie (ER 2010). Actualisaties die de ER uitvoert komen daardoor direct beschikbaar voor gebruik in de concentratiekaarten.
- Ook zijn verbeteringen doorgevoerd die niet aan de ER zijn ontleend. Zo zijn de ruimtelijke verdeling van PM₁₀-emissie uit landbouwstallen, de luchtvaartemissie en de emissie van PM₁₀ van op- en overslag van droge bulkgoederen in 2007 en 2008 bijgesteld.
- Voor de projecties worden de emissiegegevens aangepast al naar gelang de inzichten rond de effectiviteit van het huidige beleid en de projecties.
- Aanpassingen van invoergegevens als emissiekenmerken van bronnen en modelprocessen, zoals de beschrijving van ammoniakdepositie.
- Aanpassing van de modelresolutie. De huidige rekenresolutie is 1x1 km², tot 2007 was dit 5x5 km².

De gevolgen voor de fijnstofconcentraties van deze jaarlijkse aanpassingen en wijzigingen zijn over het algemeen beperkt tot minder dan 1 µg/m³. Grotere concentratieveranderingen waren het gevolg van aanpassingen van de rekenresolutie en wijzigingen van de bronsterkte van grote en/of lage bronnen. De toepassing van een hogere modelresolutie heeft lokaal tot veel hogere en lagere concentraties geleid.

van fijn stof. Fijn stof bestaat namelijk voor een belangrijk deel uit halfvluchtige verbindingen, die tijdens het meten kunnen vervluchtigen of juist condenseren. De maximale meetonzekerheid die de EU richtlijn toestaat is daarom met 25 procent ook relatief groot. Bij de trendanalyse van PM₁₀ (zie hoofdstuk 5) is rekening gehouden met deze meetonzekerheid. De tekstbox Metingen PM₁₀ en PM_{2,5} in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit geeft een overzicht van de

belangrijkste momenten waarop Europese regelgeving is vastgesteld die bepalend is voor het meten van fijn stof en de momenten waarop vernieuwingen zijn doorgevoerd in het LML om de PM₁₀ concentraties nauwkeuriger te kunnen vaststellen. Daarnaast is aangegeven wat de consequenties voor het beleid waren van deze technische aanscherpingen van de fijnstofmonitoring in het LML.

Verbrandingsaerosol

Verbrandingsaerosol zijn deeltjes die vrijkomen bij verbrandingsprocessen. Verkeer, houtverbranding en energieopwekking uit fossiele brandstoffen zijn typische bronnen van verbrandingsaerosol. De bronnen van verbrandingsaerosol in Nederland zijn vrijwel geheel antropogeen. De samenstelling van verbrandingsaerosol hangt samen met de bron en kan per bron verschillen. Verbrandingsaerosol bestaat over het algemeen voor het grootste deel uit koolstofhoudend fijn stof en voor een klein deel uit zware metalen zoals nikkel en vanadium. Nikkel en vanadium komen vooral vrij bij verbranding van olie (in de petrochemie en scheepvaart). Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) zijn koolstofverbindingen die onderdeel uitmaken van verbrandingsaerosol. De negatieve gezondheidseffecten hiervan zijn relatief goed bekend. De concentratie van koolstofhoudend fijn stof wordt uit oogpunt van bronherkenning meettechnisch gesplitst in elementair

koolstof (EC) en organisch koolstof (OC). De verhouding tussen het aandeel EC en OC verschilt per bron. Roet is een belangrijk deel van het verbrandingsaerosol en bestaat uit een mengsel van elementair en organisch koolstof. Om verbrandingsaerosol te kunnen monitoren worden, naast EC en OC, meetgrootheden gebruikt als zwarte rook (black smoke) en black carbon. De concentratie van black smoke en black carbon wordt gemeten met eenvoudige optische methoden. De gemeten parameters zijn echter onvoldoende precies gedefinieerd, waardoor ze niet direct te vergelijken zijn met de gemeten of berekende concentratiebijdrage door verkeer. Metingen van EC en OC zijn dat wel, maar de meetmethoden zijn nog omslachtig en de gemeten concentraties onzeker. Europese afspraken zijn in voorbereiding over een standaardisering van de meetmethode voor EC en OC. Keuken & ten Brink (2010) geven een overzicht van de verschillende indicatoren om het gezondheidsrelevant geachte verbrandingsaerosol te monitoren.

1.1.3 Modelberekeningen voor PM₁₀ en PM_{2,5} en onzekerheid

Modelberekeningen van fijn stof spelen een belangrijke rol bij het toetsen van de luchtkwaliteit aan de grenswaarden van PM₁₀ en PM_{2,5}. Het PBL levert in samenwerking met het RIVM sinds 2002 jaarlijks kaarten met grootschalige concentraties voor Nederland (GCN-kaarten) van diverse luchtverontreinigende stoffen. De kaarten worden gebruikt bij de rapportage van overschrijdingen van de EU luchtkwaliteitsrichtlijn, het definiëren van algemeen nationaal en lokaal beleid en bij plan-toetsing (zie bijvoorbeeld Velders et al. 2009).

De berekende PM₁₀-concentraties worden gekalibreerd aan de metingen van fijn stof. De onzekerheid in de concentratiekaarten voor PM₁₀ is daardoor gerelateerd aan de meetonzekerheid. De tekstbox Modelberekeningen PM₁₀ en PM_{2,5} geeft een overzicht van de belangrijkste onzekerheden in de PM₁₀- en PM_{2,5}-concentratiekaarten, en van de aanpassingen en wijzigingen van het modelinstrumentarium.

1.1.4 Fijn stof en gezondheid

Verhoogde concentraties van fijn stof in de lucht worden geassocieerd met nadelige gezondheidseffecten en vormen de belangrijkste oorzaak van de ziektelast in Nederland en Europa, die met milieu te maken heeft (Knol & Staatsen 2005; Holland et al. 2005). Fijn stof is een mengsel van veel verschillende chemische bestanddelen afkomstig van een scala aan antropogene en natuurlijke bronnen¹⁾. Epidemiologische studies laten zien dat zowel PM₁₀- als PM_{2,5}-concentratieniveaus verband houden met nadelige gezondheidseffecten (Pope & Dockery 2006). Voor PM_{2,5} zijn er veel minder gegevens dan voor PM₁₀. Ook zijn er studies die laten zien dat de verbanden met onderdelen van fijn stof sterker zijn dan voor fijn stof als geheel (Laden et al. 2000; Grahame & Schlesinger 2010). Het is nog onbekend welke stoffen of bronnen precies verantwoordelijk zijn voor de waargenomen gezondheidseffecten. Er is echter meer en meer bewijs voor de hypothese dat het verbrandingsaerosol, fijn stof dat vrijkomt bij verbrandingsprocessen, een groter gezondheidseffect heeft dan fijn stof dat bestaat

uit anorganische zouten zoals zeezout en de deeltjes die gevormd worden uit de gassen zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak (bijvoorbeeld Fischer et al. 2000). Andere bestanddelen zoals bodemstof worden ook geassocieerd met nadelige gezondheidseffecten (Brunekreef & Forsberg 2005; Perez et al. 2008). In water oplosbare metalen staan algemeen te boek als potentieel schadelijk voor de gezondheid. Gezondheidseffecten blijken echter nogal te verschillen per element. Ook speelt de chemische vorm waarin het metaal verkeert een rol. Vooral transitielementen als koper zouden in ionvorm een schadelijke werking hebben (Costa & Dreher 1997).

Verder is er een heel scala aan gezondheidseffecten geassocieerd aan fijn stof en de bestanddelen ervan, waarbij elk bestanddeel een specifieke relatie lijkt te hebben met een specifiek gezondheidseffect (Gerlof-Nijland et al. 2009; Steerenberg et al. 2006).

Gezondheidseffecten die optreden bij kortdurende blootstelling aan fijn stof zijn beter bekend dan die bij chronische blootstelling. De gezondheidseffecten door chronische blootstelling aan fijn stof (op een tijdschaal van vele jaren) zijn moeilijk te bepalen en onzeker. Als Amerikaanse studies geldig worden verklaard voor Europa dan is de schatting dat langdurende blootstelling aan fijn stof leidt tot een levensduurverkorting van een jaar, in vergelijking tot een leven lang zonder fijn stof.

De acute effecten treden op door blootstelling aan fijn stof gedurende een tot enkele dagen. Gezondheidskundige studies, die dit type effecten belichten, wijzen uit dat in Nederland jaarlijks enige duizenden mensen een kortere geschatte levensduur hebben. Deze levensverkorting is vermoedelijk beperkt: enkele dagen tot maanden. Fijn stof heeft effect op onder andere hart- en longfuncties. Zo wordt een tot twee procent van de spoedopnamen voor long- of hart- en vaataandoeningen in Nederland toegeschreven aan blootstelling aan fijn stof. Ook kan fijn stof allergieën

verergeren. Dergelijke resultaten zijn niet alleen in Nederland, maar overal op de wereld gevonden en ze zijn vrij robuust. Daarnaast lijkt verhoogde blootstelling aan fijn stof ook gekoppeld te zijn aan een minder goede longontwikkeling bij kinderen.

Uit bevolkingsonderzoek lijkt geen veilige grenswaarde te kunnen worden afgeleid. Dit betekent dat, hoewel de luchtkwaliteit verbetert met elke concentratievermindering, er naar verwachting geen grote gezondheidswinst zal zijn bij een geringe daling van de fijnstofconcentratie van net boven een grenswaarde naar net eronder. Daarom is het voor de gezondheid goed om te streven naar nog schonere lucht. Dit wordt uitgedrukt door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) die een langetermijnstreefwaarde voor jaar-gemiddelde $PM_{2,5}$ concentraties aanbeveelt van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO 2005).

Kennis over de mogelijke oorzaken van de waargenomen gezondheidseffecten van fijn stof neemt nog steeds toe. Volgens de huidige inzichten is de concentratie van PM_{10} of $PM_{2,5}$ niet de beste maat voor de waargenomen gezondheidseffecten. Andere indicatoren zouden meer relevant zijn voor de gezondheid, zoals ultrafijne deeltjes (deeltjes kleiner dan een tiende micron), het aantal deeltjes, maar ook specifieke bestanddelen van fijn stof, zoals roet. Verder zijn andere luchtkwaliteitsfactoren belangrijk, zoals de historie en het samengaan van effecten die bijvoorbeeld optreden als iemand gelijktijdig aan ozon en fijn stof wordt blootgesteld. De focus op de gezondheidsrelevante onderdelen van fijn stof wordt steeds scherper. Dit continue proces vraagt echter van beleidsmakers en bestuurders een flexibiliteit die niet of moeilijk te rijmen valt met de bestaande regels rond fijn stof. Want de manier waarop de bestaande normen worden gehaald, heeft effect op de gezondheid. De normen voor PM_{10} en $PM_{2,5}$ steunen impliciet op het uitgangspunt dat alle bestanddelen even schadelijk zijn. Het huidige en voorgenoemde EU beleid is nog steeds gestoeld op PM_{10} en $PM_{2,5}$ als de indicatoren voor de geassocieerde gezondheidseffecten. Om beleidsmaatregelen voor de gezondheidsrelevante fractie beter te kunnen monitoren, zijn aanvullende indicatoren in ontwikkeling.

1.2 Onderzoeksdoelstellingen en werkwijze

Het Beleidsgericht Onderzoeksprogramma Particulate Matter (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 van fijn stof.
- 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.

Het onderzoek heeft zich vooral gericht op situaties waarin grenswaarden worden overschreden. Overschrijdingen van de Europese grenswaarden voor PM_{10} vinden ook tegenwoordig nog plaats in het stedelijke gebied of in de buurt van snelwegen en locaties met een hoge lokale emissie. De samenstelling van fijn stof en de bijdragen van verschillende antropogene en natuurlijke bronnen zijn nog slecht bekend vooral in situaties waar grenswaarden worden overschreden. Ook is de kennis over ruimtelijke verschillen in fijnstofconcentraties beperkt. Het gaat hierbij om de ruimtelijke variabiliteit van fijn stof in het stedelijke gebied, maar ook om verschillen tussen stedelijke en landelijke gebieden.

De resultaten van het BOP-onderzoeksprogramma zijn gepubliceerd in een speciale serie (ISSN 1875-2314) met een 15-tal BOP-rapporten. Een deel van de rapporten uit deze serie gaat over de samenstelling en de bronnen van fijn stof, samenvattend maar ook apart voor de onderdelen: zeezout, bodemstof, secundair anorganisch aerosol en elementair en organisch koolstof (EC/OC). Andere BOP-rapporten gaan over meer specifieke onderwerpen: fijnstofconcentraties in het stedelijke gebied, trends in fijn stof, fijnstofemissies door scheepvaart, EC/OC-verkeersemissies, fijn stof door houtverbranding en de haalbaarheid van de nieuwe normen voor $PM_{2,5}$. Technische details van het onderzoeksprogramma zijn vastgelegd in twee achtergronddocumenten: een over metingen en een over modelontwikkelingen. Achter in dit rapport staat een overzicht van de rapporten en andere publicaties en workshops als resultaat van het BOP-onderzoeksprogramma.

In de volgende hoofdstukken worden de belangrijkste resultaten uit de genoemde rapporten in samenhang beschreven waarbij de relevantie voor het beleid wordt aangegeven. Dit rapport geeft daarmee een herziening en/of bevestiging van de kennis over fijn stof in Nederland ten opzichte van de eerdere rapportages zoals 'Fijn stof nader bekeken'.

Hoofdstuk 2 behandelt de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties, de samenstelling en de bronnen van fijn stof. In hoofdstuk 3 komt het gedrag van fijn stof in het stedelijke gebied aan bod. Hoofdstuk 4 geeft aan wat de implicaties zijn voor het beleid. Hoofdstuk 5 integreert de resultaten van de BOP studies over de trends in fijn stof en bestanddelen. Het brengt de effecten van het beleid in het verleden en de toekomst op de PM_{10} en $PM_{2,5}$ -concentraties in beeld. In hoofdstuk 6 komen de onbeantwoorde en nieuwe vragen naar voren en zijn de vervolgstappen geformuleerd, waarbij is aangegeven welke prioriteit ze hebben voor de beleidsuitvoering rond fijn stof.

Noot

¹⁾ Met het onderscheid tussen natuurlijke en antropogene oorsprong wordt nadrukkelijk niet bedoeld dat natuurlijk fijn stof geen negatieve effecten op de gezondheid kan hebben.

Samenstelling en bronnen fijn stof

- In Nederland bestonden PM_{10} en $PM_{2,5}$ in de periode 2007–2008 voor grofweg drie kwart uit zwavel-, stikstof- en koolstofverbindingen. Het overige deel bestond uit zeezout, metalen en bodemstof, en een deel 'niet nader gespecificeerd', mogelijk water.
- Uit de metingen bleek dat de bijdrage van de atmosferische omzettingsproducten van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak aan de fijnstofconcentraties 50 procent meer is dan tot nu toe werd gemeten en berekend.
- PM_{10} concentraties hoger dan $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bleken voor een belangrijk deel het gevolg van een toename van de fijnstofbijdrage uit vooral stikstofoxiden en ammoniak. Bij deze verhoogde PM_{10} -concentraties was er ook een opvallende toename van het relatieve aandeel dat met de metingen chemisch niet nader gespecificeerd kon worden. Het aandeel zeezout was in die gevallen gemiddeld drie keer zo klein als bij lage PM_{10} -concentraties.
- Gemiddeld namen de absolute bijdragen van de verschillende fijnstofbestanddelen niet significant toe gaande van de regionale achtergrondlocaties naar de stad. Van de stad naar de straat was er wel een duidelijke toename per bestanddeel. Zeezout had als natuurlijk bestanddeel een ruimtelijke patroon onafhankelijk van het type meetlocatie.

2.1 Gegevensbasis

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 (zie figuur 2.1). Daarnaast zijn specifieke bronnen in detail onderzocht met gerichte, kortere meetcampagnes en modelstudies om de kennis rond bronnen, processen en de trend van fijn stof te verdiepen. Hierbij is de uitstoot of bijdrage van een aantal antropogene, verbrandingsgerelateerde bronnen onder de loep genomen: houtverbranding, verkeer en scheepvaart. Technische details rond de meetgegevens zijn uitgewerkt in een apart rapport (van Arkel et al. in voorbereiding). De onzekerheden in de concentraties van de verschillende fijnstofbestanddelen, behandeld in de bijlage, zijn verdisconteerd in de conclusies.

Naast metingen is de samenstelling modelmatig onderzocht. Hiertoe zijn modellen verder ontwikkeld en getest om de samenhang tussen concentratie en de verschillende bronnen van fijn stof te onderzoeken. Technische details rond de modelontwikkeling zijn uitgewerkt in Schaap et al. (2009).

2.1.1 Metingen

Wat is er gemeten?

De bijdrage van de meeste bronnen van fijn stof kon worden bepaald op basis van daggemiddelde metingen van de volgende fijnstofbestanddelen van PM_{10} en $PM_{2,5}$: sulfaat, nitraat, ammonium, elementair koolstof (EC) en organische koolstofverbindingen (OC), silicium en dertig (andere) metalen.

Naast daggemiddelde metingen zijn er ook uurgemiddelde metingen gedaan van sulfaat, nitraat en ammonium, en natrium en chloride, met meetapparaten die speciaal geschikt zijn voor dit soort samenstellingsmetingen met een hoge tijdsresolutie (MARGA, monitoring aerosol and gases; ECN 2006). Voor het onderzoek naar de bijdrage van elementair- en organisch koolstof door wegverkeer is ook gebruik gemaakt van deze apparatuur; speciaal ingericht voor het meten van koolstof. De meetopzet voor dit onderzoek is uitgewerkt in Keuken & ten Brink (2009).

De verschillen in ruimte en tijd van fijnstofconcentraties in de stad zijn in beeld gebracht met metingen op elf vaste locaties en aanvullende mobiele metingen. Specificatie van



BOP-meetlocaties en overzicht standaard meetlocaties uit het Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit (RIVM) en van de lokale meetnetten van Rotterdam (DCMR) en Amsterdam (GGD Amsterdam).

de meetlocaties die voor dit onderzoek zijn ingericht in het Rijnmondgebied wordt gegeven in Voogt et al. (2009). De hoofdconclusies van dit onderzoek komen in hoofdstuk 3 aan bod.

Om de bijdrage van houtverbranding aan fijn stof te schatten is de stof 'levoglucosan' gemeten. Deze stof is een indicator voor verbranding van plantenvezels en hout (zie hoofdstuk 3).

Wanneer en waar is gemeten?

Daggemiddelde concentraties van PM_{10} en $PM_{2,5}$ zijn gemeten in de periode augustus 2007 tot en met augustus 2008 op plekken die zijn uitgekozen om hun verschillende belasting van fijn stof (zie figuur 2.1). Drie regiolocaties, in Hellendoorn, Cabauw en Vredepeel, gaven een beeld van de regionale achtergrondconcentraties. De drie regiolocaties zijn zo verspreid dat ruimtelijk verschillen in de regionale achtergrondconcentraties binnen Nederland konden worden gemeten. Metingen op een stadslocatie in Schiedam brachten stadsachtergrondconcentraties voor het stedelijke gebied bij Rotterdam in kaart. De straatlocaties in Rotterdam en Breda zijn gekozen om fijnstofconcentraties te meten met een relatief hoge bijdrage door verkeer. Bij ongeveer een kwart van de metingen (gemiddeld eens per vier dagen) is de samenstelling bepaald van de PM_{10} -en $PM_{2,5}$ -monsters voor de zes locaties. Voor het onderzoek van specifieke episodes zijn extra monsters geanalyseerd.

De resultaten in paragraaf 2.2 zijn gebaseerd op samenstellingsmetingen van 5 van de 6 meetlocaties. De metingen op de straatlocatie in Breda waren voor die analyse te beperkt, omdat daar alleen PM_{10} en de samenstelling ervan was gemeten en niet $PM_{2,5}$. De resultaten voor PM_{10} gemeten in Breda worden in Schaap et al. (2010) in perspectief geplaatst van de resultaten voor de straatlocatie in Rotterdam.

Voor uurgemiddelde metingen zijn drie MARGA instrumenten ingezet in de periode 2007-2008 op de locaties in Cabauw gedurende 1 jaar (augustus-juli), Schiedam (augustus-februari) en een locatie direct aan de kust, Hoek van Holland (september-oktober). Deze snelle metingen gaven extra zicht op de hoogte en variabiliteit in ruimte en tijd van de bijdragen door sulfaat, nitraat, ammonium en zeezout aan fijn stof.

De indicator voor houtverbranding, levoglucosan, is gemeten op twee locaties: een meetlocatie Vondelpark in Amsterdam en een meetlocatie in Schoorl, Noord-Holland. De gemeten concentraties in Amsterdam zijn indicatief voor een gemiddelde bijdrage door houtverbranding in een stedelijk gebied. De concentraties in Schoorl zijn indicatief voor een situatie met relatief veel fijn stof door houtverbranding. Schoorl ligt in een gebied waar veel hout voorhanden is en waar ook relatief veel particulier hout verbranden. De metingen in Amsterdam liepen van januari tot en met juni 2006, zodat zowel een koude als een warme periode is bemonsterd. In Schoorl is gemeten in de maand februari 2009.

Modellen in BOP

In het kader van het Beleidsgericht Onderzoeksprogramma Particulate Matter spelen onderstaande modellen een rol. De hoogte van de fijnstofconcentraties en -bestanddelen die zijn berekend met modellen is vaak erg onzeker (zie ook tekstbox Modelberekeningen PM_{10} en $PM_{2,5}$ in paragraaf 1.1). De onzekerheden voor de BOP-modelstudies staan beschreven in Schaap et al. (2009).

LOTOS-EUROS model

Het LOTOS-EUROS model (Schaap et al. 2008) is een chemie transportmodel voor het gehele Europese domein. In Nederland wordt het LOTOS-EUROS model gebruikt voor onderzoek en beleidsondersteuning (bijvoorbeeld Denier van der Gon & Schaap 2009). Het LOTOS-EUROS model is in BOP het centrale onderzoeksmodel. Het is gevalideerd met metingen en verder ontwikkeld door de toevoeging van verbeterde en nieuwe routines voor het berekenen van de bijdragen van zeezout, bodemstof en biogene secundaire organische aerosol aan fijnstof. Daarnaast is een koppeling tot stand gebracht met het mondiale chemietransportmodel TM5. De koppeling maakt dat effecten van mondiale emissieveranderingen op Europese luchtkwaliteit kunnen worden berekend. Resultaten van het LOTOS-EUROS-model zijn vergeleken met die van het OPS-model en het EMEP-model voor primair $PM_{2,5}$ en het fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak (Schaap et al. 2009). De modelmatige beschrijving van de bijdrage door zeezout aan fijn stof door LOTOS-EUROS is vergeleken met die door het OPS-model (Manders et al. 2009).

OPS-model

Met dit model (Van Jaarsveld 2004) maakt het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) in samenwerking met het RIVM jaarlijks grootschalige concentratiekaarten voor diverse luchtverontreinigende stoffen waarvoor Europese luchtkwaliteitsnormen bestaan. Deze kaarten worden gebruikt bij de rapportage van overschrijdingen van de EU luchtkwaliteitsrichtlijn, het definiëren van algemeen nationaal en lokaal beleid en bij plantoetsing (zie bijvoorbeeld Velders et al. 2009). De resultaten van het OPS model worden daarom gebruikt als uitgangspunt bij de evaluatie van haalbaarheid van de normen voor PM_{10} en $PM_{2,5}$ (Matthijsen et al. 2009) en de interpretatie van fijnstoffrends tussen 1993 en 2007 (Hoogerbrugge et al. 2010). Het OPS-model geeft een hogere resolutie $1 \times 1 \text{ km}^2$ dan het EMEP- en het LOTOS-EUROS-model. De resultaten van het OPS-model zijn beperkt tot de luchtkwaliteit in Nederland.

Metingen uit Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML)

Het onderzoek binnen het BOP-programma maakte gebruik van de standaard meetgegevens uit het LML (RIVM 2010). De meest relevante zijn de routinematige metingen van deeltjesfracties: PM_{10} , $PM_{2,5}$, zwarte rook, zware metalen, sulfaat, nitraat, ammonium, natrium en chloride. De locaties waar deze metingen zijn verricht staan aangegeven in figuur 2.1. Daarnaast zijn routinematige metingen uit het LML van de zogenoemde fijnstofprecursors relevant, zoals van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak.

TM5-model

Het TM5-model (Krol et al. 2005) is een chemie transportmodel en bestrijkt de gehele wereld en de gehele troposfeer (onderste circa 16 kilometer van de atmosfeer). Het model heeft een resolutie van 6×4 lengte- en breedtegraden en kan lokaal inzoomen tot 1×1 graden. Het TM5-model wordt voor gebruikt voor atmosferisch-chemisch onderzoek onder andere in relatie tot klimaatverandering. Recente toepassingen van het TM5-model zijn de multi-modelstudies: een mondiale studie rond stikstofoxiden (Sanderson et al. 2008), en een mondiale studie rond ozon op leefniveau (Fiore et al. 2009). Mondiale fijnstofconcentratievelden berekend met het TM5-model zijn als onderdeel van het BOP-programma geschikt gemaakt als randvoorwaarden voor het LOTOS-EUROS-model.

EMEP-model

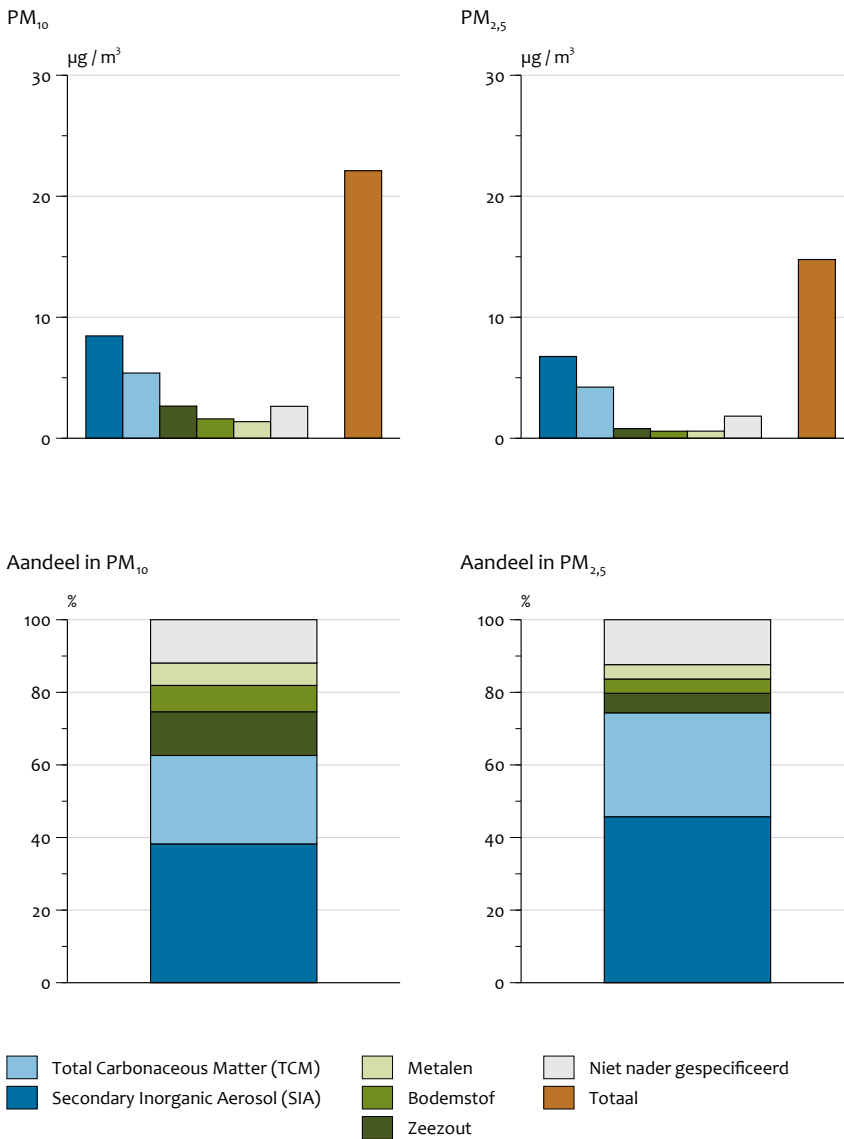
Het 'unified EMEP model' (EMEP 2003) is een chemietransportmodel voor het Europese domein. De resultaten van het EMEP-model worden als input voor het integrated assessment-model GAINS gebruikt voor Europese beleidsontwikkeling rond luchtkwaliteit en klimaat. Per EU lidstaat worden jaarlijkse luchtkwaliteitsoverzichten gemaakt op basis van EMEP-modelberekeningen voor geheel Europa (EMEP 2009a, 2009b, 2009c). Het EMEP-model speelt zo een belangrijke rol in de beleidsvoorbereiding voor de Europese Unie. PM_{10} en $PM_{2,5}$ vormen een deel van de modelresultaten op een resolutie van $50 \times 50 \text{ km}^2$. Uit de modelvergelijking met het LOTOS-EUROS- en OPS-model komen grote onderlinge verschillen naar voren tussen bijdragen uit Nederland en Duitsland aan fijn stof door stikstofoxiden en ammoniak.

RAINS/GAINS-modellen

De RAINS/GAINS modellen (RAINS/GAINS 2007) zijn zogenoemde integrated assessment-modellen, waarmee luchtkwaliteit en klimaatforcering (GAINS) inclusief kosten van maatregelen voor heel Europa worden berekend (Wagner et al. 2006, 2007). De modellen genereren geïntegreerde evaluaties van emissies over de hele keten van bron tot effect en omgekeerd, en ook voor scenario's. Voor gebruik in Nederland is een RAINS/GAINS-versie ontwikkeld die focust op Nederland (Aben et al. 2005). Resultaten van GAINS-NL zijn gebruikt bij de verkenning van de haalbaarheid van de $PM_{2,5}$ -normen (Matthijsen et al. 2009).

2.1.2 Modellen

Voor fijnstofbeleid is het noodzakelijk om de relatie te kwantificeren tussen emissies, atmosferische omstandigheden en de concentraties van luchtverontreinigende stoffen. Voor dit doel wordt in Nederland een aantal modellen gebruikt. In het BOP-onderzoeksprogramma is het LOTOS-EUROS-model verder ontwikkeld en gebruikt, evenals het OPS-model. LOTOS-EUROS berekent de luchtkwaliteit op Europese schaal terwijl OPS gericht is op Nederland. De modelontwikkeling heeft zich geconcentreerd op de



Gemiddelde samenstelling van PM₁₀ en PM_{2,5} (in µg/m³ en procent) 2007-2008

beschrijving van de bijdrage aan fijn stof door natuurlijke bronnen, omdat de kennis daarover nog zeer beperkt was. Schaap et al. (2009) geven een overzicht van de modelontwikkelingen en beschrijft modelresultaten in perspectief van metingen en andere modelresultaten. In BOP zijn nog drie andere modellen gebruikt: het EMEP-model, GAINS-NL en het TM5-model (zie tekstbox Modellen in BOP). Modelresultaten hebben een belangrijke rol gespeeld bij de interpretatie van de meetgegevens en de analyses van de PM₁₀ trend en projecties van PM_{2,5} (zie hoofdstuk 5). Modelberekeningen van fijnstofconcentraties zijn om verschillende redenen moeilijk te verifiëren met meetgegevens. Schaap et al. (2009) geven ook aan wat de onzekerheid is in de modelberekeningen van de in BOP ontwikkelde modules.

2.2 Samenstelling en bronnen

Metingen binnen het BOP-onderzoeksprogramma aan de chemische samenstelling van PM₁₀ en PM_{2,5} in Nederland hebben deels geleid tot herziening van de fijnstofsamenstelling, maar ook tot bevestiging van eerdere bevindingen, zoals vastgelegd in Buijsman et al. (2005) en Visser et al. (2001).

Gemiddeld kon circa 90 procent van de fijnstofmassa worden verklaard aan de hand van de gemeten deelcomponenten. Fijn stof bestaat uit de bestanddelen: secundair anorganisch aerosol (*secondary inorganic aerosol*: SIA), koolstofhoudend fijn stof (*total carbonaceous matter*: TCM), bodemstof, metalen en zeezout. Het overige deel, circa 10 procent, kon volgens de metingen niet toegekend worden aan de genoemde bestanddelen en staat daarom hier te boek als 'niet nader gespecificeerd'. In dit hoofdstuk worden de volgende vragen beantwoord:

	PM ₁₀		PM _{2,5}	
	µg/m ³	%	µg/m ³	%
Secondary Inorganic Aerosol (SIA)	8,4	38%	6,7	45%
Total Carbonaceous Matter (TCM)	5,5	25%	4,3	29%
Zeezout	2,7	12%	0,8	5%
Bodemstof	1,6	7%	0,6	4%
Metalen	1,4	6%	0,6	4%
'Niet nader gespecificeerd'	2,6	12%	1,7	12%
Totaal	22,1	100%	14,7	100%

De concentratiebijdragen en relatieve aandelen zijn gemiddelden voor 5 BOP-meetlocaties: regiolocaties Hellendoorn, Cabauw en Vredepeel, stadslocatie Schiedam en straatlocatie Rotterdam.

- Wat is de samenstelling van fijn stof?
- Wat is de samenstelling bij hoge en lage fijnstofconcentraties?
- Hoe verschilt de samenstelling van fijn stof per locatie; regio, stad en straat?

2.2.1 Wat is de samenstelling van PM₁₀ en PM_{2,5}?

De samenstelling van PM₁₀ en die van PM_{2,5} lijken sterk op elkaar. De verschillen zijn weergegeven in tabel 2.2. De aandelen secundair anorganisch aerosol en de totale hoeveelheid aan koolstofhoudend fijn stof zijn dominant. Samen droegen ze ongeveer twee derde bij aan PM₁₀ en circa 80 procent aan PM_{2,5}. Van de twee was het secundair anorganisch aerosol (SIA) het grootste bestanddeel van PM₁₀ (38 procent) en PM_{2,5} (44 procent). Totaal koolstofmateriaal (TCM) droeg 25 procent bij aan PM₁₀ en 29 procent aan PM_{2,5}. PM₁₀ bevatte relatief meer bodemstof (7 procent), metalen (6 procent) en zeezout (12 procent) dan PM_{2,5}: bodemstof (4 procent), metalen (4 procent) en zeezout (5 procent).

Het grove deel fijn stof, deeltjes met een diameter van 2,5 tot 10 micrometer, bleek zoals verwacht rijk aan deeltjes, die door mechanische processen in de lucht terechtkomen. Toch bleek nog ongeveer een derde van de concentratie van bodemstof, metalen en zeezout aanwezig in de fijne fractie (PM_{2,5}). De bijdragen varieerden tussen de meetlocaties en tussen dagen met hoge dan wel lage fijnstofconcentraties. De verschillen zijn het gevolg van de nabijheid van bronnen van fijn stof in combinatie met het weer: langs welke fijnstofbrongebieden is de lucht gestroomd voordat deze werd bemonsterd en wat waren de weersomstandigheden die een rol spelen bij de verdunning, vorming en verwijdering van fijn stof? Hieronder worden de resultaten verder belicht met het oogmerk om de bijdrage van verschillende bronnen van fijn stof te kunnen duiden.

2.2.2 Secundair anorganisch aerosol (SIA)

Bronnen

Secundair anorganisch aerosol betreft hoofdzakelijk ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat. Deze secundaire bestanddelen zijn vrijwel geheel van antropogene oorsprong (veroorzaakt door menselijk handelen). Naar schatting tussen 1 en 6 procent is van natuurlijke oorsprong en gemiddeld rond de 10 procent komt van buiten Europa. Ammoniumsulfaat

en ammoniumnitraat worden in de atmosfeer gevormd uit de gassen zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak. De belangrijkste bronnen van zwaveldioxide zijn industrie, energieproductie, raffinaderijen en zeescheepvaart. De belangrijkste bronnen van stikstofoxiden zijn de verbrandingsprocessen bij verkeer, industrie, energiesector, raffinaderijen en de zeescheepvaart. Een klein deel is van natuurlijke herkomst en komt vrij bij bacteriële processen, bliksem en natuurlijke branden, zoals bosbranden. Bij ammoniak vormt landbouw veruit de grootste bron met ongeveer 90 procent van de emissies.

Bijdragen

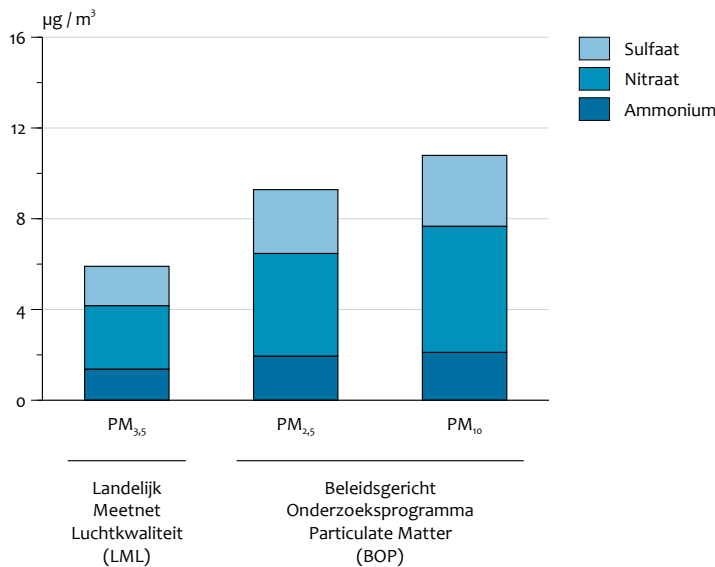
De bijdrage aan fijn stof uit de precursorgassen zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak was gemiddeld ongeveer 8,4 µg/m³ voor PM₁₀ en 6,7 µg/m³ voor PM_{2,5}. Voor beide fijnstoffracties was de SIA concentratie voor de helft opgebouwd uit nitraat, 20 procent uit ammonium en 30 procent uit sulfaat. Ammonium bevond zich vrijwel geheel (>95 procent) in PM_{2,5}, sulfaat voor ongeveer 90 procent en nitraat voor ongeveer 80 procent. Het grove deel van SIA was daarmee gemiddeld ongeveer 1,7 µg/m³.

Op dagen met PM₁₀-concentraties hoger dan 30 µg/m³ blijkt het relatieve aandeel door SIA aan de fijnstofconcentratie extra verhoogd te zijn (zie ook paragraaf 2.3).

Tussen 1993 en 2007 zijn de fijnstofconcentraties met ten minste 6 µg/m³ gedaald als gevolg van afnemende SIA-bijdrage aan PM₁₀ (Hoogerbrugge et al. 2010). Dit blijkt uit historische SIA-metingen uit het LML. SIA concentraties zijn sterk gedaald in de negentiger jaren als gevolg van emissiereducties, vooral van zwaveldioxide. Vanaf 2001 verliep de afname echter minder snel (zie ook paragraaf 5.1). Dit patroon komt in grote lijnen overeen met veranderingen in de Europese emissies van de precursorgassen (Weijers et al. 2010).

De SIA trend zoals tot dusver gemeten en gemodelleerd is mogelijk anders dan gedacht. Dat komt omdat de BOP metingen laten zien dat SIA concentraties in Nederland hoger zijn dan volgens de bestaande reguliere SIA meetreeks uit het LML. Deze waarneming heeft ook consequenties voor de OPS modelberekeningen van SIA concentraties in de berekeningen voor de grootschalig concentraties in Nederland (GCN). De berekeningen tot dusver zijn namelijk geverifieerd op basis

Meetlocatie Vredepeel



SIA-concentraties synchroon gemeten op de LML en BOP-meetlocatie Vredepeel in de periode 2007-2008 volgens de oude (LML) en nieuwe (BOP-) methode om de bijdrage van SIA op deeltjes te bepalen (Weijers et al. 2010).

van de bestaande SIA meetreeks met metingen sinds 1993. De modellen die worden gebruikt om effecten van maatregelen gericht op SIA te berekenen beschrijven mogelijk niet alle complexe vormingsprocessen nauwkeurig genoeg.

SIA-concentraties in Nederland 50 procent hoger dan eerder gedacht

Uit een vergelijking met de historische SIA metingen uit het Landelijk Meetnet Luchtqualiteit blijkt dat de BOP SIA-metingen ongeveer 50 procent hoger waren dan de reguliere LML metingen die startten in 1993. De hogere SIA concentraties uit BOP geven zeer waarschijnlijk een beter beeld van de SIA bijdrage aan PM₁₀ dan de SIA concentraties uit het LML. Deze conclusie wordt verder onderbouwd door SIA-niveaus in België en Duitsland die vergelijkbaar zijn met die in het BOP project (Weijers et al. 2010). De meetnauwkeurigheid van de SIA metingen in BOP is groter dan die met het LML. Ook is de grootte van de deeltjes waarvoor de SIA concentratie is bepaald in BOP (PM₁₀ en PM_{2,5}) preciezer bekend dan bij de SIA-metingen uit het LML, die is bepaald voor deeltjes met een diameter van ongeveer 3,5 micrometer in plaats van 2,5 of 10.

Het LML meet SIA in PM₁₀ sinds 2008 en is volgens de referentiemethode bemonsterd, een aanpak conform de SIA-metingen in PM₁₀ in het BOP-project. De nieuwe aanpak om SIA te meten met het LML is operationeel sinds 2009. Een vergelijkingsstudie tussen de oude en de nieuwe SIA-metingen uit het LML bevestigen een ongeveer 50 procent hogere SIA-concentratie uit het BOP-onderzoek (Hafkenscheid et al. rapport in voorbereiding). Eerder gaven van Putten & Mennen (1998) al aan dat de SIA-concentraties door de oude metingen nogal onzeker waren en mogelijk de SIA-concentraties in de buitenlucht onderschatten.

De bevinding dat de SIA-bijdrage 50 procent hoger is dan gedacht heeft als gevolg dat het gevoerde beleid voor de emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak mogelijk een groter aandeel heeft gehad in de daling van de PM₁₀-concentraties dan tot dusver is berekend (zie de PM₁₀-trendanalyse in hoofdstuk 5).

Ook kunnen voorziene maatregelen gericht op de SIA-precursorgassen meer effect sorteren dan met de huidige projecties aanvankelijk was becijferd. Het maximale effect is tussen 2010 en 2020 een extra concentratiedaling in Nederland van ongeveer 0,1 µg/m³ per jaar.

2.2.3 Koolstofhoudend fijn stof (TCM)

Bronnen

De concentratiebijdrage van koolstofhoudend fijn stof wordt gemeten als elementair koolstof (EC) en organisch koolstof (OC), beide uitgedrukt in µg koolstof/m³. Voor het totaal (TCM) komt hier nog eens dertig procent bij als naast het koolstof in EC en OC ook de andere elementen van het koolstofhoudend fijn stof, zoals zuurstof en waterstof, worden meegerekend (ten Brink et al. 2009). De meettechnische uitsplitsing in EC en OC wordt gedaan om reden van bronherkenning. EC lijkt een goede indicator voor de bijdrage door verbrandingsmotoren van vooral diesel. EC en een deel van het OC worden direct in de atmosfeer uitgestoten. Het andere deel van OC, het secundair organisch aerosol, wordt in de lucht gevormd uit vluchtige organische stoffen (VOS).

De deeltjesvormige koolstofverbindingen kunnen van natuurlijke of antropogene oorsprong zijn. Elementair koolstof in Nederland is daarentegen vrijwel geheel van antropogene oorsprong en komt als deeltje vrij bij

verbrandingsprocessen. Twee derde van de antropogene VOS emissies is het gevolg van het gebruik van oplosmiddelen of komt vrij bij productieprocessen en bij het gebruik van vaste en vloeibare brandstof. Natuurlijke emissie van VOS vindt plaats door bomen en planten. Verder komen (grove) organische stofdeeltjes vrij bij landbouwactiviteiten in stallen en op het veld. Dit soort deeltjes kunnen ook van natuurlijke oorsprong zijn.

De huidige kennis rond de TCM-concentratie en herkomst is beperkt. Uit recente metingen voor twee meetlocaties werd afgeleid dat ongeveer een kwart tot een derde van organisch koolstof in Nederland van fossiele brandstoffen afkomt (ten Brink et al. 2010). Ten minste twee derde deel bestaat volgens deze metingen uit koolstofhoudend fijn stof, dat veel recenter is gemaakt (niet fossiel). Dit deel kan zowel van natuurlijke als antropogene herkomst zijn. Naar schatting is 25 tot 50 procent van organisch koolstof in Nederland van natuurlijke herkomst. Hoe groot de antropogene bijdrage aan TCM is in Nederland is daarom op basis van de huidige kennis nog onzeker.

Bijdragen

De gemiddelde bijdrage van koolstofhoudend fijn stof was ongeveer 5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan PM_{10} en 4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan $\text{PM}_{2,5}$. Voor PM_{10} varieerde de TCM-bijdrage tussen gemiddeld 4,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op de regiolocaties tot 7,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op de straatlocatie in Rotterdam. Van TCM bevond circa 80 procent zich in de $\text{PM}_{2,5}$ fractie, elementair koolstof voor ongeveer 90 procent. De TCM-bijdrage is deels van natuurlijke en deels van antropogene oorsprong.

Bij fijnstofconcentraties hoger dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nam de bijdrage van TCM toe, vooral in de stad en langs straten. Relatief nam de bijdrage aan de verhoogde fijnstofconcentratie licht af. De ruimtelijke variatie in TCM was groter dan bij SIA, door de bijdrage van direct uitgestoten deeltjes met koolstof. Bij hoger wordende fijnstofconcentraties namen de verschillen in TCM-concentratie tussen meetlocaties sterk toe.

Er bestaan geen meetgegevens waaruit een trend in de TCM-bijdrage aan fijn stof direct kan worden afgeleid. Wel zijn er aanwijzingen dat de concentraties van elementair koolstof sterk zijn gedaald in de afgelopen twee decennia. De uitlaatemissies van verkeer en de concentraties van zwarte rook, een maat voor roet en elementair koolstof, zijn met circa 50 procent gedaald sinds 1990. In Nederland en de omliggende landen zijn de antropogene emissies van VOS met bijna 60% gedaald sinds 1990. Het antropogene deel van TCM is dus waarschijnlijk gedaald sinds 1990.

2.2.4 Zeezout

Bronnen

Zeezoutaerosol heeft een natuurlijke oorsprong en ontstaat in de lucht wanneer de wind over het zeewateroppervlak blaast. Vers zeezout bestaat voornamelijk (circa 85 procent) uit natriumchloride (keukenzout) met kleinere bijdragen van sulfaat, magnesium-, calcium-, en kaliumverbindingen. Als zeezoutdeeltjes in de lucht blijven, gaan ze chemische reacties aan met andere componenten. Daardoor verandert de verhouding tussen natrium en chloride.

Bijdragen

De zeezoutconcentratie in PM_{10} , gemiddeld over de meetperiode, varieerde van 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Rotterdam, niet ver van de kust, tot 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Vredepeel, landinwaarts. Zeezout komt met een relatief aandeel van circa 12 procent in PM_{10} na SIA en TCM op de derde plaats. Daggemiddeld was de bijdrage soms veel hoger of juist lager. Op dagen met hoge fijnstofconcentraties (hoger dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) was de bijdrage van zeezout gemiddeld drie keer zo laag als het jaargemiddelde. Ongeveer een derde van het zeezout bevond zich in de $\text{PM}_{2,5}$ fractie.

Modelberekeningen bevestigden het bestaande ruimtelijke beeld voor Nederland en Europa dat zeezoutconcentraties afnemen als functie van de afstand tot de kust. Hoge zeezoutconcentraties werden door de modellen echter overschat met soms meer dan 100 procent. Dat maakt dat modellen op dit moment nog onvoldoende betrouwbaar zijn om alleen te gebruiken bij de bepaling van de zogeheten 'zeezoutaftrek' (zie paragraaf 4.3 voor meer informatie over de zeezoutaftrek).

2.2.5 Bodemstof

Bronnen

Bodemstof is zowel van antropogene als van natuurlijke herkomst. Een duidelijke scheidslijn is hierbij moeilijk te trekken. Landbouwactiviteiten (eggen, ploegen, oogsten) en opwerveling door verkeer geven in Nederland en Europa de belangrijkste bijdragen aan bodemstof in PM_{10} (Schaap et al. 2009; Denier van der Gon et al. 2010). De bodemstofbijdrage door winderosie in Europa lijkt niet of nauwelijks van belang. Zo speelt Saharastof - mondiaal en ook in Zuid-Europa een belangrijke bron van bodemstof - gemiddeld geen rol van betekenis voor de fijnstofconcentratie in Nederland, alleen in incidentele gevallen (Schaap et al. 2010). Bodemstof bestaat voornamelijk uit oxiden van silicium, aluminium, calcium, ijzer en kalium.

Bijdragen

De bijdrage door bodemstof was gemiddeld 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan PM_{10} en varieerde van 1,2 tot 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De bijdrage aan $\text{PM}_{2,5}$ was gemiddelde 0,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ met een variatie van 0,5 tot 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Het bodemstof bestond voor het overgrote deel (60-70 procent) uit deeltjes groter dan $\text{PM}_{2,5}$. De bijdrage van bodemstof aan PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ was ongeveer de helft in vergelijking tot eerdere schattingen (Visser et al. 2001). Ook in vergelijking met het nabije buitenland blijken de bodemstofconcentraties voor Nederland aan de lage kant. Een complicatie bij vergelijkingen met andere studies is dat de gemeten periodes niet overeenkomen, terwijl de heersende weersomstandigheden (droge of juist natte jaren) een rol lijken te spelen bij de hoogte van de bodemstofbijdrage aan PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$. Daarnaast kunnen bodemstofbijdragen verschillen al naar gelang de manier waarop deze wordt berekend uit de metalenconcentraties. Op dagen bij PM_{10} -concentraties hoger dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ neemt ook de concentratiebijdrage van bodemstof toe. Het relatieve aandeel van bodemstof was 7 procent in PM_{10} en 4 procent in $\text{PM}_{2,5}$ en bleef constant met de hoogte van de PM_{10} -concentratie te zijn.

2.2.6 Metalen

Bronnen

De metalen die geen onderdeel uitmaken van het bodemstof komen vrij bij verschillende soorten slijtageprocessen en bij de metaalindustrie. Het bestanddeel metalen is als volledig antropogeen te beschouwen. De aanwezigheid van metalen in fijn stof kunnen daarom worden gekoppeld aan specifieke antropogene bronnen. Bijvoorbeeld: zink wijst op autobandenslijtage, koper op remslijtage, en cadmium op vuilverbranding en cementproductie. De metalen zijn daarom bij de analyse van de meetgegevens gebruikt als indicator voor de bijdrage van specifieke bronngroepen aan fijn stof.

Bijdragen

De bijdrage door metalen was gemiddeld 0,8 tot 2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor PM_{10} en 0,4 tot 0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor $\text{PM}_{2,5}$. Daarmee bestond het bestanddeel metalen voor het overgrote deel (50-70 procent) uit deeltjes groter dan $\text{PM}_{2,5}$. De bijdrage van metalen en bodemstof aan fijn stof lijken in grootte en gedrag op elkaar. De meetnauwkeurigheid waarmee de bijdrage door metalen kon worden bepaald was echter veel groter dan die van de bodemstofbijdrage.

Op dagen bij fijnstofconcentraties hoger dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nam ook de concentratiebijdrage van metalen toe, het relatieve aandeel nam echter licht af. Van alle hier genoemde fijnstofbestanddelen kent de bijdrage door metalen de grootste relatieve verschillen tussen de regio en stad en straat; het laagst in de regio en het hoogst in de straat. Dit geeft aan dat de bronnen een meer antropogeen en lokaal karakter hebben dan de bronnen van bodemstof. Wegverkeer vormt waarschijnlijk een belangrijke bron voor de metalen.

2.2.7 'Niet nader gespecificeerd'

Bronnen

Dit bestanddeel is het verschil tussen de totale PM_{10} - of $\text{PM}_{2,5}$ -concentratie en de som van de overige bestanddelen. Het gaat om gemiddeld 12 procent van het fijn stof en het verschilt per locatie en de hoogte van de fijnstofconcentratie. De grootte van het bestanddeel hangt samen met systematische afwijkingen in de metingen van de overige fijnstofbestanddelen. Het netto resultaat van de systematische afwijkingen verschijnt in het bestanddeel 'niet nader gespecificeerd'. Vooral de bepaling van TCM lijkt hierbij een rol te spelen (Schaap et al. 2010). Vergelijkbare studies suggereerden dat het bestanddeel 'niet nader gespecificeerd' grotendeels uit water zou bestaan. Tot dusver zijn er alleen metingen van de relatie tussen water en hygroscopische fijnstofbestanddelen, zoals het secundair anorganisch aerosol, die deze hypothese onderbouwen.

Bijdragen

De bijdrage 'niet nader gespecificeerd' was gemiddeld 2,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in PM_{10} (12 procent) en 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in $\text{PM}_{2,5}$ (12 procent). Daarmee bevond het bestanddeel 'niet nader gespecificeerd' zich voor ongeveer een derde (35 procent) op deeltjes groter dan $\text{PM}_{2,5}$. Deze bijdragen zijn van dezelfde orde als de schattingen van de concentratiebijdrage voor het water dat gebonden is aan SIA in PM_{10} .

De bijdrage van het water gebonden aan de anorganisch secundaire bestanddelen is geschat op ongeveer 1,5 tot 2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (circa 5-10 procent) van de totale PM_{10} -concentraties (Hoogerbrugge et al. 2010). Ook zeezout en secundair organisch aerosol bevatten water, maar hiervoor is geen schatting gemaakt. Die bijdragen zijn echter substantieel kleiner.

Op dagen bij PM_{10} -concentraties hoger dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nam de concentratiebijdrage van het bestanddeel 'niet nader gespecificeerd' sterk toe tot ongeveer 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan PM_{10} en tot ongeveer 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan $\text{PM}_{2,5}$. Het relatieve aandeel is dan gemiddeld ongeveer 20 procent op de verschillende meetlocaties. Op de regiolocaties was het relatieve aandeel 'niet nader gespecificeerd' op die dagen grofweg twee keer groter dan op de straat en de stadslocatie zowel in PM_{10} als $\text{PM}_{2,5}$.

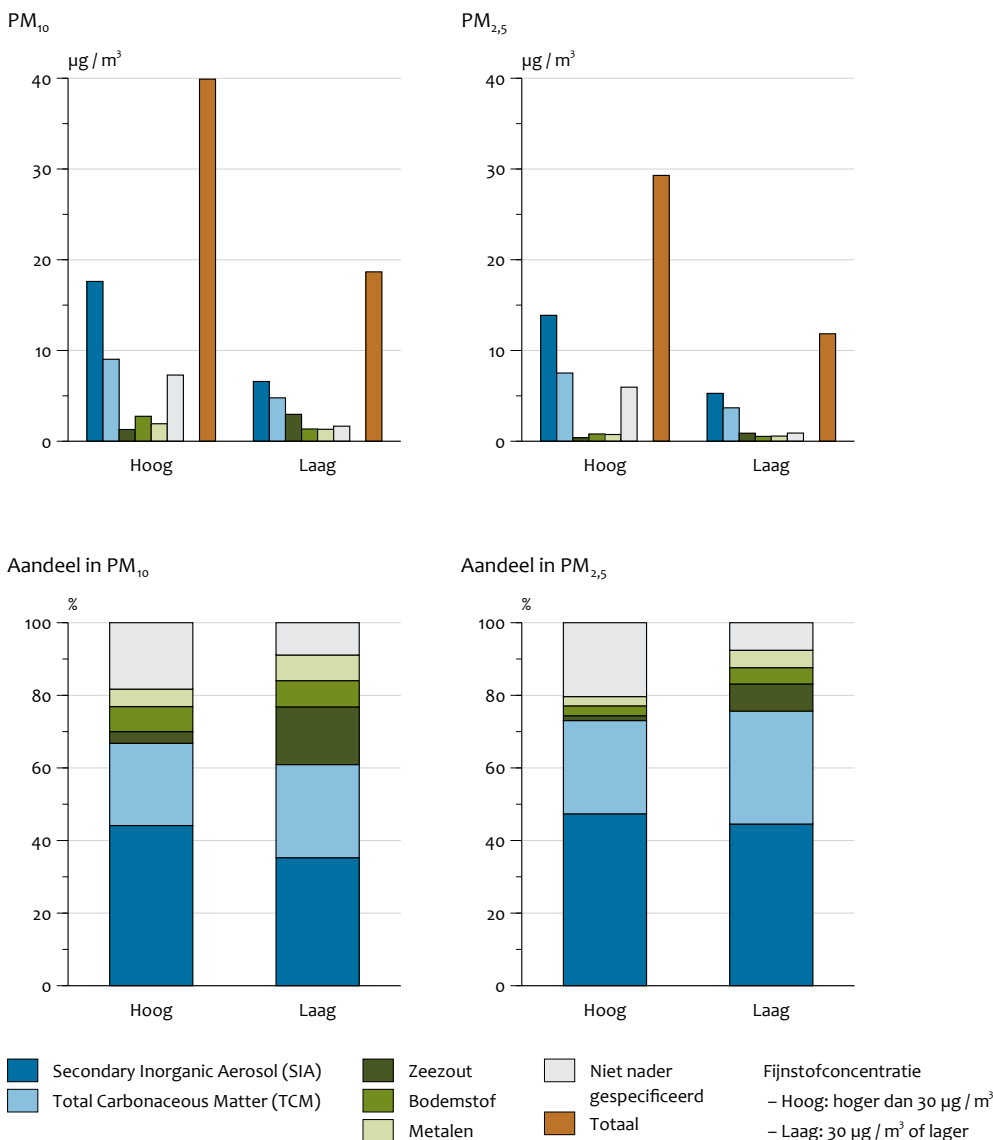
Bij de toekenning van de fijnstofbestanddelen aan antropogene dan wel natuurlijke bronnen is het deel 'niet nader gespecificeerd' naar rato verdeeld over de overige bestanddelen.

2.3 Wat is de samenstelling bij hoge en lage fijnstofconcentraties?

Uit de gegevens bleek dat de samenstelling van PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ veranderde als de hoogte van de concentraties veranderde. Hoge fijnstofconcentraties bleken voor een belangrijk deel het gevolg van een toename van het SIA-bestanddeel. Bij PM_{10} -concentraties hoger dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liep het relatieve aandeel van SIA op tot 50 procent. Ook het relatieve aandeel van het bestanddeel 'niet nader gespecificeerd' nam toe tot ongeveer 20 procent in PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$. Dit vormt een extra aanwijzing voor de aanwezigheid van water in het bestanddeel 'niet nader gespecificeerd', water dat is gebonden aan SIA. De antropogene bijdrage nam toe en de bijdrage door zeezout nam af.

Hoge PM_{10} -concentraties komen vooral voor bij aanvoer van lucht uit oost- en zuidoostelijke richtingen en als er – langere tijd – geen regen valt. Ook andere meteorologische factoren spelen een rol bij de hoogte van de fijnstofconcentraties (zie ook Hoogerbrugge et al. 2010). Verder leiden incidentele bronbijdragen zoals het vuurwerk tijdens oud en nieuw tot hoge fijnstofconcentraties. Fijn stof kan ook verhoogd zijn ten opzichte van het gemiddelde door de bijdrage van natuurlijke bronnen zoals zeezout of bodemstof. Dit komt echter zelden voor, gemiddeld niet meer dan 1 à 2 keer per jaar (Manders et al. 2009; Denier van der Gon et al. 2010). Hoge fijnstofconcentraties zijn in Nederland bij uitstek een door de mens veroorzaakt fenomeen.

Bij een zesde van metingen was de PM_{10} -concentratie hoger dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In die gevallen was de concentratiebijdrage van alle bestanddelen hoger, behalve die van zeezout. Op dagen met PM_{10} -concentraties hoger dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ was de concentratiebijdrage van zeezout 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tegen 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bij PM_{10} -concentraties van 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of minder. Lage zeezoutconcentraties duiden op aanvoer van lucht over land.



Samenstelling van PM_{10} en $\text{PM}_{2.5}$ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bij hoge, meer dan $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en lage, $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of lager, PM_{10} concentraties.

Het relatieve aandeel SIA steeg gemiddeld over de meetlocaties van 35 naar 44 procent en het relatieve aandeel 'niet nader gespecificeerd' verdubbelde van 9 naar 18 procent. Daartegenover stond een halvering van de gezamenlijke bijdrage door bodemstof, metalen en zeezout: 15 in plaats van 30 procent van het totaal. Ook nam het relatieve aandeel van TCM af met enkele procenten. Bij verhoogde PM_{10} concentraties veranderden de relatieve aandelen van de fijnstofbestanddelen aan $\text{PM}_{2.5}$ op een zelfde manier als bij PM_{10} .

De toename van SIA kwam vooral door meer deeltjes die worden gevormd uit stikstofoxiden en ammoniak (ammoniumnitraat). Uit berekeningen voor jaargemiddelde concentraties (Velders et al. 2009) bleek dat Nederland 20 procent van het SIA aan zijn eigen emissies te danken heeft. Dit is een relatief klein aandeel; de overige 80 procent kwam van over de grenzen. Op dagen met hoge

fijnstofconcentraties is het Nederlandse aandeel echter waarschijnlijk aanzienlijk groter dan 20 procent. Op die dagen is de verblijftijd van de lucht binnen de Nederlandse grenzen namelijk groter dan gemiddeld; er is luchtaanvoer over land en de windsnelheid is laag. Bovendien zijn de emissies van stikstofoxiden en ammoniak, die tot het verhoogde aandeel ammoniumnitraat leiden, in Nederland relatief hoog.

2.4 Hoe verschilt de samenstelling van fijn stof per locatie; regio, stad en straat?

Zeezout heeft een afnemend verloop vanaf de kust landinwaarts. Het is volledig van natuurlijke herkomst en blijkt ook niet gerelateerd te zijn aan het type locatie (regio, stad, straat). De andere bestanddelen verschilden wel per type locatie als gevolg van verschillen in antropogene bijdragen. Gemiddeld namen de absolute bijdragen van de

verschillende fijnstofbestanddelen niet of licht toe gaande van de regionale achtergrondlocaties naar de stad. Gaande van de stad naar de straat was er wel een duidelijke toename per bestanddeel (zie ook paragraaf 3.1). Metalen en, in minder mate, TCM lieten de sterkste toenames zien tussen de locaties. Op de straatlocaties was de absolute bijdrage door het bestanddeel metalen drie keer hoger dan in de regio. Het aandeel TCM nam vooral toe als gevolg van hogere concentraties elementair koolstof. Er was een lichte toename van de bodemstofbijdrage tussen regio en stad en stad en straat maar deze bleek niet significant. Een toename zou kunnen worden toegekend aan het bodemstof dat opwerfelt door het verkeer zou deze toename kunnen veroorzaken. Op andere straatlocaties in binnen- en buitenland was de absolute bijdrage door bodemstof gemiddeld twee keer zo hoog als op stadslocaties. Waarom dit niet uit de BOP-metingen bleek, kon niet worden verklaard.

De bijdragen van SIA aan PM_{10} en $PM_{2,5}$ waren nogal verschillend op de regionale achtergrondlocaties ($7-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Deze verschillen waren moeilijk te verklaren door het grootschalige karakter van SIA.

De concentratieverschillen van PM_{10} en $PM_{2,5}$ tussen de stadslocatie en drie verschillende regiolocaties bleken gemiddeld klein ; $0-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}) en $0-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($PM_{2,5}$). Deze verschillen waren kleiner of van de zelfde orde als de concentratieverschillen tussen de drie regiolocaties onderling. Daarom was de gebruikte meetopzet ontoereikend om de bijdrage aan fijn stof door bronnen in de stad significant te kunnen bepalen. In het vervolgonderzoek wordt de stadsbijdrage met speciaal daarop gerichte metingen onderzocht.

3

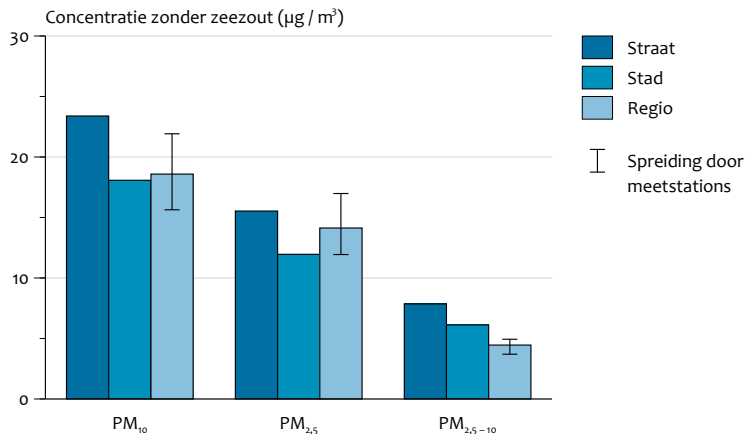
Fijn stof in het stedelijke gebied

- De stadsachtergrondconcentraties¹⁾ van PM₁₀ en PM_{2,5} door antropogene bronnen bleken niet significant hoger dan op de locaties in de regio. Daarom hebben maatregelen in een stad zelf om de stadsachtergrondconcentratie van PM_{2,5} te verminderen beperkt effect.
- In de straat werd een extra antropogene bijdrage gemeten aan PM₁₀ van 5 µg/m³ en aan PM_{2,5} van 3 µg/m³ ten opzichte van de stadsachtergrond. Deze straatbijdragen bestonden uit koolstofhoudend fijn stof – vooral elementair koolstof – en metalen. De bijdrage aan fijn stof door bodemstof en uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak waren niet significant verhoogd in de straat ten opzichte van de stad.
- De stadsachtergrondconcentratie van fijn stof bleek binnen het stedelijke gebied van Rotterdam vrijwel constant te zijn: binnen een marge van 10 procent voor PM₁₀ en 5 procent voor PM_{2,5}. De metingen suggereerden een soort fijnstofplateau, waarbij er een klein verschil is tussen de concentratie op locaties buiten de stad en een min of meer constant niveau van de stadsachtergrondconcentratie.
- De kleine concentratieverschillen op verschillende stadslocaties binnen één stad maakt dat één meetpunt representatief is voor het bepalen van de blootstelling in de stad aan PM₁₀ en PM_{2,5}.
- De bijdrage door houtverbranding in bijvoorbeeld kachels en open haarden aan de stadsachtergrond in Amsterdam bleek relatief gering. Gemiddeld over een half jaar (zomer en winter) was er een bijdrage aan de PM₁₀-concentratie van 0,1 tot 0,2 µg/m³.
- De verschillen in tijd en ruimte in de bijdrage door houtverbranding zijn groot: in de winter was de bijdrage tot tien keer hoger dan in de zomer. Lokaal kon de bijdrage aan fijn stof door houtverbranding oplopen tot 6 µg/m³. Het relatieve aandeel door houtverbranding in die gevallen was maximaal 30 procent van PM₁₀ en maximaal 40 procent van PM_{2,5}.

Het belang van het stedelijke gebied voor de blootstelling van de bevolking aan fijn stof is onderkend bij de vaststelling van Europese normen voor PM_{2,5} (EU 2008b). Er is een doelstelling voor blootstellingsvermindering geformuleerd, een relatieve afname tussen 2010 en 2020 van de PM_{2,5}-concentratie in het stedelijke gebied. Deze doelstelling is afhankelijk van de PM_{2,5}-niveaus in 2009, 2010 en 2011. Op basis van de huidige kennis over de PM_{2,5}-niveaus in de stedelijke gebieden wordt in Nederland een doelstelling van 15 procent voorzien. Mogelijk kan dit ook 20 procent worden afhankelijk van de PM_{2,5} metingen in 2010 en 2011.

De resultaten van het BOP-onderzoek voor de verhogingen van fijn stof en de bestanddelen ervan in het stedelijke gebied staan in dit hoofdstuk samengevat. Verder worden

de conclusies gegeven van aparte meetcampagnes in het stedelijke gebied bij Rotterdam gericht op de variabiliteit in tijd en ruimte van fijn stof. Tot slot komen de belangrijkste resultaten aan bod van de studies over bronnen die bijdragen aan het verbrandingsaerosol. Het verbrandingsaerosol, fijn stof dat vrijkomt bij verbrandingsprocessen, wordt verondersteld het meest gezondheidsrelevante onderdeel van fijn stof te zijn. Wegverkeer, zeescheepvaart en houtverbranding leveren een bijdrage aan het verbrandingsaerosol. Omdat er nog veel onbekenden zijn rond de emissies van deze bronnen en de bijdrage aan fijn stof is hieraan in BOP specifiek aandacht besteed.



Gemiddelde concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) zonder zeezout: PM_{10} -zeezout en $\text{PM}_{2,5}$ -zeezout en het verschil tussen PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ ($\text{PM}_{2,5-10}$ -zeezout) voor de straat-, stads- en regiolocaties, 2007-2008. De spreiding voor regiolocaties geeft het minimum - maximum van de concentratiebijdragen op de drie regiolocaties.

3.1 PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ en bestanddelen in stad en straat

In en rondom stedelijke gebieden zijn de emissies van fijn stof en een aantal precursorgassen hoog. De kennis over de samenstelling en bijdragen van de stad was nog erg klein. De metingen uit de BOP-meetcampagne brachten de verschillen in kaart. PM_{10} - en $\text{PM}_{2,5}$ -concentraties verschillen per type locatie (regio, stad, straat) als een optelsom van bijdragen van bestanddelen op deze locaties.

Figuur 3.1 laat de gemiddelde concentraties (zonder zeezout) zien van PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ en het verschil tussen PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$, dat wil zeggen de grove deeltjes binnen PM_{10} . De bijdrage van zeezout is van het totaal afgetrokken om de concentratieverschillen tussen regio-, stads- en straatlocaties door antropogene bronnen beter te laten zien. De bijdrage van zeezout aan fijn stof is natuurlijk van oorsprong en onafhankelijk van het type locatie en werkt daardoor verstrend bij de analyse van antropogene bijdragen.

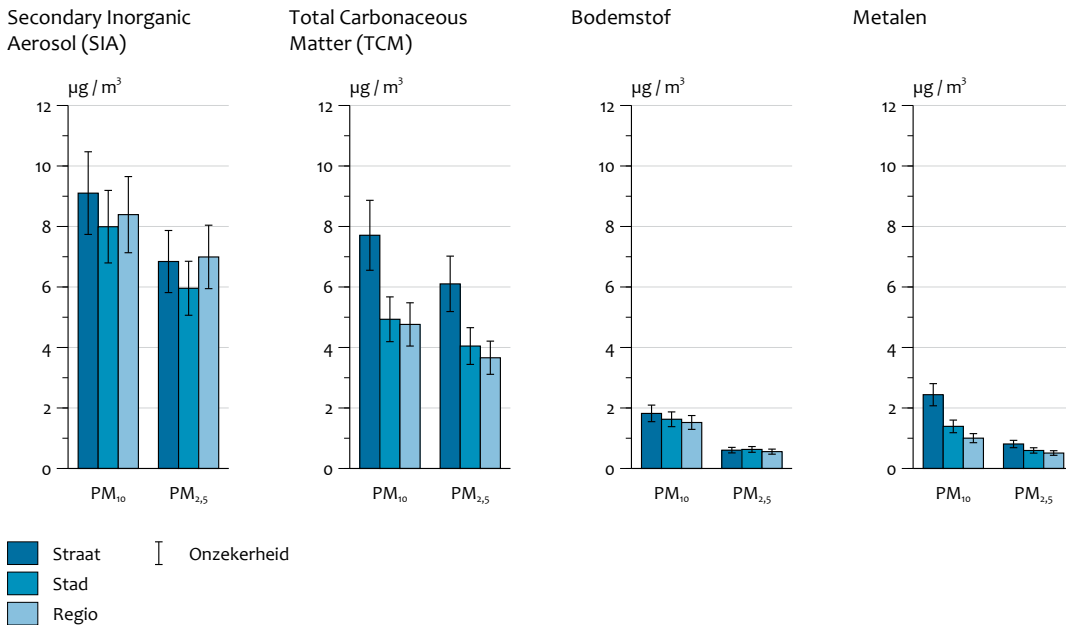
De bijdrage van het stedelijke gebied ten opzichte van de regio is in Nederland gemiddeld niet groot (tot enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Voogt et al. 2009). Om de toename van de regio naar de stad te kunnen meten van de verschillende fijnstofbestanddelen bleken de meetlocaties in de regio maar beperkt geschikt. Voor grove deeltjes, deeltjes die onderdeel uitmaken van PM_{10} maar niet van $\text{PM}_{2,5}$, is de toename van de regio naar de stad ongeveer 1 - 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze toename is echter waarschijnlijk niet significant. Het concentratieverschil in PM_{10} tussen stad en straat komt door fijnstofbestanddelen in zowel de fijne ($\text{PM}_{2,5}$) als de grove ($\text{PM}_{10}-\text{PM}_{2,5}$) fractie.

Het verschil tussen stad en straat is bepaald op basis van één set van twee gekoppelde meetlocaties, Schiedam en Rotterdam. Deze set zal waarschijnlijk niet representatief zijn voor alle toenames van stad naar straat, maar is waarschijnlijk voldoende representatief voor algemene conclusies over de Randstad. De toename tussen stad en straat kan oplopen tot

enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en bestaat voor ongeveer twee derde uit fijne deeltjes en een derde uit grove deeltjes.

Figuur 3.2 laat per bestanddeel de concentratieverschillen zien tussen de regio-, stad- en straatmeetlocaties. Het beeld van een klein verschil tussen regio en stad wordt hierdoor bevestigd. De ruimtelijke variatie van de SIA bijdrage aan PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ is relatief beperkt. De gradiënten in de SIA concentraties tussen de regiolocaties waren groter dan die tussen de regio en het stedelijke gebied. De concentratie-toename tussen stad en straat was grotendeels toe te schrijven aan de bestanddelen TCM en metalen. TCM nam toe als gevolg van elementair koolstof (zie figuren 3.4 en 3.5). Er bleek een lichte toename van de bodemstofbijdrage tussen regio en stad, en stad en straat. Een toename zou kunnen worden toegeschreven aan het bodemstof dat opwevelt door het verkeer. De concentratieverschillen zijn echter niet significant. Andere meetgegevens uit binnen- en buitenland lieten zien dat de bodemstofbijdrage in straten gemiddeld twee keer zo hoog was als in de stadsachtergrond, waarschijnlijk als gevolg van opgewerfeld bodemstof (Denier van der Gon et al. 2010). Waarom dit algemene gedrag van bodemstof niet uit de BOP meetgegevens naar voren kwam, kon niet worden verklaard.

Als onderdeel van de BOP-meetcampagne is op een straatlocatie in Breda PM_{10} en de samenstelling ervan bepaald. Deze metingen ondersteunden de conclusies rond de samenstelling van fijn stof in straten. Afgezien van de zeezoutbijdrage waren de relatieve aandelen van de PM_{10} bestanddelen op de straatlocatie in Breda ongeveer van dezelfde grootte als die van de straatlocatie in Rotterdam. De concentratiebijdragen van de verschillende bestanddelen waren in Breda lager dan in Rotterdam, afgezien van de SIA bijdrage. Breda had de hoogste SIA bijdrage van alle BOP-locaties.



Samenstelling fijnstofbestanddelen van PM₁₀ en PM_{2.5} (µg/m³) op straat-, stads- en regiolocaties.

3.2 Hoe varieert de fijnstofconcentratie in het stedelijke gebied?

De stadsachtergrondconcentratie waarvoor een richtwaarde is vastgesteld in de Europese richtlijn voor luchtkwaliteit (EU 2008b), is gedefinieerd als de concentratie op ‘Stedelijke achtergrondlocaties’: plaatsen in stedelijke gebieden waar de niveaus representatief zijn voor de blootstelling van de stedelijke bevolking in het algemeen. Het gaat hierbij om stadslocaties en niet om locaties langs straten en wegen in een stad; op straatlocaties is de fijnstofconcentratie juist vaak extra verhoogd door de bijdrage van het wegverkeer en is daardoor niet representatief voor de gemiddelde concentratie in een stad.

Om ruimtelijke concentratieverschillen in kaart te brengen zijn twee meetcampagnes uitgevoerd in het stedelijke gebied van Rijnmond. Met mobiele apparatuur en een netwerk van metingen van fijn stof op elf vaste locaties zijn in de periode 2007-2008 twee aparte meetcampagnes uitgevoerd (Voogt et al. 2009).

De stadsachtergrondconcentratie van PM₁₀ of PM_{2.5} blijken in principe met één meetpunt te bepalen. De onzekerheid in deze concentratiebepaling blijft echter nog wel relatief groot (20 procent). Logischerwijs zullen meer meetpunten de onzekerheid in de meting kunnen verkleinen. De huidige meetstrategie om PM_{2.5}-concentraties in het stedelijke gebied vast te stellen, is opgesteld met gebruikmaking van de kennis over de variabiliteit van de concentratie in de stadslocaties.

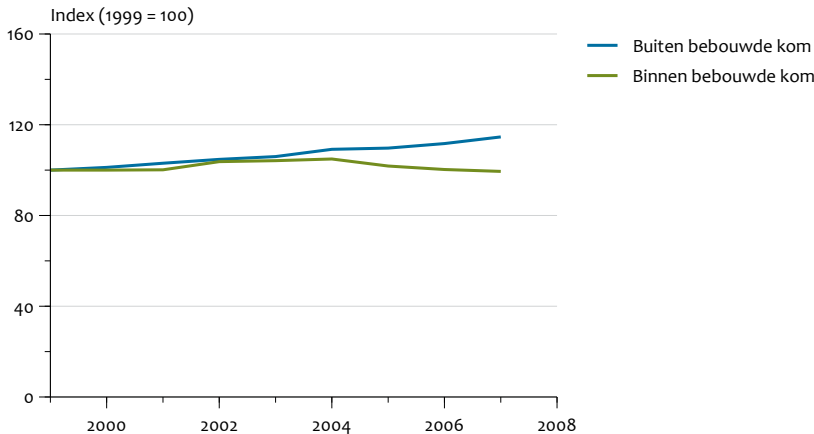
Uit het onderzoek van Voogt et al. (2009) bleek verder dat er gemiddeld maar een klein concentratieverschil was tussen fijnstofconcentraties in het stedelijke gebied van Rotterdam en daarbuiten. Maandgemiddeld was dit 1 tot 3 µg/m³ voor PM₁₀ en tot 1 µg/m³ voor PM_{2.5}. Deze relatief kleine verschillen

zijn consistent met eerdere schattingen en zijn karakteristiek voor de situatie in het dichtbevolkte Nederland. Metingen uit andere delen van Europa wijzen op veel grotere verschillen tussen achtergrondconcentraties in de regio en de stad. Voor Europa als geheel zijn 7 µg/m³ (PM₁₀) en 4 µg/m³ (PM_{2.5}) typische waarden voor concentratietoename tussen stad en straat (Mol et al. 2009).

Verkeer vormt een belangrijk bron van fijn stof in de stad. Een trend in ruimte en tijd in de emissies door verkeer heeft effect op de verdeling van fijnstofconcentraties in de stad. Uitlaatemissies van fijn stof door wegverkeer zijn op nationale en Europese schaal afgenomen sinds 1990 (zie ook hoofdstuk 5). Door management van de verkeerscirculatie hebben zich op stadsniveau ruimtelijke veranderingen van verkeers emissies voorgedaan.

Er is een analyse gemaakt van de ruimtelijke veranderingen van het verkeersvolume in verschillende Nederlandse steden gebaseerd op cijfers van de Nationale Mobiliteitsmonitor (zie Hoogerbrugge et al. 2010). De resultaten zijn relevant voor een beter begrip van de fijnstofconcentraties op stadsschaal. De ontwikkelingen van het verkeersvolume waren binnen de bebouwde kom min of meer stabiel, terwijl buiten de bebouwde kom sprake was van een constante groei van ongeveer 2 procent per jaar (figuur 3.3). De ontwikkelingen van het verkeersvolume bleken niet voor alle steden hetzelfde te zijn.

Ruimtelijke verschillen binnen een stad vonden plaats door wijzigingen in de verkeerscirculatie. Tussen 1999 en 2007 bleef in Utrecht en Amsterdam, steden met een oude kern, het aantal verreden kilometers binnen de bebouwde kom ongeveer gelijk, terwijl het daarbuiten juist toenam. In Rotterdam, een stad met een opener verkeersinfrastructuur, werd zo'n duidelijk verschil niet waargenomen. Dit soort



Trend in de voertuigkilometers afgelegd binnen de bebouwde kom en daarbuiten gemiddeld voor Nederland.
(Bron: Mobiliteitsonderzoek Nederland 1999-2007, herberekening Goudappel Coffeng; Hoogerbrugge et al 2010).

verschillen zijn echter niet of moeilijk meetbaar als een verandering in de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentratie.

3.3 Verbrandingsaerosol

De deeltjes die vrijkomen bij verbrandingsprocessen worden onder de noemer verbrandingsaerosol gevat. Vooral deze deeltjes worden geassocieerd met de gezondheidseffecten van fijn stof. Zwarte rook is een maat voor de bijdrage aan fijn stof van het verbrandingsaerosol (zie ook Fijn stof en gezondheid in paragraaf 1.1). De Milieubalans (PBL 2009a) geeft aan dat de concentratie van het verbrandingsaerosol een betere indicator lijkt voor 'de invloed van het lokale mengsel van luchtverontreiniging op de volksgezondheid' dan PM_{10} .

De Nederlandse Emissie Registratie (ER 2010) beschrijft jaarlijks schattingen van de antropogene emissies, waaronder die uit verbrandingsprocessen. Op deelgebieden bestaan echter nog grote onzekerheden. Het BOP onderzoeksprogramma draagt expliciet bij aan verbetering van de kennis rond het verbrandingsaerosol. Het gaat hierbij om de volgende activiteiten:

- Onderzoek naar de bijdrage en emissiefactor van elementair en organisch koolstof door wegverkeer in de stad.
- Het systematisch in kaart brengen van Nederlandse methoden om emissies door (zee)scheepvaart te bepalen.
- Het schatten van de bijdrage door houtverbranding aan PM_{10} en $PM_{2,5}$ op een stadslocatie en een regiolocatie in de landelijke omgeving.

3.3.1 Wegverkeer

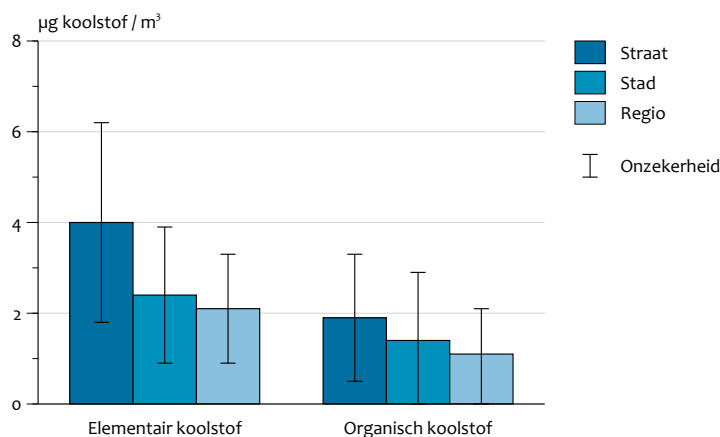
De bijdrage van verkeeremissies aan EC en OC zijn onderzocht op straat- en stadsniveau met metingen en modelberekeningen (Keuken & ten Brink 2009; ten Brink et al. 2009). Deze studies doelden op kennisverbetering rond EC en OC en de toename van EC- en OC concentraties in stad en straat ten opzichte van die daarbuiten. Ook is een EC emissiefactor van 10 mg koolstof per gereden kilometer

empirisch bepaald voor stadsverkeer ter plekke. Deze factor zit aan de onderkant van het in de internationale literatuur gerapporteerde bereik van 8 tot 20 mg koolstof per gereden kilometer. Omdat voor OC geen significante toename in de straat is gemeten kon ook geen OC emissiefactor voor stadsverkeer worden bepaald (zie figuur 3.5).

Bijdrage van koolstofhoudend fijn stof in de stad

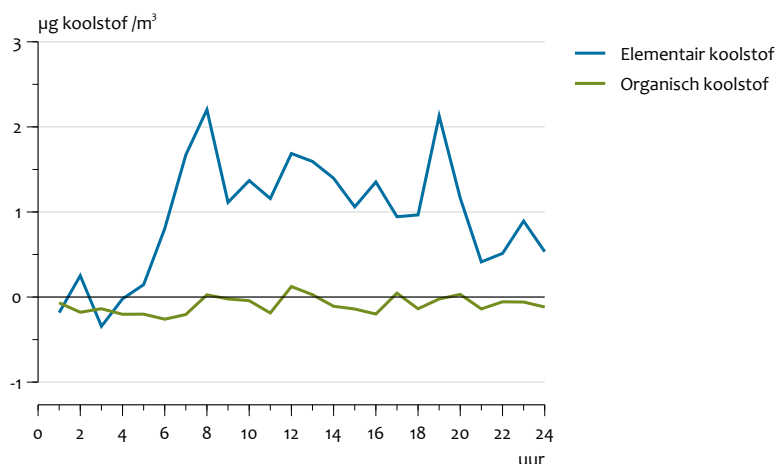
Kennis over de bijdrage van EC en OC aan fijn stof in de stad is onder andere van belang om te onderzoeken of de Europese normen voor $PM_{2,5}$ in de stad haalbaar zijn. In het Rijnmondgebied is met metingen en modellen onderzoek verricht naar de bijdrage van elementair koolstof en organisch koolstof aan de fijnstofconcentraties in de stad. Uit metingen bleek alleen tussen stad en straat een significante toename van de TCM-bijdrage aan PM_{10} en $PM_{2,5}$. De lichte toename tussen regio en stad is in ongeveer gelijke mate het gevolg van een toename in EC- en in OC-concentraties. De toename tussen stad en straat lijkt vooral het gevolg van een toename van EC (figuur 3.4).

De bijdrage van EC- en OC-emissies door wegverkeer in de stad aan de grootschalige $PM_{2,5}$ - en PM_{10} -concentraties was ongeveer $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hierdoor is het potentieel om fijn stof in de stad grootschalig te reduceren door het beperken van uitlaatemissies van EC en OC zeer beperkt. Als al het wegverkeer zou worden stopgezet in een groot gebied zou de $PM_{2,5}$ -concentratie door de vermindering van uitlaatemissies alleen tot 5 procent kunnen dalen op jaarbasis. Het effect van zo'n hypothetische maatregel op de fijnstofconcentratie is echter waarschijnlijk aanzienlijk groter, omdat ook de andere verkeersbijdragen wegvallen. Het gaat hierbij om de bijdrage door slijtage van banden, remmen en wegdek en de bijdrage door opwervend stof langs straten. De verkeersbijdrage aan de fijnstofconcentratie die niet uit de uitlaat komt is onzeker en mogelijk groter dan de bijdrage als gevolg van uitlaatemissies (Hoogerbrugge et al. 2010). De bijdragen van andere antropogene bronnen in het Rijnmondgebied, zoals industrie, raffinaderijen, luchtverkeer en scheepvaart aan de grootschalige EC- en



Elementair- en organisch koolstofconcentratie ($\mu\text{g koolstof}/\text{m}^3$) in PM₁₀ op straat-, stads- en regiolocaties, 2007-2008 (Keuken & ten Brink 2009).

Concentratieverschil tussen straatstation Bentickplein Rotterdam en stadsstation, op werkdagen



Variaties van uur tot uur in straatbijdrage van elementair en organisch koolstof ($\mu\text{g koolstof}/\text{m}^3$) aan PM₁₀: de verhoging gemeten op de straatlocatie Rotterdam Bentickplein, ten opzichte van een meetpunt in de buurt zonder verkeersbijdrage (Keuken & ten Brink 2009).

OC-concentraties in de stad kwamen niet significant uit de metingen naar voren (Keuken & ten Brink 2009).

Bijdrage van koolstofhoudend fijn stof in de straat

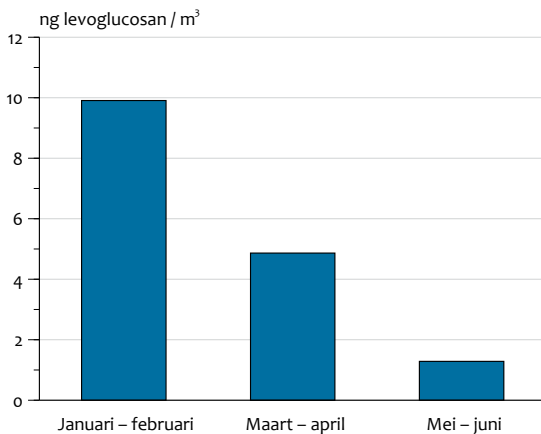
Op de straatlocatie Bentickplein in Rotterdam bleek de EC concentratie gemiddeld $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De OC concentratie was ongeveer de helft daarvan. Verkeer bleek de bron van EC op straatniveau, omdat duidelijke verkeerspieken zijn waargenomen (figuur 3.5). OC concentraties in de straat waren niet significant verhoogd ten opzichte van daarbuiten. Ook was de toename van de OC concentratie in de stad ten opzichte van de regio niet significant. Dit betekent dat de achtergrondbijdrage aan OC de concentraties in stad en straat domineerden.

Ook modelresultaten voor Rotterdam lieten een groot contrast zien tussen EC-concentraties langs drukke wegen en grootschalige EC-concentratie in de stad, veel groter dan voor PM_{2,5} en PM₁₀. Dit bevestigt dat EC een goede indicator is voor de verspreiding van fijnstofemissies door verkeer.

3.3.2 Scheepvaart

Een juiste schatting van scheepvaartemissies is essentieel bij het in kaart brengen van de effecten door scheepvaart op luchtkwaliteit en gezondheid in havensteden en kustgebieden. In Nederland is scheepvaart een belangrijke maar slecht gedocumenteerde emissiebron voor fijn stof en precursorgassen. Sinds 2000 zijn specifieke schattingsmethodieken ontwikkeld voor de emissies op de Noordzee, in havens en voor de binnenvaart. Denier van der Gon & Hulskotte (2010) geven een samenvatting

Meetlocatie Amsterdam-Vondelpark



Concentraties van een indicator voor de bijdrage van houtverbranding fijn stof (levoglucosan) in ng/m³. De concentraties zijn gemeten op de stadslocatie Amsterdam Vondelpark, gemiddeld over de maanden januari tot en met februari, maart tot en met april en mei tot en met juni 2006.

en beschrijving van de methoden om fijnstofemissies door scheepvaart te schatten zoals momenteel in gebruik bij de Nederlandse Emissie Registratie. Extra aandacht is gegeven aan de huidige emissiefactoren en activiteitsdata benodigd om emissies van stilliggende schepen en de binnenvaart te schatten. Een methodologie is geformuleerd om de fijnstofemissies af te leiden bij zwaveldioxide-emissies die aan het veranderen zijn door regelgeving. Op dit moment is de schatting dat de emissie van de Nederlandse binnenvaart circa 1 kiloton beslaat. Dit is ongeveer 15 procent van de fijnstofemissies door de binnenvaart in Europa.

3.3.3 Houtverbranding

Bij de verbranding van hout komen gassen en fijnstofdeeltjes vrij. De vrijkomende deeltjes bestaan voor het grootste deel uit organische koolstof en voor een kleiner deel uit elementair koolstof (roet). Tot nu toe werd aangenomen dat de bijdrage aan fijn stof in Nederland door houtverbranding erg klein was, omdat aardgas in Nederland de dominante brandstof voor verwarming van huishoudens en energieopwekking is. Bij de verbranding van aardgas komt nagenoeg geen fijn stof vrij. Volgens de Nederlandse Emissie Registratie is de fijnstofuitstoot door houtverbranding bij sfeerverwarming en kleinschalige energieopwekking minder dan 5 procent van de primaire antropogene emissies van fijn stof in Nederland. Hoeveel luchtverontreiniging er in werkelijkheid plaatsvindt bij gebruik van houtkachels is onzeker, want dat hangt sterk af van het soort brandstof, het type kachel en vooral het stookgedrag van mensen.

In veel andere Europese landen, bijvoorbeeld Duitsland en Frankrijk, vormt houtverbranding een van de belangrijkste bronnen van primair PM_{2,5}. Omdat emissieschattingen van fijn stof uit houtkachels notoir onzeker zijn, zijn grotere bijdragen mogelijk dan tot nu toe wordt aangenomen. Verkennende meetcampagnes zijn daarom uitgevoerd om een schatting te maken van de bijdrage door houtverbranding aan PM₁₀ en PM_{2,5} in de stad (Amsterdam) en in de landelijke omgeving

(Schoorl), een gebied waar gewoonlijk veel houtstook plaatsvindt (Weijers et al. 2010, artikel in voorbereiding).

Gemiddelde bijdrage is klein

Uit de metingen kwam een gedifferentieerd beeld naar voren over de bijdrage door houtverbranding aan fijn stof. In de stad bleek de bijdrage gemiddeld inderdaad beperkt tot ongeveer een procent (0,1 tot 0,2 µg/m³). Dit niveau kwam goed overeen met de jaargemiddelde bijdrage door houtverbranding zoals die jaarlijks wordt berekend voor de grootschalige PM₁₀-concentratiekaart (GCN). In de wintermaanden en in een landelijke omgeving waar meer houtstook plaatsvindt, was de bijdrage aan PM₁₀ substantieel groter: tussen 10 en 30 procent. In de wintermaanden kan de bijdrage door houtverbranding aan de PM₁₀ concentratie lokaal groot zijn. Houtverbranding, dat op lokaal niveau voor overlast kan zorgen vooral bij gevoelige groepen, zou tot overschrijdingen van de grenswaarde voor daggemiddelde PM₁₀ concentraties (50 µg/m³) kunnen zorgen. Dit is waarschijnlijk alleen het geval in bosrijke gebieden waar veel hout wordt gestookt.

Grote verschillen in tijd en ruimte

Tijdens de wintermaanden kwam de bijdrage van houtverbranding in Amsterdam ongeveer 8 maal hoger uit dan in de zomer (figuur 3.6). Op kortere tijdschaal waren de verschillen tussen zomer en winter nog groter: op weekbasis enkele µg/m³ als maximum in de winter tegenover minder dan 0,1 µg/m³ in de zomer. De meetcampagne in Schoorl was erop gericht om een situatie in kaart te brengen met een hoge bijdrage door houtverbranding. Over februari 2009 werd uit de metingen een gemiddelde bijdrage door houtverbranding afgeleid van 1 tot 4 µg/m³, een relatief aandeel van PM₁₀ van maximaal 30 procent. Deze bijdrage was van lokale herkomst.

Kennis over lokale bijdragen door houtverbranding is beperkt

De emissiebijdrage door houtverbranding wordt door de Nederlandse Emissie Registratie standaard meegenomen

als bron van primair uitgestoten fijnstofdeeltjes onder de noemer 'vuurhaarden'. Onder vuurhaarden vallen open en gesloten kachels en open haarden voor sfeerverwarming bij particulieren. De Nederlandse typekeuring van houtkachels is afgeschaft in 2004, en daarmee is teruggevallen op bestaande, minder scherpe, Europese typekeuring. In EU verband wordt gewerkt aan een aanscherping hiervan. Daarnaast zijn er moderne houtkachels die gestookt worden op houtpellets. Deze houtkachels vallen onder emissiebeperkende maatregelen voor de uitstoot van zwaveldioxide, stikstofoxiden en PM_{10} .

De metingen toonden aan dat de huidige emissie en verdeling in ruimte en tijd van fijn stof door houtverbranding voldoende lijkt te zijn om met modellen de jaargemiddelde bijdrage in steden te kunnen vaststellen. De concentratiebijdrage aan fijn stof door houtverbranding is echter seizoensgebonden en is op dag- of maandbasis en in bosrijke gebieden soms veel hoger. De kennis over de lokale bijdrage van houtverbranding is nauwelijks ontwikkeld vergeleken met de kennis rond de lokale bijdrage van bijvoorbeeld wegverkeer in straten. De lokale bijdrage bij stallen, op- en overslag en door verkeer is in kaart gebracht met modellen en metingen. Dit is nu alleen met verkennende metingen gedaan voor de bijdrage door houtverbranding, terwijl de bijdrage lokaal hoog kan zijn. Bovendien is de bijdrage gezondheidsrelevant. Het is onduidelijk in hoeverre houtverbranding een rol speelt bij overschrijdingen van de dagnorm voor PM_{10} en wat de blootstelling is van mensen aan verbrandingsaerosol als gevolg van houtverbranding. Om de lokale bijdrage van houtverbranding aan fijn stof beter in kaart te brengen zal de schatting van de fijnstofemissie door houtkachels en de verdeling in ruimte en tijd moeten verbeteren. Deze verbeteringslag wordt dringender als het gebruik van hout voor verwarming gaat toenemen. Boersma et al. (2009) geven recente emissieprojecties voor onder andere PM_{10} en $PM_{2,5}$ als gevolg van houtverbranding.

Noot

¹⁾ De stadsachtergrondconcentratie waarvoor een richtwaarde is vastgesteld in de Europese richtlijn (EU 2008b) is gedefinieerd als de concentratie op 'Stedelijke achtergrondlocaties': plaatsen in stedelijke gebieden waar de niveaus representatief zijn voor de blootstelling van de stedelijke bevolking in het algemeen.

Beleidsimplicaties

4

- PM_{10} bestaat gemiddeld voor 75-80 procent en $PM_{2,5}$ voor 85-90 procent uit antropogene (door de mens veroorzaakte) bestanddelen. Dit is ongeveer 25 procent (PM_{10}) en 20 procent ($PM_{2,5}$) meer dan wordt becijferd in de huidige luchtkwaliteitsrapportages. Het natuurlijke aandeel is ongeveer een derde minder in vergelijking met eerdere inzichten.
- Antropogene bestanddelen waarvan de bijdrage aan fijn stof nu niet of slechts ten dele wordt vastgesteld zijn bodemstof, koolstofhoudend fijn stof en het fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak en het met antropogeen fijn stof geassocieerde water.
- De emissiereducties die in Nederland en andere Europese lidstaten zijn doorgevoerd als gevolg van de brede Europese aanpak hebben netto voor grootschalige fijnstofconcentraties positief uitgekapt: zowel voor het halen van de grenswaarden als voor de verschillende antropogene bestanddelen die volgens de huidige inzichten als gezondheidsrelevant worden beschouwd.
- Maatregelen gericht op vermindering van metalen en TCM, vooral roet, hebben vanuit dat gezondheidsperspectief de prioriteit. In het stedelijke gebied en langs straten zijn maatregelen gericht op deze fracties bovendien nog effectiever, omdat de bijdragen daar groter waren dan op de meetlocaties in de landelijke omgeving.
- Herziening is wenselijk van de Regeling beoordeling luchtkwaliteit voor de zeezoutaf trek, omdat de bijdrage van zeezout aan de fijnstofconcentraties kleiner is dan tot nu toe werd aangenomen.

Op basis van de samenstellingsgegevens van PM_{10} en $PM_{2,5}$ is een aantal vragen beantwoord met het oog op de mogelijkheden om concentraties te verminderen om zo te voldoen aan de Europese grens- en richtwaarden voor PM_{10} en $PM_{2,5}$ (zie tekstbox Overzicht normen voor PM_{10} en $PM_{2,5}$ in hoofdstuk 1). Daarnaast liggen het halen van grenswaarden en gezondheidsverbetering niet noodzakelijkerwijs in het verlengde van elkaar, omdat niet alle bestanddelen van fijn stof even schadelijk zijn. In dat perspectief worden de resultaten bezien om het beleid, dat beide doelen nastreeft, te ondersteunen.

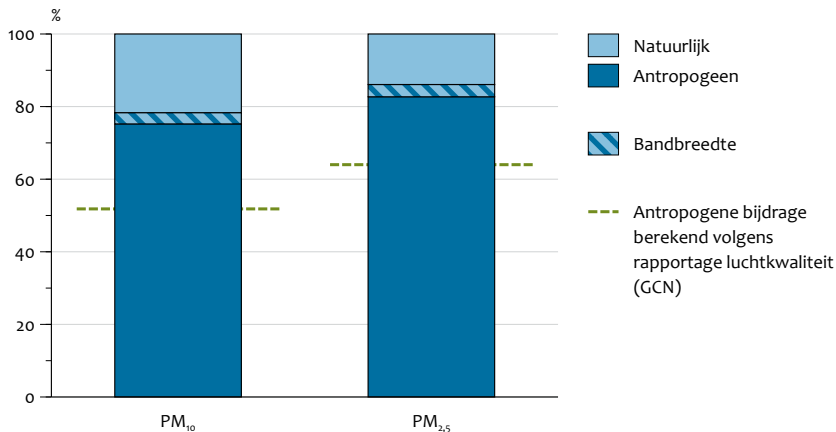
- Welk deel van fijn stof is van antropogene of van natuurlijke herkomst?
- Wat zijn beleidsstrategieën om fijnstofconcentraties te verminderen?
- Strookt de huidige zeezoutaf trek uit de Regeling beoordeling luchtkwaliteit met de nieuwe inzichten?

4.1 Welk deel van fijn stof is antropogeen dan wel natuurlijk?

De antropogene bijdrage aan fijn stof is dat deel dat gerelateerd is aan menselijk handelen en kan daarom

in principe worden beïnvloed door maatregelen. Fijn stof als geheel is zowel van natuurlijke als van antropogene oorsprong. Welk deel nu precies natuurlijk is dan wel antropogeen was tot dusver onzeker. De samenstellingsmetingen in BOP maakten het mogelijk om de scheidslijn tussen antropogeen en natuurlijk beter in kaart te brengen. Deze nieuwe inzichten zetten we hieronder in perspectief van de antropogene bijdrage zoals die wordt berekend voor de grootschalige concentraties voor Nederland (GCN-kaarten; Velders et al. 2009).

De GCN berekeningen lieten zien dat ten minste de helft van gemeten jaargemiddelde PM_{10} -concentraties van antropogene Nederlandse en Europese bronnen komt, zoals aangegeven in figuur 4.1. Van de andere helft, het 'niet-gemodelleerde' deel, was bekend dat het antropogene bestanddelen bevatte, maar onduidelijk was hoeveel (Matthijsen & Visser 2006). Schaap et al. (2010) geven een conservatieve schatting voor de antropogene bijdrage aan jaargemiddelde PM_{10} -concentraties van ongeveer 75 tot 80 procent op basis van de BOP-metingen. De BOP-metingen oormerken dus ongeveer een extra kwart van PM_{10} als antropogeen. Het aandeel antropogeen dat door de GCN-berekeningen werd vastgesteld was twee derde deel van de



Antropogeen en natuurlijk aandeel PM₁₀ en PM_{2,5}. De gestreepte lijnen geven aan welk deel tot dusver werd vastgesteld als antropogeen in de rapportages over luchtkwaliteit - GCN-kaarten - (Velders et al. 2009). De cijfers zijn de gemiddelden voor de stads- en regiolocties: Schiedam, Hellendoorn, Cabauw en Vredepeel, 2007-2008. De bandbreedte geeft de onzekerheid aan over het antropogene aandeel in het koolstofhoudend fijn stof (TCM); naar schatting de helft tot drie kwart van het koolstofhoudend fijn stof is antropogeen.

gemeten jaargemiddelde PM_{2,5} concentraties. Het door de BOP-metingen extra toe te kennen deel antropogeen bleek ongeveer 20 procent. Het antropogene aandeel PM_{2,5} is nu ongeveer 85 tot 90 procent. Zo is de schatting van het aandeel fijn stof van natuurlijke herkomst ongeveer 5 µg/m³ voor PM₁₀ en ongeveer 2 µg/m³ voor PM_{2,5}. Dit is circa 40 procent minder dan volgens Visser et al. (2001) en Buijsman et al. (2005).

Het extra verklaarde aandeel antropogeen in PM₁₀ (circa 6 µg/m³) en PM_{2,5} (circa 3 µg/m³) bestaat uit bijdragen van antropogene bronnen die nu niet, of niet voldoende, in de GCN berekeningen zijn opgenomen:

1. **SIA**; het gaat om een extra SIA-bijdrage. SIA-concentraties worden met de huidige GCN-berekeningen onderschat met circa 35 procent. Dit blijkt uit BOP-metingen en wordt bevestigd door andere onafhankelijke metingen in binnen- en buitenland (zie paragraaf 2.2.2).
2. **TCM**; het gaat om de primaire en secundaire TCM bijdragen
 - a. Het aandeel door primair geëmitteerde koolstofhoudende deeltjes. De onzekerheid rond de emissiegegevens is erg groot, omdat TCM voor een deel uit half-vluchtige bestanddelen bestaat. De werkelijke bijdrage zou daarom kunnen afwijken van de in GCN berekende bijdrage.
 - b. TCM bevat ook een aandeel secundair organisch aerosol dat wordt gevormd uit vluchtige organische stoffen (VOS). De vorming van secundair organisch aerosol uit VOS is niet meegenomen bij de GCN berekeningen. Het bestanddeel secundair organisch aerosol is zowel van natuurlijke als antropogene herkomst en de grootte ervan is op basis van de huidige metingen en modellen nog erg onzeker.
3. **Bodemstof**; het gaat om de bijdrage door bodemstof dat door opwerveling langs wegen en door landbouw-

activiteiten in de lucht komt. Deze fractie wordt niet meegenomen in de GCN-berekeningen.

4. **'Niet nader gespecificeerd'**; dit bestanddeel is niet nader te benoemen en bevat waarschijnlijk ook antropogene bestanddelen. Mogelijk gaat het hier om water dat geassocieerd is met vooral SIA, dat vrijwel helemaal van antropogene herkomst is. Het aandeel water wordt nu niet meegenomen in de GCN-berekeningen.

Deze antropogene aandelen zouden moeten worden meegenomen in de GCN berekeningen om de fijnstofconcentraties en het effect van maatregelen beter in kaart te kunnen brengen.

Aanpassingen om extra aandeel SIA in de GCN berekeningen te verrekenen hebben hierbij prioriteit. Hiervoor is vervolgonderzoek voorzien. Verder kan het antropogene aandeel 'niet nader gespecificeerd' worden meegenomen in de GCN berekeningen, als bevestigd wordt dat het grotendeels uit water bestaat. Het aandeel 'lift' dan mee met de veranderingen in de fracties waarmee het water wordt geassocieerd.

Aanpassingen van het aandeel TCM en bodemstof zijn minder vanzelfsprekend. De modellering van antropogene aandelen bodemstof en TCM zijn nog erg onzeker. De eerste oplossingen hiervoor, die in BOP zijn geïntroduceerd (Schaap et al. 2009; Denier van der Gon et al. 2010) moeten verder worden uitgewerkt. Een snelle verbetering van het modelinstrumentarium is echter voor bodemstof en TCM niet te verwachten, vooral de Modellering van koolstofverbindingen is nog slecht ontwikkeld. Bovendien is de effectiviteit om de antropogene bijdrage van bodemstof in Nederland met maatregelen te verminderen waarschijnlijk beperkt (Keuken et al. 2009).

4.2 Effectiviteit beleidsstrategieën

Nog niet alle plekken in Nederland voldoen aan de eisen van Europese regelgeving voor de fijnstofconcentraties. Het Nederlandse beleid richt zich er dan ook op om te komen tot een verlaging van de concentraties, zodat (op termijn) wel wordt voldaan aan de regelgeving.

Schadelijkheid van fijn stof verschilt per bestanddeel

De huidige inzichten zijn dat de schadelijkheid van fijn stof voor de gezondheid verschilt per bestanddeel en in samenhang met de blootstelling aan dat bestanddeel. Sommige delen van fijn stof zijn (veel) schadelijker dan andere (zie Fijn stof en gezondheid paragraaf 1.1). De aanwijzingen zijn echter nog onvoldoende om uit te sluiten dat bepaalde fracties een schadelijke werking hebben, afgezien van zeezout. Dat betekent dat de gezondheidswinst bij het halen van de grenswaarden voor PM_{10} en $PM_{2,5}$ afhankelijk is van het gevoerde emissiebeleid.

Europese regelgeving heeft brede aanpak luchtkwaliteit

De internationale – vooral Europese – regelgeving op het gebied van luchtverontreinigende stoffen is zo divers dat vrijwel alle antropogene bronnen van fijn stof zijn aangepakt. De aanpak van de bronnen vond plaats om verschillende redenen (zie ook paragraaf 6.2). Het halen van PM_{10} en $PM_{2,5}$ grenswaarden was daarbij maar een van de (secundaire) doelen. Europese regelgeving leidt tot grootschalige vermindering van stikstof en zwavelemisseries naar de lucht en zo tot vermindering van SIA concentraties. Daarnaast worden ook antropogene emissies teruggedrongen die bijdragen aan de bestanddelen TCM en metalen.

Effecten van maatregelen gericht op stikstof en zwavelemisseries

Maatregelen gericht op de vermindering van stikstofoxiden en ammoniakemissies blijken het effectiefst om fijnstofconcentraties grootschalig aan te pakken. De grootschalige daling van fijnstofconcentraties werken ook lokaal door. Deze aanpak is ook onderbouwd door eerdere studies voor Nederland (Erisman & Schaap 2004; Denier van der Gon et al. 2009). Als deze maatregelen bovendien in Nederland zelf of in de directe nabijheid worden getroffen, kan het effect nog groter zijn als verhoogde fijnstofconcentraties worden vermindert.

De bijdragen aan fijn stof uit zwaveldioxide is de afgelopen decennia sterk verminderd door Europese emissieregelgeving. De overgebleven grote bronnen, die belang voor Nederland, zijn de (zee)scheepvaart en industrie, energieproductie en raffinaderijen. Substantiële winst voor fijn stof is nog te verwachten van emissiereducties bij zeescheepvaart.

Vermindering van zwaveldioxide-, stikstofoxiden- en ammoniakemissies naar de lucht heeft ook veel effect op de kwaliteit van de ecosystemen (minder verzuring en vermisting). Noordwest-Europa heeft een zeer hoge emissiedichtheid van stikstofcomponenten en relatief veel natuur die gevoelig is voor verzuring en vermisting. Kritische waarden voor depositie worden nog steeds overschreden. De grootste overschrijdingen zijn die voor stikstof,

ondanks dat het nationale en Europese beleid de mate van overschrijding heeft teruggebracht (Hettelingh et al. 2010). Dat beleid heeft dus een positieve werking gehad. Positieve gezondheidseffecten van stikstof en zwavelbeleid in relatie tot fijn stof lijken beperkt voor Nederland volgens de huidige inzichten.

Effecten van maatregelen gericht op koolstof en metalen

Maatregelen gericht op vermindering van metalen en TCM, vooral roet, hebben prioriteit vanuit dat gezondheids perspectief. 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. Dit soort maatregelen hebben meer effect in stedelijk gebied waar de bijdragen van deze bestanddelen hoog zijn en veel mensen wonen.

Vermindering van verbrandingsaerosol, dat zowel metalen als koolstofhoudend fijn stof bevat, gebeurt onder andere als gevolg van Europese normen voor uitlatemissies van voertuigen. Nederland heeft in het verleden extra maatregelen getroffen gericht op vermindering van verbrandingsaerosol (zie bijvoorbeeld Hammingh et al. 2005). Dit was dus een verstandige keus met het oog op de gezondheid.

Bodemstofmaatregelen

Er is geen Europees beleid om de bijdrage door bodemstof te verminderen. Maatregelen daartoe zijn anders van aard dan 'end of pipe'-technologieën om bijvoorbeeld zwaveldioxide-emissies te verminderen. Maatregelen bij bodemstof zijn het tegengaan van constant aanwezige verstuiving/verwaaiing. Het nat reinigen of vegen van wegen om de bijdrage door opwervend bodemstof te verminderen, blijken in Nederland en Duitsland niet effectief (zie bijvoorbeeld Keuken et al. 2009). Er zijn landbouwtechnieken die de bodemstofbijdrage als gevolg van landbouwactiviteiten verminderen (Baker et al. 2005). Deze worden vooral toegepast om verlies van bodemvruchtbaarheid tegen te gaan. Het deel dat verstuift is namelijk veelal het meest vruchtbare deel. De effectiviteit van maatregelen om verstuiving bij landbouwactiviteiten te beperken voor het verlagen van de fijnstofconcentratie is onbekend.

Europese aanpak voor grootschalige fijnstofconcentraties is netto positief

De emissiereducties die in Nederland en andere Europese Lidstaten zijn doorgevoerd als gevolg van de brede Europese aanpak hebben voor grootschalige fijnstofconcentraties netto positief uitpakket: zowel voor het halen van de grenswaarden als voor de verschillende antropogene bestanddelen die volgens de huidige inzichten als gezondheidsrelevant worden beschouwd (zie hoofdstuk 5 en 6). In het brede Europese perspectief met betrekking tot lucht, waarbij niet alleen fijn stof maar ook andere luchtthema's worden meegenomen, blijkt de speelruimte van de Europese lidstaten beperkt om zelf de emissie van specifieke stoffen grootschalig te verminderen. Het risico is niet aanwezig dat een land zich alleen richt op vermindering van de minder gezondheidsrelevant geachte zwavel- en stikstofemissies, om zo fijnstofgrenswaarden sneller te halen.

Zeezoutaf trek

De Europese luchtkwaliteitsrichtlijn bepaalt dat de bijdrage van natuurlijke bronnen aan PM_{10} , waaronder zeezout, in mindering mogen worden gebracht van overschrijdingen van grenswaarden. De grondslag voor deze bepaling is het streven om een gelijk uitgangspunt te creëren voor Europese lidstaten bij de aanpak van hun luchtkwaliteit, zodat geen extra inzet van lidstaten wordt gevraagd omdat er toevallig een hoge natuurlijke bijdrage is (level playing field). De keerzijde is dat de grenswaarden voor fijn stof door aftrek van natuurlijke bijdragen een iets lagere bescherming van de gezondheid geven, omdat zeezoutaf trek feitelijk leidt tot een versoepeling van de norm. Ook biedt een dergelijke verruiming van de grenswaarde de mogelijkheid voor een extra antropogene bijdrage die – in tegenstelling tot zeezout – waarschijnlijk wel schadelijk is. Er treedt dan in feite opvulling tot de grenswaarde op. Lidstaten met een buitengewone bijdrage door natuurlijke bronnen

moeten dit wel kunnen aantonen. In Nederland wordt zowel bij de grenswaarde voor daggemiddelde als jaargemiddelde PM_{10} -concentraties zeezout in mindering gebracht. Hoeveel zeezout buiten beschouwing mag blijven is vastgelegd in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit (Staatscourant 2007). Voor de jaargemiddelde PM_{10} -concentratie geldt een aftrek van 3 tot 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ die verschilt per gemeente. Voor de daggemiddelde PM_{10} -concentratie geldt dat het aantal overschrijdingsdagen met 6 dagen mag worden verminderd. Dit betekent dat jaarlijks voor PM_{10} niet 35 maar 41 dagen overschrijding zijn toegestaan met daggemiddelde concentraties van 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of hoger. De basis voor de huidige regeling voor de zeezoutaf trek is onzeker door de beperkingen van de metingen en modelberekeningen (Hoogerbrugge et al. 2005). In BOP is een aparte studie gewijd aan zeezout om de onzekerheden te verkleinen (Manders et al. 2009).

Mogelijk specifiek lokaal beleid nodig

Het Europese luchtbeleid heeft vooral effect op grootschalige concentraties. Op lokale schaal blijken PM_{10} en $PM_{2,5}$ geen goede indicator, vooral niet voor locaties met veel verkeer of andere plekken waar de concentratie verbrandingsaerosol hoog is, terwijl de bijdrage aan fijn stof beperkt is. Op lokale schaal bestaat wel het risico dat maatregelen worden getroffen die de fijnstofconcentratie verminderen, maar niet gezondheidsrelevant zijn. Een voorbeeld hiervan is het plaatsen van schermen langs wegen zonder bewoning in de buurt om ter plekke de PM_{10} of stikstofdioxidegrenswaarde te halen.

Om concentraties op lokale schaal verder te verminderen zijn specifieke maatregelen gericht op de directe emissie van deeltjes effectief. In straten gaat het dan vooral om maatregelen gericht op emissievermindering van metalen en roet (gekenmerkt door elementair koolstof in TCM). Emissievermindering van deeltjes organisch koolstof (OC) lijkt beperkt te kunnen bijdragen aan vermindering van de lokale fijnstofconcentratie.

Uit Smeets et al. (2007) bleek dat de kostenoptimale strategie voor de verbetering van de blootstelling van de bevolking aan PM_{10} over het algemeen ook kosteneffectieve oplossingen opleveren voor de vermindering van het aantal PM_{10} -knelpunten. Strengere Europese PM_{10} -emissionormen voor vrachtoertuigen (roetfilter) vormen hierop een uitzondering. Deze maatregel heeft namelijk een veel groter effect op de PM_{10} -concentratie langs snelwegen dan op de PM_{10} -blootstelling. Vanuit gezondheidsperspectief geldt deze maatregel als bijzonder relevant.

4.3 Strookt de huidige zeezoutaf trek uit de Regeling beoordeling luchtkwaliteit met de nieuwe inzichten?

De Europese luchtkwaliteitsrichtlijn bepaalt dat de bijdrage van natuurlijke bronnen aan PM_{10} , waaronder zeezout, in mindering mogen worden gebracht van overschrijdingen van

grenswaarden. Zeezoutaf trek heeft zowel argumenten voor als tegen toepassing (zie tekstbox Zeezoutaf trek).

De belangrijkste inzichten uit het BOP onderzoek zijn:

- De jaargemiddelde bijdrage van zeezout bleek tijdens de BOP periode 2007-2008 minder groot dan gedacht. De metingen gaven een bijdrage van 2 tot 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Op dit moment is er per gemeente een hogere aftrek vastgesteld van 3 tot 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de jaargemiddelde PM_{10} -concentratie.
- De huidige aftrek van zeezout, op basis van meerjarig gemiddelde zeezoutconcentraties, is te hoog bij hoge jaargemiddelde zeezoutstofconcentraties en te laag bij lage jaargemiddelde zeezoutconcentraties. De variabiliteit van jaar tot jaar in de zeezoutconcentratie is groot (± 30 procent).
- De bijdrage van zeezout aan daggemiddelde PM_{10} -concentraties is zeer variabel in tijd en ruimte. Dagen waarop de grenswaarde voor daggemiddelde PM_{10} concentraties wordt overschreden zijn te wijten aan incidentele bronbijdragen (vuurwerk, paasvuren) of aan hogere voorbelasting bij aanvoer van lucht over land in plaats van over de Noordzee of Atlantische oceaan. Dagen met wind van zee waarop toch een overschrijding van de dagnorm plaatsvindt zijn zeldzaam.
- De huidige zeezoutaf trek gaat bij het vaststellen van het aantal overschrijdingsdagen uit van een constante bijdrage van zeezout voor heel Nederland. Uit de huidige meetgegevens met het LML blijkt echter dat de bijdrage van zeezout op overschrijdingsdagen verschilt tussen Oost- en West-Nederland (west gemiddeld ongeveer 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hoger dan oost).
- Het aantal overschrijdingsdagen dat overblijft bij een vaste zeezoutaf trek is afhankelijk van de jaargemiddelde PM_{10} concentratie. Bij een verdere afname van fijnstofconcentraties, conform de projecties, zal ook het aantal overschrijdingsdagen verder afnemen. Deze vermindering van het effect van zeezoutaf trek op de overschrijdingsdagen is echter niet meegenomen in de huidige projecties.

- Als gevolg van het nationale en internationale beleid lijken de PM_{10} concentraties verder af te nemen (zie paragraaf 5.1). Sinds 2008 is het aantal overschrijdingen van de dagnorm, zonder zeezoutaftrek, volgens de metingen met het LML niet meer boven het toegestane aantal van 35 dagen gekomen (zie www.lml.rivm.nl). Volgens berekeningen blijken er op sommige plekken met hoge lokale emissies door verkeer, landbouw of op en overslag nog wel meer overschrijdingsdagen te zijn dan het toegestane aantal (zie bijvoorbeeld Velders et al. 2009).

Op basis van bovenstaande inzichten rond de bijdrage van zeezout aan de fijnstofconcentraties in Nederland is herziening wenselijk van de Regeling beoordeling luchtkwaliteit met betrekking tot de zeezoutaftrek. Natriummetingen van het LML, als indicator voor zeezout, in combinatie met modelberekeningen van zeezout bieden mogelijk de basis voor een verbeterde bepaling van de zeezoutaftrek, rekening houdend met de grote variabiliteit van de zeezoutconcentratie in ruimte en tijd.

5

Hoe effectief is het beleid?

- De PM₁₀-concentraties zijn tussen 1993 en 2007 gemiddeld met 0,7 tot 1,0 µg/m³ per jaar gedaald. Over die periode was er een relatieve concentratiedaling van 24 tot 32 procent. Binnen de grote onzekerheidsmarges blijkt de waargenomen concentratiedaling in lijn met de antropogene emissieontwikkelingen (van menselijke oorsprong).
- De daling komt voor ongeveer twee derde door afnemende emissie van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak. De rest van de daling (een derde) komt door minder primaire deeltjes, secundair koolstof en waterhoudende deeltjes. Voor Nederland is de PM₁₀ trend nu geduid op basis van de geregistreerde antropogene emissies in binnen- en buitenland.
- Het verloop van de daling van jaar tot jaar is moeilijk te duiden door de grote meetonzekerheid in combinatie met de weerge relateerde jaar-tot-jaar-variaties van wel 2,5 µg/m³. Het tempo waarmee de emissies en concentraties dalen is na 2000 afgenomen. De trend tussen 2000 en 2007 is niet significant.
- Er zijn verschillen tussen de trend van PM₁₀ en van de antropogene bestanddelen ervan. De gezondheidswinst is daardoor afhankelijk van welk onderdeel de beste indicatie geeft voor de gezondheidsschade.
- Als zwarte rook de (belangrijkste) maat voor de gezondheidseffecten van fijn stof is, dan heeft het gevoerde beleid mogelijk meer gezondheidswinst opgeleverd dan op basis van de trend in PM₁₀ kan worden afgeleid.
- Alle PM_{2,5} normen zijn waarschijnlijk haalbaar met het huidige en voorgenomen nationale en Europese emissiebeleid. De verwachte PM_{2,5} concentratiedaling in steden tussen 2010 en 2020 in Nederland zal voor ongeveer een derde komen door de afname van primair PM_{2,5} emissies.
- De doelstelling die Nederland krijgt opgelegd om de gemiddelde PM_{2,5} concentratie in steden te reduceren tussen 2010 en 2020, hangt af van de metingen in 2009, 2010 en 2011. Een doelstelling van 15 procent lijkt waarschijnlijk, maar ook 20 procent is nog mogelijk. In het laatste geval is het huidige en voorgenomen nationale en Europese emissiebeleid waarschijnlijk ontoereikend.

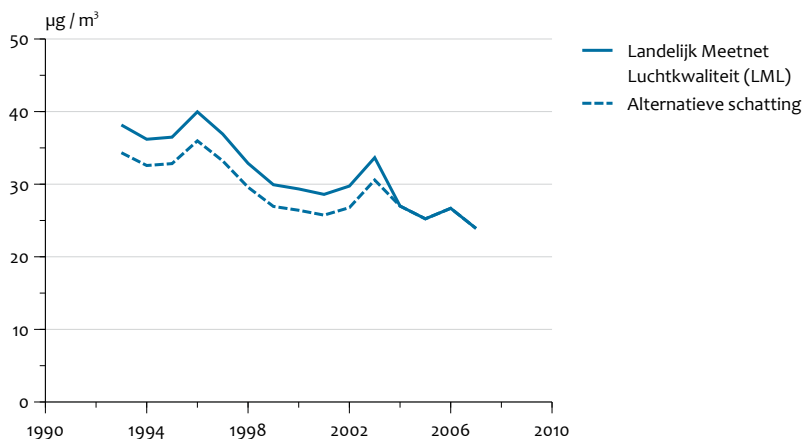
In BOP zijn analyses gemaakt van het historische verloop van de fijnstofconcentraties en verkenningen voor de toekomst op basis van het gevoerde of nog te voeren beleid voor fijn stof (Matthijssen & ten Brink 2007; Matthijssen et al. 2009; Hoogerbrugge et al. 2010). In dit hoofdstuk komen de belangrijkste resultaten uit deze studies terug aan de hand van de volgende vragen:

- Wat is de trend in PM₁₀ en bestanddelen en welke antropogene emissiereducties zijn hiervoor verantwoordelijk?
- Wat zijn de huidige niveaus van PM_{2,5} en zijn de Europese normen voor PM_{2,5} haalbaar in Nederland?

- Wat is op basis van de trends te zeggen over de effecten ervan op de gezondheid?

5.1 Trends in PM₁₀ en bestanddelen

Over de fijnstofftrend bestaan veel vragen, ook elders in Europa. In de literatuur is gesignaleerd dat PM₁₀-concentraties in Europa niet meer lijken af te nemen, terwijl de relevante emissies nog wel dalen. Begrip van de trend in fijn stof is een voorwaarde om de effectiviteit van het beleid te kunnen beoordelen.



Jaargemiddelde PM₁₀-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 (zie paragraaf 1.1) en de gestreepte lijn geeft een alternatieve (lagere) schatting van de gemiddelde PM₁₀-concentratie (Hoogerbrugge et al 2010).

De afgelopen twee decennia is op Europees en nationaal niveau veel luchtbeleid tot uitvoer gebracht, onder andere om de luchtkwaliteit te verbeteren. Het luchtbeleid heeft effect gehad op de PM₁₀- en PM_{2,5}-concentraties in Nederland. Ook specifieke bestanddelen van fijn stof zijn opvallend gedaald. PM₁₀ bestaat uit veel verschillende bestanddelen met verschillende bronkarakteristieken. De trend in de PM₁₀-concentraties wordt bepaald door factoren als emissie, verspreiding, chemie en verwijdering van al deze componenten. Een trend in PM₁₀ kan worden toegedicht aan beleidsmaatregelen op lokale, nationale en vooral Europese schaal.

De metingen van PM₁₀ in Nederland voor regiolocaties (figuur 5.1) laten zien dat fijnstofconcentraties een dalende lijn laten zien sinds 1993. Wel zijn er grote variaties van jaar tot jaar. Hoge concentraties treden op bij droge (warme) zomers en droge (koude) winters. De meetgegevens van voor 2004 zijn erg onzeker. Dit is aangegeven met de alternatieve (lagere) schatting. Het verloop van de alternatieve schatting tussen 1993 en 2007 lijkt plausibeler ten opzichte van het verloop op stads- en straatlocaties en valt binnen de grote onzekerheidsmarge van de metingen van voor 2004 (zie Hoogerbrugge et al. 2010). Uitgaande van de bandbreedte die door beide reeksen wordt gevormd zijn de PM₁₀-concentraties tussen 1993 en 2007 met 0,7 tot 1,0 µg/m³ per jaar gedaald.

Bestanddelen van fijn stof die voor het overgrote deel van antropogene herkomst zijn laten in Nederland ook een dalende trend zien (figuur 5.2).

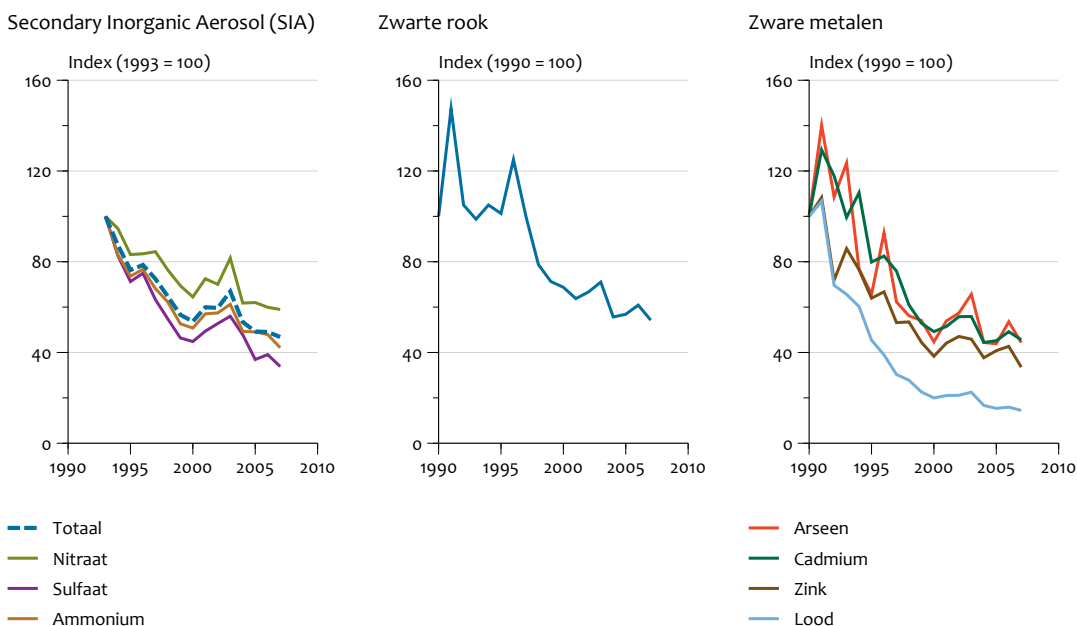
De trends in de verschillende antropogene bestanddelen (figuur 5.2) komen in gedrag overeen met de trend in PM₁₀: de grootste daling treedt op tussen 1990 en 2000, waarna de trend afvlakt of zelfs stabiliseert. Om een stabilisatie van de concentratie significant te kunnen onderscheiden van een daling zijn echter ten minste 10 jaar metingen nodig. Alleen zwarterookmetingen laten een continuerende daling zien na 2000.

Als zwarte rook als maat wordt genomen voor verbrandingsaerosol, dan is de bijdrage van verbrandingsaerosol aan fijn stof navenant gedaald. Dit is het gevolg van de toepassing van allerlei emissiebeperkende maatregelen, zoals de introductie van emissiestandaarden voor voertuigen en van roetfilters op diesellootvoertuigen. In steden blijkt een trend in verbrandingsaerosol op basis van zwarterookmetingen niet eenduidig vast te stellen door de invloed van lokale bijdragen. Op de LML-metlocatie Vlaardingen lijkt de zwarterookconcentratie stabiel of zelfs licht stijgend (Beijk et al. 2009), terwijl de zwarterookconcentratie op andere plekken in de Rijnmond sterk is gedaald ten opzichte van de regio (Keuken & ten Brink 2009).

Antropogene emissieveranderingen in Europa en zelfs daarbuiten hebben waarschijnlijk geleid tot een lichte daling van de PM₁₀-concentratie in de periode 1993–2007. Met berekeningen met het OPS model in combinatie met metingen is een schatting gemaakt van het effect van de antropogene emissieveranderingen op de PM₁₀-concentraties tussen 1993 en 2007 (figuur 5.3). Relevante emissies voor PM₁₀ zijn zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak, vluchtige organische stoffen en primair geëmitteerde deeltjes.

Bij deze analyse is rekening gehouden met alle antropogene bijdragen die kunnen worden bepaald op basis van geregistreerde antropogene emissies. Te weten:

- De bijdrage door het fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak (SIA). Uit de BOP meetgegevens bleek dat de SIA-bijdrage aan PM₁₀ ongeveer 50 procent hoger is dan op basis van historische metingen en berekeningen (zie paragraaf 2.2.2). Dit heeft als gevolg dat het gevoerde beleid gericht op de emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak mogelijk een groter aandeel in de daling van de PM₁₀-concentraties heeft gehad dan tot dusver is berekend. De opbouw van de PM₁₀-trend op basis van de bestanddelen is daarom opgesplitst in twee mogelijkheden:



Gemiddelde trend van een aantal fijnstofbestanddelen voor regiolocaties in Nederland op basis van metingen uit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit: secundair anorganisch aerosol op fijn stof⁹: nitraat, sulfaat en ammonium en het totaal; zwarte rook; zware metalen op fijn stof⁹: arseen, cadmium, zink en lood (Hoogerbrugge et al. 2010).

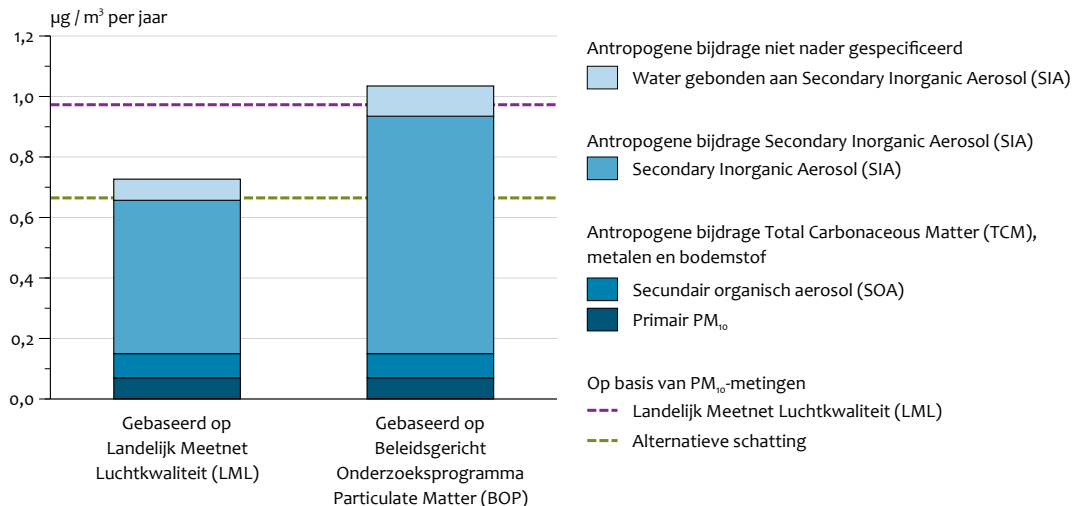
- Linkerbalk in figuur 5.3 geeft de bijdrage van de SIA-concentratieverandering aan de PM_{10} -concentratiedaling tussen 1993 en 2007 volgens de historische SIA-metingen met het LML.
- Rechterbalk in figuur 5.3 geeft de maximale bijdrage van de SIA-concentratieverandering aan de PM_{10} -concentratiedaling tussen 1993 en 2007. Zo'n grotere bijdrage is het mogelijke gevolg van een 50 procent groter SIA-aandeel in PM_{10} , zoals is gebleken uit de BOP-metingen. De mogelijke extra daling van de SIA-concentraties tussen 1993 en 2007 is naar schatting maximaal $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar.
- Bijdrage door water aan de PM_{10} -concentratiedaling. Water maakt onderdeel uit van fijn stof. Als hygroscopische fijnstofbestanddelen afnemen, dan neemt ook de daarmee geassocieerde hoeveelheid water af. Het aandeel SIA domineert de totale hoeveelheid hygroscopische bestanddelen in fijn stof. De hoeveelheid water gebonden aan SIA daalt naar schatting proportioneel met de SIA-concentratiebijdrage tot $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar.
- De bijdrage door antropogeen secundair organisch aerosol aan de PM_{10} -concentratiedaling. Antropogene emissies van vluchtige organische stoffen zijn tussen 1990 en 2007 met ongeveer 60 procent gedaald. Hierdoor is de bijdrage van antropogeen secundair organisch aerosol aan PM_{10} waarschijnlijk gedaald, naar schatting met iets minder dan $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar.
- De bijdrage door primair PM_{10} aan de PM_{10} -concentratiedaling. Primair PM_{10} omvat alle direct uitgestoten deeltjes en bestaat uit een veelheid van bestanddelen. De belangrijkste componenten zijn: elementair en organisch koolstof, metalen en bodemstof. De geregistreerde primair PM_{10} -emissies zijn onzeker voor de koolstofbestanddelen en bevatten maar een klein deel van het antropogene

bodemstof: namelijk de primair PM_{10} -emissie als gevolg van wegdekslijtage. De rest van de antropogene bodemstofemissies, inclusief de emissie door opwerveling langs wegen, zijn erg onzeker en niet verrekend in het aandeel primair PM_{10} in figuur 5.3.

De waargenomen trend in de PM_{10} -concentraties en zijn belangrijkste samenstellende bestanddelen is in overeenstemming met de geregistreerde ontwikkelingen in de emissies. Hoewel er op het oog een contradictie was: 'concentratie stabiel, emissies (licht) dalend'. De onzekerheden zijn echter groot om die contradictie te kunnen staven. De onzekerheid in de gemeten PM_{10} trends is groot onder andere door de sterke invloed van de weersomstandigheden op de concentraties, maar ook omdat metingen van fijn stof onzeker zijn (20 procent). De meetonzekerheid is inherent aan de Europese referentiemethode voor het bepalen van fijnconcentraties en kan waarschijnlijk met technische aanpassingen niet verder worden verkleind. Door het aantal metingen te verhogen kan de gemiddelde concentratie wel met meer zekerheid worden vastgesteld.

5.2 $PM_{2,5}$ en de nieuwe normen

In 2008 stelde de Europese richtlijn voor luchtkwaliteit normen vast voor de fijnere fractie van fijn stof ($PM_{2,5}$). Nederland is bezig het beleid, de monitoringsmethoden en modellen voor fijn stof aan te passen om aan de eisen voor $PM_{2,5}$ te voldoen. Met twee verschillende verkenningen heeft het BOP-onderzoek ondersteuning verleend aan ten eerste het Europese beleidsproces rond de totstandkoming van de normen (Matthijsen & ten Brink 2007) en vervolgens aan het



PM₁₀ concentratieverandering (µg/m³ per jaar) tussen 1993 en 2007, gestreepte lijnen op basis van de PM₁₀-metingen (zie figuur 5.1) en antropogene bestanddelen: secundair anorganisch aerosol, primair PM₁₀, secundair organisch aerosol en water gebonden aan secundair anorganisch aerosol (Hoogerbrugge et al. 2010).

nationale beleid om zicht te krijgen op de haalbaarheid van de verschillende afgesproken normen voor PM_{2,5} in Nederland en de EU (Matthijssen et al. 2009).

5.2.1 Het verloop van de PM_{2,5}-concentraties in Nederland

In Nederland wordt PM_{2,5} sinds enkele jaren gemeten volgens de referentiemethode die dateert van 2005 (Europese Normen (EN) 14907 2005). Figuur 5.4 geeft het verloop van jaargemiddelde-concentraties op regio-, stads- en straatlocaties weer sinds 2006. Het gemiddelde en het bereik is weergegeven per type locatie.

Concentraties zijn stabiel of lijken licht te dalen. De gegevensbasis is echter nog te klein om een trend significant te kunnen vaststellen. PM_{2,5}-concentraties op regiolocaties in 2009 hadden een relatief groot bereik van 11 tot 20 µg/m³ (gemiddeld 15 µg/m³). Over het algemeen zien we dat de niveaus op de verschillende typen locaties gemiddeld maar weinig verschillen. De kleine verschillen bleken ook uit de metingen in BOP (zie hoofdstuk 2).

De PM_{2,5} concentraties in de stad (op stadsachtergrondlocaties) zijn van belang omdat die de basis vormen voor de gemiddelde blootstellingsindex (GBI) – de 3 jaarsgemiddelde concentratie op een aantal stadslocaties. Dit aantal heeft Nederland vastgesteld op 12 (zie Matthijssen et al. 2009 voor ligging van de 12 stadslocaties). Voor de GBI zijn in 2008 twee Europese normen opgesteld (zie tekstbox Overzicht normen voor PM₁₀ en PM_{2,5} in hoofdstuk 1). De gemiddelde concentratie in 2009 bleek 17,4 µg/m³. Gemiddeld over 2007, 2008 en 2009 is het 17,8 µg/m³ en is daarmee net lager dan 18 µg/m³. Bij een GBI in 2010 – het gemiddelde van 2009, 2010 en 2011 – die hoger is of gelijk aan 18 µg/m³, geldt een verminderingsdoelstelling voor de GBI van 20 procent in 2020 ten opzicht van 2010; dit wordt het geval als in 2010 en 2011 de gemiddelde PM_{2,5} concentratie in de stad 18,3 µg/m³ of hoger is. Bij lagere PM_{2,5}-concentraties in 2010 en 2011 geldt een doelstelling van 15 procent. Het zal er dus

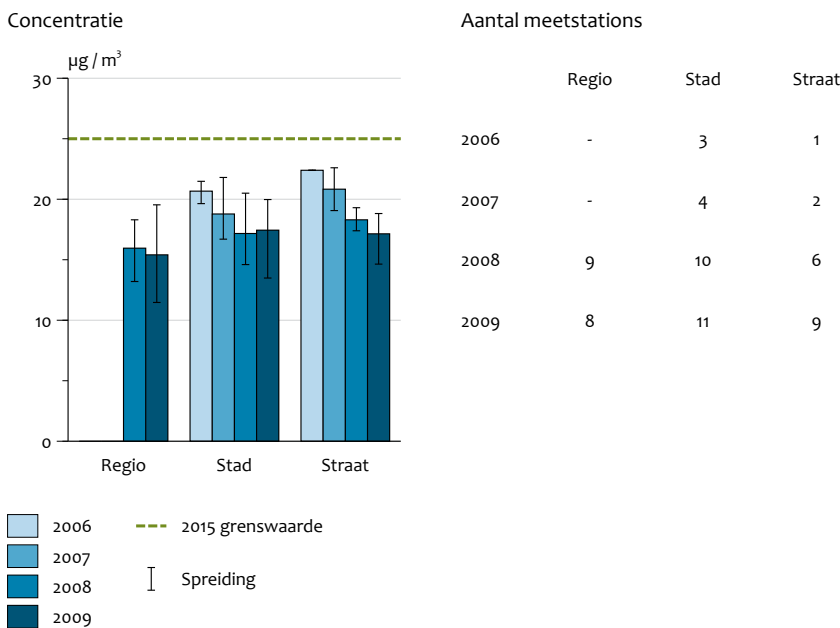
om spannen welke doelstelling Nederland opgelegd krijgt. Overigens is een verschil van enkele tienden µg PM_{2,5}/m³ – 18 of 18,3 µg/m³ – niet significant meetbaar. Het Europese samenwerkingsverband van nationale referentielaboratoria voor luchtkwaliteit (AQUILA 2009) hebben de significantie van een GBI-vermindering aan de orde gesteld en hoe hiermee bij het voldoen aan de PM_{2,5} normen moet worden omgegaan.

5.2.2 In hoeverre zijn de normen voor PM_{2,5} haalbaar in Nederland?

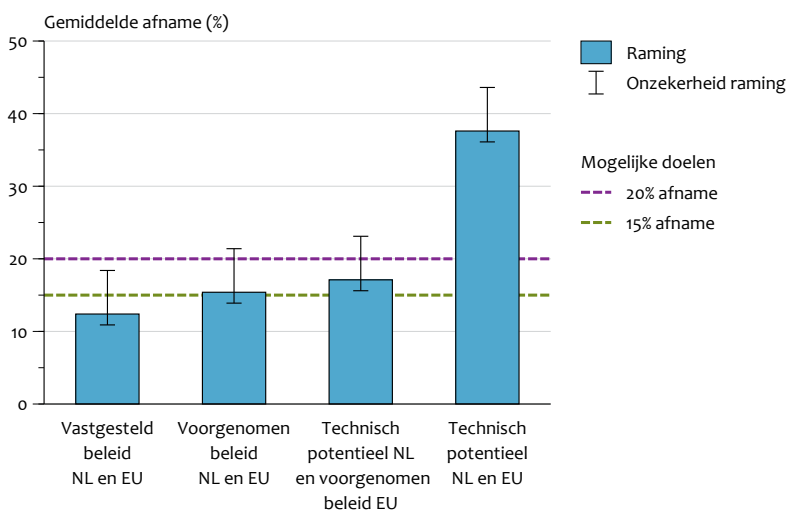
Het is waarschijnlijk dat met het huidige en voorgenomen nationale en Europese beleid alle grens- en richtwaarden voor PM_{2,5} op tijd kunnen worden gehaald, bij gemiddelde weersomstandigheden. De PM_{2,5} normen lijken daarmee niet strenger dan de bestaande grenswaarden voor PM₁₀. De onzekerheden in deze beoordeling zijn echter groot. Daarom kan een zeer beperkt aantal overschrijdingen van de 25 µg/m³ richtwaarde langs drukke straten in 2010 niet worden uitgesloten.

Ongunstige weersomstandigheden kunnen leiden tot meer overschrijdingen, mogelijk ook van de 25 µg/m³ grenswaarde, in 2015. De blootstellingsverminderingdoelstelling (BVD) is een richtwaarde voor de nationaal gemiddelde PM_{2,5} concentratie op stadsachtergrondlocaties tussen 2010 en 2020. Op theoretische grondslag lijkt een BVD van 15 procent net met voldoende significantie gemeten te kunnen worden, gegeven de onderzochte PM_{2,5} monitoringset-up. De BVD lijkt de moeilijkst haalbare PM_{2,5}-norm.

Nu is het nog een richtwaarde (een inspanningsverplichting), maar de Europese Commissie zal bij evaluatie van de richtlijn in 2013 mogelijk voorstellen indienen om de nationale verplichtingen voor de blootstellingsvermindering in steden juridisch bindend te maken (resultaatverplichting).



Jaargemiddelde PM_{2,5}-concentratie (µg/m³) voor regio-, stads- en straatlocaties op basis van metingen volgens de referentiemethode in 2006 tot en met 2009. Gegevensbronnen: Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML), Milieudienst Rijnmond (DCMR), GGD Amsterdam.



Afname van de PM_{2,5}-concentratie in steden – de gemiddelde blootstelingsindex – tussen 2010 en 2020 ten opzichte van 2010 bij verschillend beleid (Matthijsen et al. 2009; PBL 2009a)

Figuur 5.5 laat zien dat een BVD van 15 procent volgens huidig vastgesteld en voorgenomen nationaal en Europees beleid waarschijnlijk wordt gehaald. Om een afname van 20 procent te realiseren is waarschijnlijk additioneel nationaal en Europees beleid nodig. De onzekerheid in de ramingen houdt rekening met een mogelijk groter effect op de fijnstofconcentraties van maatregelen die de emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak verminderen.

De concentratieafnamen in figuur 5.5 zijn het resultaat van berekeningen op basis van een aantal emissiescenario's

gebruikt bij de studie ter voorbereiding van de herziening van de NEC-richtlijn volgens Amann et al. (2008).

5.3 Effecten van het gevoerde beleid en de gezondheid

Het gevoerde beleid voor deeltjesvormige luchtverontreiniging strekt zich uit over de meeste antropogene bronnen van zowel deeltjes als precursorgassen van fijn stof. Ook beleid gericht op andere milieuthema's, zoals het tegengaan van het broeikaseffect, heeft neveneffecten op fijn stof

gehad (zie ook paragraaf 6.2; Beschouwing fijnstofbeleid in een breder kader).

PM₁₀-concentraties op regiolocaties zijn tussen 1993 en 2007 met 24 tot 32 procent gedaald. Er zijn grootschalig verschillen gemeten tussen de trends van enerzijds PM₁₀ en anderzijds de antropogene bestanddelen ervan. De verwachte gezondheidswinst is daarmee sterk afhankelijk van welk onderdeel de beste indicatie geeft voor de gezondheidsschade.

De grootste bijdrage (ongeveer twee derde) van de PM₁₀-concentratiedaling is het gevolg van zwaveldioxide-, stikstofoxiden- en ammoniakemissiedalingen. Volgens de huidige inzichten is de gezondheidswinst als gevolg van deze daling waarschijnlijk maar beperkt.

Van emissiereductie van primaire deeltjes zou meer gezondheidswinst verwacht kunnen omdat het voor een belangrijk deel uit koolstofbestanddelen en metalen bestaat. De daling in de primaire PM₁₀-concentratie uit geregistreerde bronnen droeg ongeveer 10 procent bij aan de daling van PM₁₀ tussen 1993 en 2007. In die periode is het primaire PM₁₀ bestanddeel op regiolocaties met gemiddeld 16 procent afgenomen, zo bleek uit de berekeningen. Er zijn geen metingen om deze dalingen te onderbouwen. Als de primaire PM₁₀ concentratie de maat voor gezondheid zou zijn, dan is de verbetering sinds 1993 volgens de berekeningen waarschijnlijk kleiner dan wanneer de PM₁₀ concentratie als geheel de gezondheidsmaat zou zijn.

Uitlaatemissies van al het wegverkeer zijn met circa 50 procent gedaald in Nederland, net als de gemiddelde concentratie van zwarte rook op regiolocaties sinds 1990. Als zwarte rook de maat voor de gezondheidseffecten van fijn stof is, dan heeft het gevoerde beleid mogelijk meer gezondheidswinst opgeleverd dan wanneer de PM₁₀ concentratie als geheel de gezondheidsmaat zou zijn.

Op meer lokale schaal is samenstelling van PM₁₀ per locatie anders en blijken er trendverschillen te zijn per locatie. Afhankelijk van de locatie zijn grote dalingen maar ook lichte toenames gemeten. Eerder is geconcludeerd (PBL 2009a), dat de blootstelling aan verbrandingsaerosol veel minder gelijk verdeeld is over de bevolking dan die aan PM₁₀. Het zijn vooral de bewoners in de grote steden en in de nabijheid van snelwegen en drukke straten die worden blootgesteld aan de hoogste concentraties van verbrandingsaerosol.

Als dit soort lokale verschillen belangrijk zijn voor de gezondheid – en daar lijkt het op –, dan zijn PM₁₀ en PM_{2,5} ontoereikend om gezondheidseffecten van beleidsmaatregelen te kunnen monitoren. In dat geval is meer kennis nodig over welke fracties het meest gezondheidsrelevant zijn. En er is een daarmee samenhangende praktische aanvullende indicator nodig naast PM₁₀ en PM_{2,5} om maatregelen te kunnen monitoren, die vanuit gezondheidsoogpunt als relevant gelden, maar die niet meetbaar tot uitdrukking komen in de PM₁₀ 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.

Noot

¹⁾ De deeltjesgrootte van het bemonsterde fijn stof is onzeker: bij de secundair anorganisch aerosolconcentraties gaat het om fijn stof met een diameter tot ongeveer 3 à 4 micron en bij de zware metalenconcentraties en tot ongeveer 7 à 8 micron.

Hoe nu verder?

- 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 zijn stappen noodzakelijk om de modellen te herzien.
- Herziening Regeling beoordeling luchtkwaliteit voor de zeezoutaf trek bij overschrijding van de grenswaarden van PM_{10} . De bijdrage door zeezout aan PM_{10} -concentraties bleek gemiddeld lager dan op basis van eerdere inzichten.
- Een aanvullende indicator is nodig om fijnstofmaatregelen te kunnen monitoren die vanuit gezondheidsoogpunt als relevant gelden, 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.
- Verbetering is nodig van metingen, modellen en emissies rond de bijdragen van koolstofverbindingen en koolstofhoudend fijn stof, vooral voor stedelijke gebieden.

Het BOP-onderzoeksprogramma heeft een betere focus op fijn stof opgeleverd, waardoor een aantal onzekerheden zoals bedoeld is verkleind. Naast nieuwe inzichten rond de samenstelling van fijn stof is bestaande kennis verder aangescherpt. Om de opgedane kennis in de uitvoeringspraktijk van het luchtbeleid te kunnen toepassen is verdere uitwerking en onderzoek noodzakelijk. Tegelijkertijd zijn er, op onderdelen, ook na het BOP onderzoeksprogramma nog grote vraagtekens rond fijn stof. De beleidsagenda zal worden gedreven door Europese regelgeving rond luchtkwaliteit en klimaatverandering.

6.1 Belangrijkste acties en opstaande vragen

De bijdragen van verschillende bronnen van fijn stof zijn door het BOP-onderzoek beter in beeld gekomen, maar de scherpste van dat beeld is op specifieke gebieden nog beperkt en belemmert adequate beleidskeuzes rond luchtkwaliteit. Gegeven de nieuwe inzichten van het BOP-onderzoeksprogramma staan hieronder de belangrijkste acties in relatie tot de openstaande vragen rond fijn stof:

- **Herziening modellen**
De metingen en modellen waarmee jaarlijks diagnoses en projecties voor fijnstofconcentraties worden gemaakt – voor de Grootschalig Concentraties Nederland, GCN – moeten worden herzien voor het onderschatte aandeel fijn stof. Hiervoor moeten een aantal stappen worden gezet. Deze stappen zijn al deels geadresseerd in het vervolg-

onderzoeksprogramma. Bij de uitvoering hiervan zijn a priori geen belemmeringen voorzien.

In de eerste plaats is vervolgonderzoek nodig om te bepalen in hoeverre antropogene bronbijdragen, die – zoals bleek – nog niet of in onvoldoende mate zijn meegenomen in de berekeningen, wel kunnen worden betrokken in luchtkwaliteitsrapportages.

In de tweede plaats zijn metingen nodig om te bepalen waardoor het fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak tot dusver is onderschat. Hiermee kan een trend in secundair anorganisch aerosol nauwkeuriger worden bepaald.

Ten derde moeten modellen worden aangepast om de beschrijving van antropogene bijdragen aan fijn stof te verbeteren. Het gaat hierbij niet alleen om fijn stof uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak, maar ook om het fijn stof uit vluchtige koolstofverbindingen en om bodemstof en water dat is gebonden aan antropogene fijnstofbestanddelen.

Ten slotte moet de antropogene bijdrage worden herberekend van de verschillende economische sectoren uit binnen en buitenland aan de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentratie.

Hierna is het bepalen van een optimale strategie mogelijk om de grote bijdrage van ammoniumnitraat en

ammoniumsulfaat te verminderen op dagen met hoge PM_{10} -concentraties voor Nederland en de landen in de regio. Het aandeel van Nederlandse oorsprong is op die momenten groter dan gemiddeld. Jaargemiddeld lijkt de bijdrage uit het buitenland dominant. Kwantificering van de Nederlandse bijdrage, vooral bij hoge fijnstofconcentraties, is dus zinvol en dat is onderzoeksmatig haalbaar.

Specificatie in componenten van de bijdrage door antropogene primaire fijnstofdeeltjes is nodig om modellen met samenstellingsmetingen te kunnen vergelijken. De bijdrage van zeezout en bodemstof is met modellen in kaart gebracht en kan verder worden geïmplementeerd in het beleidsinstrumentarium. Meer zicht op de halfvluchtige onderdelen van fijn stof zal de onzekerheid rond meten en modelleren van fijn stof verkleinen.

- **Herziening zeezoutaftrek**

De bijdrage door zeezout aan PM_{10} -concentraties bleek gemiddeld lager dan op basis van eerdere inzichten. Het is daarom wenselijk de Regeling beoordeling luchtkwaliteit voor de zeezoutaftrek bij overschrijding van de grenswaarden van PM_{10} te herzien.

Natriummetingen met het LML, als indicator voor zeezout, in combinatie met modelberekeningen van zeezout bieden mogelijk de basis voor een verbeterde bepaling van de zeezoutaftrek, waarin ook rekening wordt gehouden met de grote variabiliteit van de zeezoutconcentratie in ruimte en tijd. Voor PM_{10} -projecties moet rekening worden gehouden met het feit dat als PM_{10} -concentraties dalen, ook het effect van zeezoutaftrek op het aantal dagen met overschrijdingen van de PM_{10} grenswaarde kleiner wordt. De huidige meetregeling bepaalt dat zes dagen forfaitair kunnen worden afgetrokken bij het in kaart brengen van het aantal dagen waarop de grenswaarde voor daggemiddelde PM_{10} -concentraties wordt overschreden. Dit aantal dagen verschilt echter per jaar en zes dagen is waarschijnlijk vaak te hoog.

- **In kaart brengen van de lokale bijdrage door houtverbranding**

Voor de gezondheidsbescherming is herziening zinvol van de projecties voor de directe uitstoot door houtverbranding, gekoppeld aan een verkenning van eenvoudige maatregelen om de uitstoot te beperken. Bij de verduurzaming van energiebronnen is het denkbaar dat de bijdrage aan fijn stof door houtkachels inclusief die door efficiënte kleinschalige kachels voor energieopwekking zal toenemen. Hierbij ligt het voor de hand om aan te sluiten bij landen als Italië, Duitsland en Oostenrijk waar veel meer ervaring is met houtverbranding en maatregelen ter beperking van de uitstoot.

Een bredere verkenning van lokale fijnstofsituaties als gevolg van houtverbranding met modellen, emissieschattingen en metingen ligt voor de hand. De lokale bijdrage door houtverbranding aan PM_{10} is met verkennende metingen onderzocht. De bijdrage bleek seizoensgebonden en verschilde per locatie soms met een

factor 10. Bovendien is de bijdrage door houtverbranding gezondheidsrelevant. Andere belangrijke lokale bijdragen zijn al beter in kaart gebracht met modellen en metingen, zoals de bijdrage bij op- en overslag en door verkeer.

- **Koolstofhoudend fijn stof**

De kennis over vluchtige organische verbindingen en koolstofhoudend fijn stof in de lucht is nog erg beperkt. Koolstof vormt een belangrijk bestanddeel van het gezondheidsrelevant geachte verbrandingsaerosol. De herziening op Europees en VN-niveau van nationale emissieplafonds voorziet in een relatief emissieplafond voor primaire $PM_{2,5}$ -deeltjes. Deze deeltjes bestaan voor een belangrijk deel uit koolstofhoudend fijn stof.

De kennis rond de bijdrage van koolstofverbindingen aan fijn stof is nog erg beperkt. Zowel metingen als modelberekeningen kennen nog basale problemen. Zo is onduidelijk welk deel van het koolstofhoudend fijn stof in Nederland door menselijk handelen komt en voor welk deel het afkomstig is uit het buitenland. Om het reductiepotentieel van het koolstofhoudend fijn stof en vluchtige organische verbindingen beter in kaart te brengen zal het emissie- en modelinstrumentarium verder moeten worden aangepast. Op dit moment zijn de modellen niet in staat om met de gewenste nauwkeurigheid de Europese afspraken te kunnen verifiëren. Metingen kunnen daarbij helpen, vooral om meer inzicht te geven in het bepalen van bronbijdragen op verschillende ruimtelijke schaalniveaus.

- **Gezondheid en fijn stof**

Dat fijn stof een negatieve invloed heeft op de gezondheid staat buiten kijf. Er zijn echter nog wel veel deelvragen over gezondheid en fijn stof. De huidige inzichten geven aan dat gezondheidseffecten meer zijn geassocieerd met verbrandingsaerosol en metalen op deeltjes dan met andere componenten, zoals zeezout en secundair anorganisch aerosol. PM_{10} en $PM_{2,5}$ zijn maar beperkt geschikt om maatregelen die zich richten op de meer gezondheidsrelevante componenten te kunnen monitoren. Een aanvullende indicator die dit wel inzichtelijk kan maken is gewenst om *slim beleid* gericht op fijn stof én gezondheid te ondersteunen. Dit is vooral belangrijk voor lokaal beleid, waar met gerichte maatregelen en ruimtelijke ingrepen vermindering van de blootstelling aan verbrandingsaerosol mogelijk is.

- **Concentratiebijdrage door de stad**

De bijdrage van verschillende fijnstofbestanddelen in het stedelijke gebied ten opzichte van de landelijke omgeving bleek nogal onzeker op basis van het BOP onderzoek: vooral voor bodemstof, organisch koolstof en secundair anorganisch aerosol. Dat belemmert adequate keuzes bij de aanpak van fijn stof in de stad. Daarvoor is onderzoek nodig dat de verhoging van PM_{10} en $PM_{2,5}$ in de stad ten opzichte van de regio beter in kaart brengt in termen van bronbijdragen en deeltjesgrootte. Beter begrip van het fijn stof in de stad heeft een hoge prioriteit, omdat het om grote bevolkingsaantallen gaat in combinatie met vaak hoge concentraties.

- **Meetverplichting samenstelling PM_{2,5}**

De Europese richtlijn (EU 2008b) verplicht lidstaten op een regionale achtergrondlocatie de totale massaconcentratie en de concentraties van de chemische samenstellingen van PM_{2,5} te meten in termen van het jaargemiddelde. Nederland heeft aan deze verplichting nog niet voldaan. De meetlocatie Cabauw, met een lange historie als atmosferische onderzoekslocatie, lijkt hiervoor geschikt. Het verdient aanbeveling om zowel de samenstelling van PM₁₀ als van PM_{2,5} te meten, omdat de normen voor PM₁₀ strenger zijn dan die voor PM_{2,5}. Gezien de randvoorwaarden die hiervoor zijn gesteld in de Europese richtlijn is het mogelijk om deze verplichting aan te gaan in samenwerking met het buitenland.

Fijn stof is een van de vele indicatoren voor luchtkwaliteit. Fijn stof speelt ook een rol bij klimaatverandering. Een gekoppelde benadering van deze thema's is een nog relatief nieuw veld. Meer samenhang en kennisverbetering van de koppelingen tussen de systemen is nodig om ook beleidsmatig tijdig de juiste afwegingen te kunnen maken.

6.2 Beschouwing fijnstofbeleid in een breder kader

Het BOP-onderzoeksprogramma heeft informatie opgeleverd over onder andere de samenstelling en bronnen van PM₁₀ en PM_{2,5} met het oog op het voorkomen van overschrijdingen van grenswaarden. Fijn stof is echter slechts een van de milieuthema's in het luchtdossier.

De stoffen die direct of indirect aan fijnstofconcentraties bijdragen spelen ook een rol bij andere thema's in het luchtdossier. In de lucht heersen processen met verschillende tijd- en ruimteschalen. Dit brengt verschillende beleidsvelden bij elkaar, die in de praktijk soms sterk gescheiden zijn door de schaal waarop een luchtprobleem zich manifesteert en de bestuurlijke schaal waarop maatregelen worden genomen.

Deze paragraaf geeft een kwalitatieve schets van de effectiviteit van emissiereducerende maatregelen. Met als onderliggende vraag: hoe effectief zijn de verschillende maatregelen om fijn stof te reduceren wanneer de volgende doelstellingen van het milieubeleid integraal worden beschouwd?

- Voldoen aan de grenswaarden voor PM₁₀ en PM_{2,5}
- Verminderen gezondheidseffecten geassocieerd met fijn stof
- Verminderen depositie verzurende en vermestende stoffen op natuur
- Verminderen effecten van ozon op gezondheid en vegetatie
- Tegengaan van klimaatverandering

De doelstelling 'grenswaarden voor PM₁₀ en PM_{2,5}' en 'gezondheid geassocieerd met fijn stof' zijn hier met opzet gescheiden, omdat het halen van normen voor PM₁₀ en PM_{2,5} niet noodzakelijkerwijs het onderliggende doel van de normen dient, namelijk gezondheidswinst (zie paragraaf 5.3 en PBL 2009a).

6.2.1 Regelgeving met effect op fijn stof

De emissies van de stoffen die van invloed zijn op de fijnstofconcentraties in Nederland worden aangepakt door een palet aan beleidsinstrumenten die op verschillende schaalniveaus van toepassing zijn. Het gaat hierbij om de emissie van deeltjes (primair fijn stof): elementair koolstof, organisch koolstof en andere deeltjes, waaronder metalen. Ook gaat het om de emissies van gassen die tot de vorming van fijn stof kunnen leiden: zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak en vluchtige organische stoffen.

De NEC-richtlijn en het Gothenburg Protocol zijn internationale afspraken met nationale emissiedoelstellingen voor zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak en vluchtige organische stoffen. Vermindering van primaire fijnstofemissies en het halen van deze emissiedoelen is bewerkstelligd door emissiereducerende maatregelen bij voertuigen, producten en productieprocessen (bijvoorbeeld Euro-normen voor voertuigen, IPPC, LCP, HM-protocol, zie verder tekstbox Regelgeving relevant voor fijn stof).

Bovenop de implementatie van de internationale regelgeving heeft Nederland via het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) extra maatregelen getroffen om de fijnstofconcentratie te verminderen, waaronder subsidies en fiscale stimuleringsregelingen voor schoner verkeer en het actieplan fijnstofindustrie.

Op lokale schaal worden allerlei maatregelen getroffen die tot vermindering van fijnstofconcentraties kunnen leiden. Deze maatregelen zijn vooral gericht op de directe emissie van fijn stof en zijn ook opgenomen in het NSL. Er zijn ook maatregelen die door schermen of aanpassing van de verkeerscirculatie een lokale afname van fijnstofconcentraties beogen. De introductie van milieuzones mikt op de vermindering van gezondheidsrelevant geachte verkeersemisies; alleen voertuigen vanaf een specifieke Euro norm worden in deze zone toegelaten.

Op Europese schaal vindt al een integrale afweging plaats bij de aanpak van luchtverontreiniging en de effecten ervan op ecosystemen met nationale emissieplafonds (EU 2001b; UN-ECE 1999). De meest kosteneffectieve nationale emissieplafonds worden bepaald, rekening houdend met verschillende eindpunten van het luchtbeleid (gezondheid en natuur): de zogenaamde *multi pollutant/multi effect*-benadering (GAINS/RAINS; Wagner et al. 2006, 2007).

Weging van de verschillende gezondheidseffecten per stof vindt echter niet plaats, omdat het formele standpunt van de World Health Organization (WHO) wordt gevolgd: alle bestanddelen van PM₁₀ en PM_{2,5} moeten als even schadelijk worden beschouwd (WHO 2000). Tegelijkertijd erkent de WHO dat er verschillen zijn (WHO 2006). Hierbij speelt een rol, dat onbekend is wat de effecten zullen zijn op de gezondheid bij vermindering van de individuele bestanddelen. De effecten op klimaatverandering van emissievermindering worden ook nog niet meegewogen bij de bepaling van de prioriteiten binnen het beleid gericht op luchtkwaliteit.

Regelgeving relevant voor fijn stof

Er zijn verschillende bindende internationale afspraken gemaakt met als doel om emissies van luchtverontreinigende stoffen te beperken door de Europese Unie of in het kader van het Verenigde Naties Verdrag van 1979 over grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand en in het kader van het Verenigde Naties MARPOL verdrag van 1973 en amendementen ter voorkoming van verontreiniging door schepen. Hieronder de regelgeving die het meest relevant is voor fijn stof:

NEC richtlijn

De National Emission Ceiling (NEC)-richtlijn (EU 2001b) kent per EU-lidstaat plafonds toe voor de totale emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak en vluchtige organische stoffen in 2010. Als de emissie van Nederland in 2010 hoger is dan de vastgelegde waarden, volgt een procedure van ingebrekestelling door de Europese Commissie en kan een forse boete worden opgelegd.

Gothenburg Protocol

Het Gothenburg Protocol (UN-ECE 1999) is onderdeel van een stapsgewijs proces van het Verenigde Naties Verdrag van 1979 over grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand. Dit Protocol richt zich op bescherming van de gezondheid en ecosystemen door depositie en concentraties van vervuilende stoffen onder kritische (depositie-)niveaus te brengen. Voor dit langetermijndoel stelt het Protocol nationale emissieplafonds en emissiegrenswaarden vast die per 2010 moeten zijn bereikt als interimdoelen. Criteria voor de nationale emissiedoelen in het Protocol zijn kosteneffectiviteit, gelijke rechten op schone lucht (equity) en voortgang richting langetermijndoelen voor het milieu.

Nationale emissieplafonds voor 2020

Het Gothenburg Protocol en de NEC richtlijn worden met emissieplafonds voor 2020 herzien. Hierbij zijn relatieve emissieplafonds voorzien voor primair $PM_{2,5}$. In 2011 wordt een besluit verwacht over de herziene versie van het Gothenburg Protocol. Dit besluit geeft mede vorm aan het herzieningsproces van de NEC richtlijn.

IPPC richtlijn

De Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)-richtlijn (EU 2008a) is gericht op geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging. De IPPC-richtlijn verplicht de EU-lidstaten om emissies naar water, lucht en bodem (inclusief maatregelen voor afvalstoffen) van grote milieuvervuilende bedrijven en van de intensieve veehouderij te reguleren. Dat gebeurt via

een integrale vergunning. Deze moet gebaseerd zijn op de beste beschikbare technieken. Een herziene versie van de IPPC-richtlijn bevindt zich in de laatste fase van besluitvorming. Naar verwachting wordt de herziene richtlijn, die zeven verschillende richtlijnen integreert, nog in 2010 vastgesteld.

LCP richtlijn

De herziene Large Combustion Plant richtlijn (EU 2001a) zorgt voor vermindering van verzuring, ozon op grondniveau en fijn stof door Europabrede beperking van de emissies van bepaalde verontreinigende stoffen in de lucht door grote stookinstallaties.

Euronormen voor voertuigen

Sinds begin jaren negentig zijn Europese emissienormen voor voertuigen van kracht. De emissienormen worden steeds aangescherpt zodat de emissies van koolmonoxide, stikstofoxiden, vluchtige organische stoffen en fijn stof door voertuigen ook steeds verder afnemen. Er zijn aparte normen voor personenauto's, bestelwagens en vrachtauto's en ook wordt onderscheid gemaakt naar brandstof: diesel of benzine. In 2009 is de Euro-5-norm (EU 1999b) voor personenauto's van kracht geworden.

Zware metalen Protocol

Het zware metalen Protocol (UN-ECE 1998) richt zich op het beheersen van door menselijke activiteiten veroorzaakte emissies van zware metalen die voor grensoverschrijdend atmosferisch transport over lange afstand vatbaar zijn en die belangrijke schadelijke gevolgen voor de volksgezondheid of het milieu kunnen hebben. Het Protocol voorziet in vermindering van de totale jaarlijkse emissies in de atmosfeer van cadmium, lood en kwik tot onder de niveaus in 1990, alsook in de toepassing van de beste beschikbare technieken voor productbeheersing. Het Protocol schrijft de uitfasering voor van lood in benzine. Het neveneffect van het Zware metalen Protocol is dat door emissievermindering van de genoemde zware metalen ook andere primaire fijnstofemissies automatisch worden verminderd (UN-ECE 2007).

MARPOL

In 2008 is het Marine Pollution verdrag herzien met betrekking tot emissievermindering van zwaveldioxide en stikstofoxiden door scheepvaart (IMO 2008). De beoogde emissievermindering is voor Nederland als kuststaat met drukke vaarroutes van belang. Deze emissieverminderingen worden betrokken bij de vaststelling van nationale emissieplafonds voor 2020.

6.2.2 Werking van het luchtbeleid op PM_{10} tussen 1993 en 2007

PM_{10} concentraties op regiolocaties zijn tussen 1993 en 2007 gedaald met 8 tot mogelijk 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (~ daling van 24 tot 32 procent). Deze daling bleek voor ongeveer twee derde toe te schrijven aan de emissievermindering van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak. De emissievermindering in Europa speelde hierbij de hoofdrol, maar die in de Verenigde Staten leverde waarschijnlijk ook nog een kleine bijdrage.

Afname van emissie van deeltjes (primair fijn stof) droeg waarschijnlijk voor niet meer dan 10 procent bij aan de daling van de PM_{10} concentraties. De rest van de daling is waarschijnlijk het gevolg van de concentratiedaling van fijn stof dat is gevormd uit vluchtige organische stoffen, in combinatie met vermindering van de gemiddelde hoeveelheid water in fijn stof. Water maakt onderdeel uit van fijn stof en is gebonden aan organische en anorganische zouten. Deze

Fijn stof in relatie tot andere milieuthema's

Fijn stof en depositie op de leefomgeving

Hoewel maatregelen om de emissie van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak te reduceren waarschijnlijk maar weinig gezondheidswinst opleveren, geven ze juist wel verbetering van de milieucondities voor natuur, via vermindering van verzurende en vermestende depositie.

In Nederland staat de natuur op het gebied van vermisting en verzuring nog steeds sterk onder druk vooral door de hoge emissie van stikstofoxiden en ammoniak (PBL 2009a, 2009b). Stikstofoxiden en ammoniak kunnen in de atmosfeer worden omgezet tot stikstofbevattende deeltjes. Tentatieve emissieplafonds voor 2020 die bij de herziening van de NEC-richtlijn en het Gothenburg Protocol worden genoemd, zijn voor de landen rond Nederland niet of maar beperkt lager dan de emissieplafonds voor 2010 (Amann et al. 2008). Naar verwachting zullen de nationale emissieplafonds voor 2020 dan ook niet tot een grote daling leiden van de fijnstofconcentratie door stikstofbevattende deeltjes. Ook zal de stikstofdepositie in Nederland niet veel dalen na 2010.

Ook de directe deeltjesemissie van zware metalen als arseen en cadmium heeft invloed op de kwaliteit van de natuurlijke leefomgeving (Hettelingh et al. 2010). Zware metalen komen hierin terecht via depositie uit de lucht. Naast de route via depositie kunnen zware metalen tot gezondheidseffecten bij de mens leiden bij inademing. De huidige concentraties van zware metalen in de lucht liggen in Nederland over het algemeen onder de vastgestelde grenswaarden.

Fijn stof en ozon op leefniveau

Fijn stof en ozon op leefniveau zijn vaak sterk gecorreleerd op dagen met zomersmog. Piekconcentraties van ozon zijn de afgelopen decennia verminderd, maar de

achtergrondconcentraties lijken nu te stijgen door de emissie van stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen buiten Europa. Beleid om ozonconcentraties te verminderen spitst zich toe op de emissievermindering van stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen. De afname van deze stoffen leidt ook tot een vermindering van fijnstofconcentraties. Het fijn stof dat wordt gevormd in de lucht uit vluchtige organische stoffen wordt bovendien als gezondheidsrelevant gezien (Biswas et al. 2009).

Fijn stof en klimaat

De relatie tussen fijnstofbeleid en klimaatverandering kenmerkt zich door plussen en minnen. Fijn stof heeft afhankelijk van de samenstelling een opwarmende dan wel koelende werking (IPCC 2007; Shindell et al. 2009; Jacob & Winner 2009; SEPA 2009).

Deeltjes die worden gevormd uit vooral zwaveldioxide, maar ook stikstofoxiden en ammoniak, hebben een koelende werking. De sterke afname van de emissie van deze gassen in Europa en de Verenigde Staten, met tientallen procenten in de afgelopen decennia, heeft mogelijk een belangrijke rol gespeeld bij de sterker dan mondiaal gemiddelde opwarming in Europa in de afgelopen dertig jaar (Philipona et al. 2009). In de toekomst zullen verdergaande emissievermindering van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak wereldwijd mogelijk tot een nog sterkere opwarming leiden (Raes & Seinfeld 2009). Bij emissievermindering van elementair koolstof (roet) snijdt het mes aan twee kanten: het leidt tot gezondheidswinst en tot minder opwarming. Ook zijn er indirecte klimateffecten te verwachten van emissieverminderingen die tot minder fijn stof leiden; zowel positief als negatief. De grootte van de indirecte effecten is erg onzeker. Klimaatbeleid leidt netto tot minder luchtverontreiniging (Daniels et al. 2008; Hammingh et al. 2008).

aandelen in fijn stof zijn tussen 1993 en 2007 gedaald en daarmee ook de hoeveelheid water.

De concentraties op regiolocaties van sommige fijnstofcomponenten zijn sterker gedaald dan de PM_{10} -concentratie. Zo is tussen 1990 en 2007 de zwarterookconcentratie met meer dan 50 procent gedaald door het toegepaste beleid en de loodconcentratie op deeltjes is met meer dan 80 procent gedaald door de uitfasering van loodhoudende benzine.

6.2.3 Grenswaarden fijn stof en gezondheid

De wettelijke verplichting om de luchtkwaliteitsnormen op tijd te halen en de beleidsdruk die hieruit voortvloeit in Nederland – mede door de economische gevolgen van het stilleggen van bouwplannen, is de drijfveer voor het nationale en lokale fijnstofbeleid.

Het meest effectief voor het halen van de fijnstof-grenswaarden blijken de maatregelen om zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak te reduceren. Die stoffen vormen in de lucht ongeveer 40 procent van de massa van fijn

stof, en op dagen met overschrijding van de PM_{10} -dagnorm is dat aandeel nog groter. Van de afname van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak wordt echter weinig tot geen gezondheidswinst verwacht. Maatregelen die de emissie van verbrandingsaerosol beperken worden relevanter voor de gezondheid geacht. Die maatregelen dragen echter veelal maar weinig bij aan de afname van de fijnstofconcentratie. Langs straten en snelwegen hebben maatregelen ter vermindering van het verbrandingsaerosol nog het meeste effect.

In het verleden was de emissiereductie van zwaveldioxide en stikstofoxiden vaak nog (automatisch) gekoppeld aan een afname van de emissie van elementair en organisch koolstof. Zo sneed het mes aan twee kanten: lagere fijnstofconcentraties en een gezondheidsverbetering. Door de sterk toegenomen energie efficiëntie van verbrandingsmotoren en de overgang van olie op gas stook bij veel sectoren in Nederland is zo'n koppeling echter steeds minder (nauwelijks meer) het geval. Op lokale schaal blijken PM_{10} en ook $PM_{2,5}$ geen optimale indicatoren (meer) voor gezondheidseffecten van deeltjes.

2010	<ul style="list-style-type: none"> Grenswaarden PM₁₀ zijn van kracht sinds 2005, derogatie tot juni 2011. Richtwaarde voor PM_{2,5} is van kracht sinds 2008 (25 µg/m³). Europese Commissie doet voorstellen voor duurzaamheidscriteria productie biobrandstoffen (heeft gevolgen voor luchtbeleid). Vaststelling herziene IPPC-richtlijn. Lopend proces rond herziening nationale emissiedoelen (Gothenburg-Protocol, UN ECE; NEC-richtlijn, EU): nieuw hierbij is een relatief emissieplafond voor de uitstoot van primaire deeltjes PM_{2,5}. Meetverplichting PM_{2,5}-concentratie uiterlijk vanaf 2009. Nederland heeft volgens de richtlijn voldoende PM_{2,5}-meetpunten. Meetverplichting samenstelling PM_{2,5}. Euro-V-emissienorm voor bestelwagens wordt van kracht.
2011	<ul style="list-style-type: none"> Juni 2011, Nederland moet overal voldoen aan PM₁₀ grenswaarden. Mogelijk besluit over herziene Gothenburg Protocol.
2012	<ul style="list-style-type: none"> Mogelijk besluit over herziene NEC-richtlijn.
2013	<ul style="list-style-type: none"> Revisie Europese luchtkwaliteitsrichtlijn; bepalingen in de richtlijn met betrekking tot PM_{2,5} en PM₁₀ worden tegen het licht gehouden. Blootstellings-reductiedoelstelling wordt grenswaarde? Fase-2 indicatieve waarde 20 µg/m³ voor 2020 wordt grenswaarde?
2014	<ul style="list-style-type: none"> Euro-6-emissienormen voor personenauto's worden van kracht.
2015	<ul style="list-style-type: none"> 1 januari 2015, PM_{2,5}-grenswaarden uit EC (2008) worden van kracht. Euro-VI-emissienormen voor diesel bestelwagens worden van kracht.
2020	<ul style="list-style-type: none"> EU-lidstaten moeten voldoen aan hun nationale emissieplafonds voor zwaveldioxide, stikstofoxiden, ammoniak, vluchtige organische stoffen en PM_{2,5} zoals vastgesteld in de herziening van de NEC-directive en het Gothenburg-protocol. EU-lidstaten moeten voldoen aan hun nationale blootstellingsverminderingdoelstelling voor gemiddelde PM_{2,5}-concentratie in steden tussen 2010 en 2020. In Nederland zal de blootstellingsverminderingdoelstelling 15% of 20% zijn.

Daarom wordt internationaal gepleit voor een aanvullende maat. Naast PM₁₀ en PM_{2,5} als leidende gezondheidsindicatoren voor deeltjesvormige luchtverontreiniging is een maat nodig om de effectiviteit van de gezondheidsrelevant geachte maatregelen beter te kunnen vaststellen. Binnen de WHO is aandacht voor zwarte rook als maat voor roet door verkeer (WHO 2003), maar welke maat het meest geschikt is nog onderwerp discussie en nader onderzoek.

Het luchtbeleid dat invloed heeft op de fijnstofconcentraties in Nederland, heeft ook effect bij andere milieuthema's (zie tekstbox Fijn stof in relatie tot andere milieuthema's). Maatregelen die de emissies verminderen van zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak zijn effectief om PM₁₀- en PM_{2,5}-grenswaarden te halen en verminderen ook depositie van stikstof en zwavel op de leefomgeving. Ozonconcentraties op leefniveau profiteren van het fijnstofbeleid dat zich richt op stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen. Voor de klimaatverandering en in mindere mate ook ozon op leefniveau zijn er plussen en minnen. Vooral het beleid om zwaveldioxide te verminderen heeft tot een daling van fijnstofconcentraties geleid, maar tegelijkertijd tot een versterking van de opwarming van de aarde. Vermindering van zwarte deeltjes (roet) is waarschijnlijk zowel goed voor het klimaat als de gezondheid.

Verschillende beleidsonderwerpen in het luchtdossier zullen, in ieder geval de komende 10 jaar, ondersteuning nodig hebben. Om hierop voorbereid te zijn zal het nationale beleidsinstrumentarium moeten worden aangepast, zodat de effecten van maatregelen voor luchtkwaliteit, klimaatverandering en depositie zo nodig geïntegreerd kunnen worden verkend.

6.3 Beleidsagenda voor fijn stof 2010 - 2020

De uitvoering van het beleid dat relevant is voor de concentraties in Nederland vindt op verschillende schalen plaats. Europese richtlijnen zijn hiervoor veelal de drijvende factor. Op mondiaal niveau zijn voor fijn stof in Nederland de aanpassingen aan het MARPOL-verdrag voor scheepvaartemissies van belang. Tabel 6.1 geeft een overzicht met de belangrijkste beleidsmomenten rond fijn stof.

Literatuur

- Aben, J.M.M., J.-P. Hettelingh & W. Schöpp (2005), 'RAINS-NL. An integrated assessment model to support Dutch air quality policy making', pp. 513-517 in *Proceedings 19th International Conference on Informatics for Environmental Protection*, Brno.
- Amann, M., I. Bertok, J. Cofala, C. Heyes, Z. Klimont, P. Rafaj, W. Schöpp & F. Wagner (2008), *National Emission Ceilings for 2020 based on the 2008 Climate & Energy Package, NEC Scenario Analysis Report 6*, Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA).
- AQUILA (2009), 'Recommendations 05/09 of the 13th Meeting: 06/07 May 2009', <http://ies.jrc.ec.europa.eu/aquila-project/aquilameetings.html>.
- Arkel, F.Th. van et al. (2010), *Measurements in the Netherlands Research Program on Particulate Matter BOP: a technical background document*, PBL-rapport 500099009, Den Haag/Bilthoven: PBL (te verschijnen).
- Baker, J.B., R.J. Southard & J.P. Mitchell (2005), 'Agricultural dust production in standard and conservation tillage systems in the San Joaquin Valley', *Journal of Environmental Quality* 34: 1260-1269.
- Beijk, R., R. Hoogerbrugge, T.L. Hafkenscheid, F.T. van Arkel, G.C. Stefess, A. van der Meulen, J.P. Wesseling, F.J. Sauter & A.W. Albers (2007), *PM₁₀: Validatie en equivalentie 2006*, RIVM-rapport 2007/680708001, Bilthoven: RIVM.
- Beijk, R., D. Mooibroek, J. van de Kassteel & R. Hoogerbrugge (2008), *PM₁₀: Equivalence study 2006. Demonstration of equivalence for the automatic PM₁₀ measurements in the Dutch National Air Quality Monitoring Network. A technical background report*, RIVM-rapport 2008/680708002, Bilthoven: RIVM.
- Beijk, R., D. Mooibroek & R. Hoogerbrugge (2009), *Jaaroverzicht luchtkwaliteit 2008*, RIVM rapport 2009/680704008, Bilthoven: RIVM.
- Biswas, S., V. Verma, J.J. Schauer, F.R. Cassee, A.K. Cho & C. Sioutas (2009), 'Oxidative potential of semi-volatile and non volatile particulate matter (PM) from heavy-duty vehicles retrofitted with emission control technologies', *Environmental Science & Technology* 43 (10): 3905-3912.
- Boersma, A.R., P. Lako, R. van der Linden, J. van Doorn, B. Jansen, H.G.J. Kok & D.C. Heslinga (2009), *Air pollutant emissions from stationary installations using bioenergy in the Netherlands, BOLK Phase 2*, ECN-rapport ECN-E-09-067, Petten: ECN.
- Brink, H.M. ten, E.P. Weijers, F.Th. van Arkel & D. de Jonge (2009), *Carbon (EC/OC) concentrations as derived from routine PM measurements in the Netherlands*, PBL-rapport 500099005, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Brink, H.M. ten, E.P. Weijers, T. Röckmann & U. Dusek (2010), *14C analysis of filter samples for source apportionment of carbon on PM in the Netherlands*, ECN-rapport ECN-E-10-005, Petten: ECN.
- Brunekreef, B. & B. Forsberg (2005), 'Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health', *European Respiratory Journal* 26 (2): 309-318.
- Buijsman, E., J.P. Beck, L. van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelmeijer, J. Matthijsen, R. Thomas & K. Wieringa (2005), *Fijn stof nader bekeken. De stand van zaken in het dossier fijn stof*, MNP-rapport 500037008, Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau.
- Buringh, E. & A. Opperhuizen (2002), *On health risks of ambient PM in the Netherlands*, RIVM-rapport 650010032, Bilthoven: RIVM.
- Costa, D.L. & K.L. Dreher (1997), 'Bioavailable transition metals in particulate matter mediate cardiopulmonary injury in healthy and compromised animal models', *Environmental Health Perspectives* 105 (5): 1053-1060.
- Daniëls B., A. Seebregts & P. Kroon (2008), *Trendanalyse luchtverontreiniging, De effecten van het werkprogramma Schoon en Zuinig op de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen*, ECN-E-08-002, Petten: ECN.
- Denier van der Gon, H.A.C., A. Visschedijk, G. Boersen & M. Schaap (2009), *Bijdrage Nederlandse landbouw aan secundair fijn stof*, TNO-034-UT-2009-00062_RPT-ML, Utrecht: TNO.
- Denier van der Gon, H. & J. Hulskotte (2010), *Methodologies for estimating shipping emissions in the Netherlands*, PBL-rapport 500099012, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Denier van der Gon, H., M. Jozwicka, E. Hendriks, M. Gondwe & M. Schaap (2010), *Mineral dust as a constituent of particulate matter*, PBL-rapport 500099003, Den Haag/Bilthoven: PBL (te verschijnen).
- EC (2001), 'Beschikking van de Commissie van 17 oktober 2001 tot wijziging van de bijlagen bij Beschikking 97/101/EG van de Raad tot invoering van een regeling voor de onderlinge uitwisseling van informatie over en gegevens van meetnetten en meetstations voor luchtverontreiniging in de lidstaten', kennisgeving onder nummer C(2001) 3093 2001/753/EG, *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen* L282/69.
- ECN (2006), 'Het nieuwe wapen in de strijd tegen fijn stof heet MARGA', *ECN nieuwsbrief*, mei 2006 (<http://www.ecn.nl/nl/nieuws/nieuwsbrief/archief-2006/mei-2006/>).
- EMEP (2003), *Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe*. Part 1, Unified EMEP Model Description, EMEP-report 1/2003, Oslo: Nilu.
- EMEP (2009a), *Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2007*, Joint MSC-W & CCC & CEIP Report, Oslo (EMEP Status Report 1/09).
- EMEP (2009b), *Transboundary particulate matter in Europe. Status report 2009*, Joint CCC & MSC-W & CEIP & CIAM Report, Oslo (EMEP Status Report 4/09).
- EMEP (2009c), 'Transboundary data by main pollutants (S, N, O₃) and PM', MSC-W Data Note 1/09, http://www.emep.int/publ/common_publications.html.
- ER (2010), 'Nederlandse Emissie Registratie, Pollutant Release and Transfer Register', <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/bumper.nl.aspx>.
- Erismann, J.W. & M. Schaap (2004), 'The need for ammonia abatement with respect to secondary PM reductions in Europe', *Environmental Pollution* 129: 159-163.
- EU (1996), 'Directive 96/62/EC of the European Parliament and the Council on ambient air quality assessment and management', *Official Journal of the European Union* 296, 21.11.1996, p. 55.
- EU (1999a), 'Directive 1999/30/EC of the European Parliament and the Council relating to limit values for sulphur dioxide and the oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air', *Official Journal of the European Union* 163, 29.6.1999, p. 41.
- EU (1999b), 'Directive 1999/96/EC of the European Parliament and the Council of 13 December 1999 on the approximation of the laws of the Member States relating to measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression ignition engines for use in vehicles, and the emission of gaseous pollutants from positive ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles and amending Council Directive 88/77/EEC', *Official Journal of the European Union* 44, 16.02.2000, p. 1.
- EU (2001a), 'Directive 2001/80/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants', *Official Journal of the European Union* 309, 27.11.2001, p. 1.
- EU (2001b), 'Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants', *Official Journal of the European Union* 309, 27.11.2001, p. 2.
- EU (2008a), 'Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008, concerning integrated pollution prevention and control', *Official Journal of the European Union* 24, 29.01.2008, p. 8.
- EU (2008b), 'Directive 2008/50/EC of the European Parliament and the Council of 21 May 2008, on ambient air quality and cleaner air for Europe', *Official Journal of the European Union*, 152/1.

- Fiore, A.M., et al. (2009), 'Multimodel estimates of intercontinental source-receptor relationships for ozone pollution', *Journal of Geophysical Research* 114.
- Fischer, P.H., G. Hoek, H. van Reeuwijk, D.J. Briggs, E. Lebreit, J.H. van Wijnen, S. Kingham & P.E. Elliott (2000), 'Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam', *Atmospheric Environment* 34 (22): 3713-3722.
- Gerlofs-Nijland, M.E., M. Rummelhard, A.J. Boere, D.L. Leseman, R. Duffin, R.P. Schins, B.J. Borm, M. Sillanpää, R.O. Salonen & F.R. Cassee (2009), 'Particle induced toxicity in relation to transition metal and polycyclic aromatic hydrocarbon contents', *Environmental Science & Technology* 43 (13): 4729-4736.
- Grahame, T.J. & R.B. Schlesinger (2010), 'Cardiovascular health and particulate vehicular emissions. A critical evaluation of the evidence', *Air Quality, Atmosphere, and Health* 3 (1): 3-27.
- Hammingh, P., J.P. Beck, W.F. Blom, R.M.M. van den Brink, R.J.M. Folkert & K. Wieringa (2005), *Beoordeling van het prinsjesdagpakket aanpak luchtkwaliteit 2005*, MNP-rapport 500037010/2005, Bilthoven: MNP.
- Hammingh, P., K. Smekens, R. Koelmeijer, B. Daniels & P. Kroon (2008), *Effecten van klimaatbeleid op emissies van luchtverontreinigende stoffen in Nederland. Eerste resultaten van het Beleidsgericht Onderzoeksprogramma Lucht en Klimaat (BOLK)*, PBL-rapport 500146002/2008, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Hettelingh, J.-P., M. Posch & J. Slootweg (2010), *CCE Status report 2009. Coordination Centre for Effects*, PBL-rapport 500090004, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Holland, M., P. Watkiss, S. Pye, A. de Oliveira & D. Van Regemorter (2005), *Cost-Benefit Analysis of the Thematic Strategy on Air Pollution*, AEA Technology Environment Report AEAT/ED48763001/Thematic Strategy, Harwell: AEAT.
- Hoogerbrugge, R., H. Denier van der Gon, M. van Zanten & J. Matthijssen (2010), *Trends in Particulate Matter*, PBL-rapport 500099014, Den Haag/Bilthoven: PBL (te verschijnen).
- Hoogerbrugge, R., J. Matthijssen, H. van Jaarsveld, M. Schaap & H. Denier van der Gon (2005), 'Aanbeveling voor een voorlopige regeling voor de correctie van fijn stof (PM₁₀) concentraties voor de bijdrage van zeezout', 14 July 2005, www.rivm.nl/milieuportal/dossier/fijnstof/bronnen.
- IMO (2008), 'Revised MARPOL Annex VI adopted 10 October 2008. Resolution of the Marine Environment Protection Committee 176(58) Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978, relating thereto', <http://www.imo.org/>.
- IPCC (2007), 'Fourth assessment report', http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.htm.
- IUTA (2004), *Workshop PM_x Quellenidentifizierung. Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne*, T. Kuhlbusch, A. John & S. Top (eds.), 22-23 Januar 2004, Duisburg (zie: <http://www.umwelt Daten.de/publikationen/fpdf-l/2640.pdf>).
- Jaarsveld, J.A. van (2004), *The operational priority substances model*, RIVM-rapport 500045001, Bilthoven: RIVM.
- Jacob, D.J. & D.A. Winner (2009), 'Effect of climate change on air quality', *Atmospheric Environment* 43: 51-63.
- Kuiken, M.P. & H.M. ten Brink (2009), *Traffic emissions of elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) and their contribution to PM_{2.5} and PM₁₀ urban background concentrations*, PBL-rapport 500099011, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Kuiken, M.P. & H.M. ten Brink (2010), *Position Paper on the assessment of a combustion-specific PM metric* (te verschijnen).
- Kuiken, M., K. van der Valk & W. Schippers (2009), 'Reductie van niet-uitlaatemissies door vegen en nat reinigen van wegen', *Tijdschrift LUCHT*, 6.
- Krol, M., S. Houweling, B. Bregman, M. van den Broek, A. Segers, P. van Velthoven, W. Peters, F. Dentener & P. Bergamaschi (2005), 'The two-way nested global chemistry-transport zoom model TM5. Algorithm and applications', *Atmospheric Chemistry and Physics* 5 (2): 417-432.
- Knol, A.B. & B.A.M. Staatsen (2005), *Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands, 1980-2020*, RIVM-rapport 500029001, Bilthoven: RIVM.
- Kuhlbusch, T.A.J., A. Borowiak, A. Gelenscer, J. Genberg, D. Gladtko, W. Maenhaut, C. Pio, O. Popovicheva, J.P. Putaud, P. Quincey, J. Sciare, H. ten Brink, M. Viana, K.-E. Yttri (2009), *Measurement of elemental and organic carbon in Europe*, report of the preparatory workshop for a future standard measurement method, JRC report EUR 23992 EN, Ispra, Italy.
- Laden, F., L.M. Neas, D.W. Dockery & J. Schwartz (2000), 'Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities', *Environmental Health Perspectives* 108 (10): 941-947.
- Manders, A.M.M., M. Schaap, M. Jozwicka, F. van Arkel, E.P. Weijers & J. Matthijssen (2009), *The contribution of sea salt to PM₁₀ and PM_{2.5} in the Netherlands*, PBL-rapport 500099004, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Matthijssen, J. & H. Visser (2006), *PM₁₀ in Nederland. Rekenmethodiek, concentraties en onzekerheden*, MNP-rapport 500093005, Bilthoven: MNP.
- Matthijssen, J. & H.M. ten Brink (eds.) (2007), *PM_{2.5} in the Netherlands. Consequences of the new European air quality standards*, MNP-rapport 500099001, Bilthoven: MNP.
- Matthijssen, J., F. van Arkel, M. Schaap, E. Weijers, H. ten Brink & H. Denier van der Gon (2009), 'Nationaal onderzoeksprogramma vergroot kennis over fijn stof', *Tijdschrift LUCHT* 1.
- Matthijssen, J., B.A. Jimmink, F.A.A.M. de Leeuw & W.L.M. Smeets (2009), *Attainability of PM_{2.5} air quality standards, situation for the Netherlands in a European context*, PBL-rapport 500099015, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- MNP (2006), *Nieuwe inzichten in de omvang van de fijnstofproblematiek*, MNP-rapport 500093003/2006, Bilthoven: MNP.
- Mol, W.J.A., P.R. van Hooydonk & F.A.A.M. de Leeuw (2009), *European exchange of monitoring information and state of the air quality in 2007*, ETC/ACC Technical Paper 2009/3.
- PBL (2009a), *Milieubalans 2009*, PBL-rapport 500081015/2009, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- PBL (2009b) *Natuurbalans 2009*, PBL-rapport 500402017/2009, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Perez, L., A. Tobias, X. Querol, N. Künzli, J. Pey, A. Alastuey, M. Viana, N. Valero, M. González-Cabré & J. Sunyer (2008), 'Coarse particles from Saharan dust and daily mortality', *Epidemiology* 19 (6): 800-807.
- Philippa, R., K. Behrens & C. Ruckstuhl (2009), 'How declining aerosols and rising greenhouse gases forced rapid warming in Europe since the 1980s', *Geophysical Research Letters* 36, L02806.
- Pope, C.A. III & D.W. Dockery (2006), 'Health effects of fine particulate air pollution. Lines that connect', *Journal of the Air & Waste Management Association* 56 (6): 709-742.
- Putten, E.M. van & M.G. Mennen (1998), *Laboratory study of five methods for measuring ambient ammonium aerosol*, RIVM-rapport 722601004, Bilthoven: RIVM.
- Putten, E.M. van, H.J.Th. Bloemen & A. van der Meulen (2002), *Betrouwbaarheid van PM₁₀-metingen in Nederland. Een samenvattend overzicht*, RIVM-rapport 650010026/2002, Bilthoven: RIVM.
- Quass, U., T. Kuhlbusch & M. Koch (2004), *Identifizierung von Quellgruppen für die Feinstaubfraktion. Identification of source groups for fine dust*, IUTA-Report nr. LP 15/2004, Duisburg.
- Quass, U., H. Beuck, U. Pfeffer, P. Bruckmann, T.A.J. Kuhlbusch (2009), *PM₁₀ und natürliche Feinstaubquellen. Bestimmung in der Routine*, VDI Conference KRDL Expertenforum Partikel und Stickstoffdioxid, Bonn, 7 Oktober 2009.
- Raes, F. & H. Seinfeld (2009), 'Climate change and air pollution abatement. A bumpy road', *Atmospheric Environment* 43 (32): 5132-5133.
- RIVM (2010), 'Gegevens gebaseerd op metingen van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu', <http://www.lml.rivm.nl>.
- Sanderson, M.G. et al. (2008), 'A multi-model study of the hemispheric transport and deposition of oxidised nitrogen', *Geophysical Research Letters* 35, L17815.
- Schaap, M., R.M.A. Timmermans, M. Roemer, G.A.C. Boersen, P.J.H. Bultjes, F.J. Sauter, G.J.M. Velders & J.P. Beck (2008), 'The LOTOS-EUROS model. Description, validation and latest developments', *International Journal of Environment and Pollution* 32 (2): 270-290.
- Schaap, M., A.M.M. Manders, E.C.J. Hendriks, J.M. Cnossen, A.J.S. Segers, H.A.C. Denier van der Gon, M. Jozwicka, F.J. Sauter, G.J.M. Velders, J. Matthijssen & P.J.H. Bultjes (2009), *Regional modelling of particulate matter for the Netherlands*, PBL-rapport 500099008, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Schaap, M., E.P. Weijers, D. Mooibroek & L. Nguyen (2010), *Composition and origin of Particulate Matter in the Netherlands, Results of the Dutch Research Programme on Particulate Matter*, PBL-rapport 500099011, Den Haag/Bilthoven: PBL (te verschijnen).
- SEPA (2009), 'Air pollution and climate change, two sides of the same coin?', Swedish Environmental Protection Agency, University of Gothenburg, <http://www.swedishepa.se/en/In-English/Menu/GlobalMenu/Bookshop/>.
- Shindell, D.T., G. Faluvegi, D.M. Koch, G.A. Schmidt, N. Unger & S.E. Bauer (2009), 'Improved attribution of climate forcing to emissions', *Science* 326: 716-718.
- Smeets, W.L.M., W.F. Blom, A. Hoen, B.A. Jimmink, R.B.A. Koelmeijer, J.A.H.W. Peters, R. Thomas & W.J. de Vries (2007), *Kosteneffectiviteit van aanvullende maatregelen voor een schonere lucht*, MNP-rapport 500091001/2007, Bilthoven: MNP.

- Staatscourant (2007), 'Regeling van de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer van 8 november 2007, nr. LMV 2007.109578, houdende regels met betrekking tot het beoordelen van de luchtkwaliteit (Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007)', Staatscourant 220.
- Steerenberg, P.A., L. van Amelsvoort, M. Lovik, R.B. Hetland, T. Alberg, T. Halatek, H.J. Bloemen, K. Rydzynski, G. Swaen, P. Schwarze, E. Dybing & F.R. Cassee (2006), 'Relation between sources of particulate air pollution and biological effect parameters in samples from four European cities. An exploratory study', *Inhalation Toxicology* 18 (5): 333-346.
- UN-ECE (1998), 'The 1998 Protocol on Heavy Metals; 28 Parties. Entered into force on 29 December 2003', http://www.unece.org/env/lrtap/status/lrtap_s.htm.
- UN-ECE (1999), 'The 1999 Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Groundlevel Ozone; 23 Parties. Entered into force on 17 May 2005', http://www.unece.org/env/lrtap/status/lrtap_s.htm.
- UN-ECE (2007), *Report of the fourth and fifth meetings of the Expert Group on Particulate Matter by the Co-Chairs in collaboration with the secretariat*, ECE/EB.AIR/WG.5/2007/18, 26 June 2007, Geneva.
- Velders, G., J. Aben, W. Blom, H. Diederens, G. Geilenkirchen, B. Jimmink, A. Koekoek, R. Koelemeijer, J. Matthijsen, C. Peek, F. Rijn, M. de Schijndel, O. van der Sluis & W. de Vries (2009), GCN-rapport. Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland. Rapportage 2009, PBL-rapport 500099005/2009, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Visser, H., E. Buringh & P.B. van Breugel (2001), *Composition and origin of airborne particulate matter in the Netherlands*, RIVM-rapport 650010029, Bilthoven: RIVM.
- VMM (2009), Chemkar PM₁₀. *Chemische karakterisatie van fijn stof in Vlaanderen 2006-2007*, Depotnummer D/2009/6871/015, Vlaamse Milieumaatschappij, Erembodegem België.
- Voogt, M.H., M.P. Keuken, E.P. Weijers & A. Kraai (2009), *Spatial variability of urban background PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations*, PBL-rapport 500099010, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Weijers, E.P., E. Sahan, H.M. ten Brink, M. Schaap, J. Matthijsen, R.P. Otjes & F. van Arkel (2010), *Contribution of secondary inorganic aerosols to PM₁₀ and PM_{2.5} in the Netherlands. Measurement and modelling results*, PBL-rapport 5000990, Den Haag/Bilthoven: PBL (te verschijnen).
- Wagner, F., W. Schöpp & C. Heyes (2006), 'The RAINS optimization module for the Clean Air For Europe (CAFE) Programme', IIASA Interim Report IR-06-029, <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-06-029.pdf>.
- Wagner, F., M. Amann & W. Schöpp (2007), 'The GAINS Optimization Module as of 1 February 2007', IIASA Interim Report IR-07-004, <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-07-004.pdf>.
- Weijers, E.P. et al. (te verschijnen), 'A first estimate of the contribution of wood burning to PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations in the Netherlands'.
- WHO (2000), *Air quality guidelines for Europe*, second edition, WHO Regional Publications, European Series 91, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- WHO (2003), *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*, Bonn: WHO.
- WHO (2005), *Air quality guidelines global update 2005*, WHO document number EUR/05/5046029, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- WHO (2006), *Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution*, WHO document number EUR/05/5046028, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Publicaties gerelateerd aan het Beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof (BOP)**
- Arkel, F.Th. van et al. (2010), *Measurements in the Netherlands Research Program on Particulate Matter BOP: a technical background document*, PBL-rapport 500099009, Den Haag/Bilthoven: PBL (te verschijnen).
- Brink, H.M. ten, E.P. Weijers, F.Th. van Arkel & D. de Jonge (2009), *Carbon (EC/OC) concentrations as derived from routine PM measurements in the Netherlands*, PBL-rapport 500099005, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Denier van der Gon, H.A.C., M. Schaap, A. Visschedijk & E. Hendriks (2007), *A methodology to constrain the potential source strength of various soil dust sources contributing to atmospheric PM₁₀ concentrations*, Landbauforschung Völknerode: Sonderheft, Band 308.
- Denier van der Gon, H.A.C., E. Hendriks, M. Schaap & A. Visschedijk (2008), 'A methodology to constrain the potential source strength of various soil dust sources contributing to atmospheric PM₁₀ concentrations in Europe', posterpresentatie 17th International Emission Inventory Conference, Portland, Oregon, 2-5 juni 2008.
- Denier van der Gon, H., A. Visschedijk, R. Droge, H. van de Brugh & M. Schaap (2009), 'European emissions of PM_{2.5} and its precursors', samenvatting gepresenteerd tijdens de Workshop measurements and modelling of PM_{2.5} in Europe, 23-24 april 2009 (zie: <http://www.mnp.nl/bibliotheek/rapporten/500099017.pdf>).
- Denier van der Gon, H. & J. Hulskotte (2010), *Methodologies for estimating shipping emissions in the Netherlands*, PBL-rapport 500099012, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Denier van der Gon, H.A.C., J.H.J. Hulskotte, A.J.H. Visschedijk & H. van der Brugh (2010), 'Emissions from inland shipping in Europe', (te verschijnen).
- Denier van der Gon, H., M. Jozwicka, E. Hendriks, M. Gondwe & M. Schaap (2010), *Mineral dust as a constituent of particulate matter*, PBL-rapport 500099003, Den Haag/Bilthoven: PBL (te verschijnen).
- Hendriks, E.C.J., H.A.C. Denier van der Gon & M. Schaap (2009), 'Constraining the potential source strength of various soil dust sources contributing to atmospheric PM₁₀ concentrations in Europe', NATO-ITM conference on Air pollution modelling and its application, San Francisco, USA, 18-22 mei 2009.
- Hulskotte, J.H.J. & H.A.C. Denier van der Gon (2010), 'Emissions from seagoing ships at Berth derived from an on-board survey', *Atmospheric Environment* 44: 1229-1236.
- Keuken, M. P. & H.M. ten Brink (2009), *Traffic emissions of elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) and their contribution to PM_{2.5} and PM₁₀ urban background concentrations*, PBL-rapport 500099011, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Keuken, M., K. van der Valk & W. Schippers (2009), 'Reductie van niet-uitlaatemissies door wegen en nat reinigen van wegen', *Tijdschrift LUCHT*, 6.
- Keuken, M.P., H. Denier van der Gon & K. van der Valk (2010), 'The efficiency of road sweeping and washing to reduce non-exhaust emissions in the Netherlands', *Science of the Total Environment* (submitted).
- Keuken, M.P., L. Klok, E. Meijer, J. Borst & S. van den Elshout (2010), 'Modelling dispersion of elemental carbon and particle number in an urban area', *Science of the Total Environment* (submitted).
- Manders, A.M.M., M. Schaap & R. Hoogerbrugge (2009), 'Testing the capability of the chemistry transport model LOTOS-EUROS to forecast PM₁₀ levels in the Netherlands', *Atmospheric Environment* 43 (26): 4050-4059.
- Manders, A.M.M., M. Schaap, M. Jozwicka, F. van Arkel, E.P. Weijers & J. Matthijsen (2009), *The contribution of sea salt to PM₁₀ and PM_{2.5} in the Netherlands*, PBL-rapport 500099004, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Manders, A.M.M., M. Schaap, X. Querol, M.F.M.A. Albert, J. Vercauteren, T.A.J. Kuhlbusch & R. Hoogerbrugge (2010), 'Sea salt concentrations across the European continent' (te verschijnen).
- Matthijsen, J. & H.M. ten Brink (eds.) (2007), *PM_{2.5} in the Netherlands. Consequences of the new European air quality standards*, MNP-rapport 500099001, Bilthoven: MNP.
- Matthijsen, J. & H. ten Brink (2008), 'Fijn stof, nu nog fijner', *Milieu 2*.
- Matthijsen, J., F. van Arkel, M. Schaap, E. Weijers, H. ten Brink & H. Denier van der Gon (2009), 'Nationaal onderzoeksprogramma vergroot kennis over fijn stof', *Tijdschrift LUCHT* 1.
- Matthijsen, J., B.A. Jimmink, F.A.A.M. de Leeuw & W.L.M. Smeets (2009), *Attainability of PM_{2.5} air quality standards, situation for the Netherlands in a European context*, PBL-rapport 500099015, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Matthijsen, J. & P.J.H. Bultjes (2010), *Workshop measurements and modelling of PM_{2.5} in Europe*, PBL-rapport 500099017, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Schaap, M., E. Hendriks, H. Denier van der Gon (2009), 'Constraining the potential source strength of various soil dust sources contributing to atmospheric PM₁₀ concentrations in Europe', Goldschmidt Conference, Davos Zwitserland, 21-26 mei 2009.
- Schaap, M., E.C.J. Hendriks, A.M. Manders, M. Jozwicka, H.A.C. Denier van der Gon (2009), 'Modelling the atmospheric base cation concentration over Europe', NATO-ITM conference on Air pollution modelling and its application, San Francisco, USA, 18-22 mei 2009.
- Schaap, M., H. Denier van der Gon, E. Hendriks, A. Manders & M. Keuken (2009), 'Modellering van de zeezout en bodemstof bijdragen aan fijn stof over Nederland', *Tijdschrift LUCHT* 5.
- Schaap, M., A.M.M. Manders, E.C.J. Hendriks, J.M. Cnossen, A.J.S. Segers, H.A.C. Denier van der Gon, M. Jozwicka, F.J. Sauter, G.J.M. Velders, J. Matthijsen & P.J.H. Bultjes (2009), *Regional modelling of particulate matter for the Netherlands*, PBL-rapport 500099008, Den Haag/Bilthoven: PBL.

- Schaap, M., E.P. Weijers, D. Mooibroek & L. Nguyen (2010), *Composition and origin of particulate matter in the Netherlands. Results of the Dutch Research Programme on Particulate Matter*, PBL-rapport 500099011, Den Haag/Bilthoven: PBL (te verschijnen).
- Schaap, M., R.P. Otjes & E.P. Weijers (2010), 'Illustrating the benefit of using hourly monitoring data on secondary inorganic aerosol and its precursors for model evaluation', *Atmospheric Chemistry and Physics* (te verschijnen).
- Voogt, M.H., M.P. Keuken, E.P. Weijers & A. Kraai (2009), *Spatial variability of urban background PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations*, PBL-rapport 500099010, Den Haag/Bilthoven: PBL.
- Voogt, M., M. Keuken, E. Weijers & A. Kraai (2009), 'Fijn stof in de stadsachtergrond van Rotterdam', *Tijdschrift LUCHT* 2.
- Voogt, M. & M. Keuken (2009), 'Spatial and temporal variability in Particulate Matter within an urban environment', posterpresentatie ETTAP-conferentie, Toulouse, Frankrijk, 2 juni 2009.

PBL nieuwsberichten

- Akkoord over nieuwe Europese Richtlijn Luchtkwaliteit
http://www.pbl.nl/nl/dossiers/fijn-stof/content/Akkoord_over_nieuwe_Europese_Richtlijn_Luchtkwaliteit.html
 Nederland gaat EU-normen voor kleine deeltjes fijn stof waarschijnlijk halen
<http://www.pbl.nl/nl/nieuws/nieuwsberichten/2009/20091119-Nederland-gaat-EU-normen-voor-kleine-deeltjes-fijn-stof-waarschijnlijk-halen.html>

Workshops

- PM_{2.5} in Nederland, Informatieve workshop voor stakeholders rond de introductie van Europese normen voor PM_{2.5} in 2008, Utrecht, 18 januari 2008, 13.30 - 16.30.
- Measurements and Modelling of PM_{2.5} in Europe, Internationale workshop over PM_{2.5}, Bilthoven, 23 - 24 april 2009.
- Programma: <http://www.pbl.nl/en/dossiers/Transboundaryairpollution/content/Programme-Workshop-Measurements-and-Modelling-of-PM2.5-in-Europe.html>
- Presentaties: <http://www.pbl.nl/en/dossiers/Transboundaryairpollution/content/Presentations-Workshop-Measurements-and-Modelling-of-PM2.5-in-Europe.html>
- Rapport: <http://www.mnp.nl/bibliotheek/rapporten/500099017.pdf>
 BOP, het Nederlands onderzoeksprogramma fijn stof, VVM Workshop, Bilthoven, 11 december 2009.
- Programma en presentaties: <http://www.vvm.info/main.php?id=43>.

Bijlage

Onzekerheden

De conclusies van het onderzoek in BOP moeten in perspectief worden gezien van een aantal onzekerheden. Het gaat hierbij om de onzekerheid in de verschillende soorten metingen en berekeningen en om de representativiteit van de metingen. Kortom, de reikwijdte van de conclusies in de verschillende BOP-rapporten. De onzekerheid in de berekeningen wordt besproken in Schaap et al. (2009) en Velders et al. (2009).

Meetonzekerheden

De fijnstofmetingen in de BOP-meetcampagne zijn verkregen volgens de Europese referentiemethoden voor het meten van PM_{10} en $PM_{2,5}$ (Europese Normen (EN) 12341; 1999 en EN 14907; 2005). Deze standaarden geven de definitie van fijn stof in relatie tot de grenswaarden. De aanpak in de BOP meetcampagne is daarom optimaal om de samenstelling van fijn stof in verband te brengen met het al dan niet halen van de Europese grenswaarden voor PM_{10} en $PM_{2,5}$.

Hieronder worden de onzekerheden behandeld per fijnstofbestanddeel, die het gevolg zijn van de onzekerheid in de samenstellingsmetingen. De hier beschreven onzekerheden zijn in meer detail uitgewerkt in Schaap et al. (2010). De onzekerheidsmarges hier zijn een ondergrens. De marges zijn per fijnstofbestanddeel aanmerkelijk groter als rekening wordt gehouden met andere binnen de Europese richtlijn toegestane meettechnieken en methoden om de concentratie van fijnstofbestanddelen te bepalen. De bepaling van de bijdrage aan fijn stof van het bestanddeel zeezout uit de meetgegevens kan bijvoorbeeld op verschillende manieren worden gedaan. De marge die ontstaat als gevolg van de verschillende berekeningswijzen kan bij zeezout oplopen tot 30-40 procent. Voor ander bestanddelen geldt een vergelijkbaar verhaal.

De gemiddelde onzekerheid in de totale PM_{10} - en $PM_{2,5}$ concentratie is ongeveer 20 procent. Metingen volgens de referentiemethoden laten ruimte voor systematische afwijkingen ten opzichte van concentraties in de buitenlucht. Dit hangt samen met het feit dat fijn stof voor een belangrijk deel uit halfvluchtige verbindingen bestaat: ammoniumnitraat, halfvluchtig koolstofhoudend fijn stof en water. Verdamping en condensatie van deze fracties

leiden tot afwijkingen ten opzichte van concentraties in de buitenlucht. Voor de analyse van de metingen heeft het echter geen grote consequenties gehad, omdat systematische afwijkingen bij de bepaling van de fijnstofbestanddelen in vergelijkbare mate speelden bij de bepaling van de totale PM_{10} en $PM_{2,5}$ concentratie.

Tijdens de BOP meetcampagne 2007-2008 heeft een aanscherping van de referentiemethode plaatsgevonden (zie tekstbox Metingen PM_{10} en $PM_{2,5}$ in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit in paragraaf 1.1). Hierdoor zijn de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties na februari 2008 systematisch 1 tot 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lager. Als gevolg hiervan hebben de BOP meetgegevens een iets grotere onzekerheid: de onzekerheid van de gemiddelde bijdragen van de fijnstofbestanddelen is verhoogd met enkele procenten.

SIA

De bepaling van de bijdrage van secundair anorganisch aerosol aan fijn stof is ongeveer 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10-15 procent) en daarmee relatief nauwkeurig. Wel waren er waarschijnlijk systematische verschillen tussen de gemeten SIA-concentraties en die in de buitenlucht. Metingen in Nederland volgens de Europese referentiemethode, zoals gebruikt in BOP, zouden de bijdrage van SIA en daarmee ook de fijnstofconcentratie in de lucht, jaargemiddeld mogelijk met enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$ onderschatten. Dit blijkt uit een vergelijking tussen SIA-metingen volgens een methode waar de vervluchtiging geen rol speelt (MARGA) en volgens de Europese referentiemethode waarbij dit wel het geval is (Weijers et al. 2010).

TCM

Rond concentraties van koolstofverbindingen en koolstofhoudend fijn stof bestaan grote onzekerheden. De som van EC en OC is met een onzekerheid circa 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (10-15 procent) de meest robuuste maat voor koolstof. De onzekerheid in de TCM concentraties is groter, naar schatting ongeveer 25 procent. De verdeling tussen EC en OC is veel onzekerder. Dit is een onwenselijke situatie omdat juist koolstof als EC maar ook als OC een grotere rol wordt toegedicht bij de gezondheidseffecten van fijn stof dan andere 'grote' fijnstofbestanddelen (SIA en zeezout). Vluchtige organische stoffen die tot de vorming van TCM kunnen leiden, vormen

ook de bron voor ozon op leefniveau en spelen verschillende rollen, vooral indirect als deeltjes, bij klimaatverandering.

De onzekerheid komt door het vluchtige karakter van organisch koolstof. Als gevolg hiervan zijn zowel emissies als concentratiemetingen onzeker. Daarnaast is de bepaling van de verhouding EC/OC onzeker. Het relatieve aandeel van EC aan EC+OC bleek te variëren tussen 20 en 60 procent, afhankelijk van de meetmethode. De meeste methoden hebben bovendien als nadeel dat alleen het element koolstof wordt gemeten, zodat de bijdrage door de overige elementen die onderdeel zijn van de koolstofverbindingen wordt ingeschat. Hiertoe werd de EC+OC massa met 1,3 vermenigvuldigd conform de US-EPA-benadering. Deze factor is nogal onzeker en kan volgens de literatuur variëren tussen 1,2 en 2,0. Op Europees niveau worden nu afspraken gemaakt over een te volgen standaardmethode voor het meten van EC en OC door het Europese standaardiseringscomité op het gebied van koolstofmetingen (CEN working group 35 on EC and OC in particulate matter; Kuhlbusch et al. 2009).

Uit de metingen bleek dat de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties, die volgens de referentiemethode waren bemonsterd, gemiddeld ongeveer $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gasvormige koolstofverbindingen te bevatten (ten Brink et al. 2009). Dit deel wordt dus volgens de Europese referentiemethode tot fijn stof gerekend en is daarom ook meegenomen in de concentratiebijdragen van het bestanddeel TCM. Dit deel zal naar verwachting niet afnemen als antropogene VOS emissies afnemen.

De modellering van de bijdrage van TCM aan fijn stof is nog niet voldoende ontwikkeld, onder andere door de onzekerheden in de metingen en emissies. Hierdoor is het kwantitatieve effect van maatregelen om VOS emissies en de uitstoot van primaire EC- en OC-deeltjes terug te dringen op de hoogte van de fijnstofconcentraties onzeker.

Bodemstof

De onzekerheid in het aandeel bodemstof is geschat op ten minste 30 procent. Het aandeel bodemstof in fijn stof blijkt het beste afgeleid te kunnen worden van de gemeten silicium- en aluminiumconcentraties. Silicium en aluminium zijn namelijk dominant in bodemstof (klei met zand) uit Noordwest-Europa. De meetonzekerheid in de concentratiemetingen van vooral silicium bleek echter groot (30 procent). Niet al het silicium (kwarts) kon worden vastgesteld bij de gebruikte meetmethode. Voor het ontbrekende deel is daarom gecorrigeerd. Deze correctie introduceerde de grootste onzekerheid.

Metalen

De onzekerheid in het aandeel metalen is relatief klein (10 procent). Er is een correctie toegepast om de bijdrage te verrekenen van elementen die aan de metalen zijn gebonden, zoals zuurstof. Deze correctie introduceert een onzekerheid, omdat niet zeker is hoeveel van deze elementen moeten worden bijgeteld.

Zeezout

De onzekerheid in de zeezoutbijdrage aan fijn stof is geschat op circa 15 procent. De bijdrage van zeezout aan fijn stof is vastgesteld door uit te gaan van de verhoudingen van de

verschillende zeezoutelementen, zoals natrium en chloride, voor vers zeezout. Als zeezoutdeeltjes in de lucht blijven gaan ze chemische reacties aan met andere componenten aan, waardoor de verhouding tussen natrium en chloride verandert. Daarom zijn er verschillende manieren om de bijdrage van zeezout te berekenen uit de gemeten concentraties van zeezoutelementen. Schaap et al. (2010) gaan in op de consequenties van de berekeningswijze voor de zeezoutbijdrage.

Representativiteit en consistentie van de meetgegevens

De meetcampagnes die onderdeel uitmaakten van het BOP-onderzoeksprogramma gaven een momentopname van de fijnstofsituatie tussen 2007-2008. Fijn stof heeft veel verschillende en variabele bronnen in binnen- en buitenland. De representativiteit van een meetcampagne om de fijnstofsituatie in Nederland te schetsen wordt daardoor beperkt door het aantal meetpunten en de meetfrequentie. In het BOP-onderzoek is op zes meetlocaties (3 regio-, 1 stads- en 2 straatlocaties) op elke vierde dag de totale fijnstofconcentratie en de samenstelling ervan bepaald. De samenstelling en concentratie van fijn stof en de verschillen die per locatietype zijn gemeten, kunnen daarom slechts indicatief zijn voor de rest van Nederland tijdens de BOP meetperiode. De concentratieverschillen van PM_{10} en $PM_{2,5}$ tussen de stadslocatie en drie verschillende regiolocaties bleken gemiddeld klein; $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}) en $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($PM_{2,5}$). Deze verschillen waren kleiner of van dezelfde orde als de concentratieverschillen tussen de drie regiolocaties onderling. Daarom was de gebruikte meetopzet ontoereikend om de bijdrage aan fijn stof door bronnen in de stad significant te kunnen bepalen. De stadsbijdrage kon wel worden bepaald voor fijnstofbestanddelen die grotendeels in PM_{10} zitten en minder in $PM_{2,5}$, zoals zeezout, bodemstof en metalen.

Om de consistentie van de BOP-metgegevens met andere gegevens over fijn stof te onderzoeken zijn de verschillende studies in het BOP-programma zoveel mogelijk uitgebreid met een Europese component. De meetresultaten zijn in perspectief geplaatst van bestaande metingen in Nederland en de rest van Europa en van berekeningen met het LOTOS-EUROS-model. Dit chemie-transportmodel beschrijft de luchtkwaliteit voor geheel Europa en wordt gebruikt om de keten van emissie tot concentratie en verwijdering te beschrijven. Daarnaast zijn de BOP-metgegevens met een statistische methode geanalyseerd om bronnen te kunnen identificeren (Schaap et al. 2010). Deze onafhankelijke toetsing van de meetgegevens bleek de conclusies over de bronnen van fijn stof verder te onderbouwen.

In Nederland is in 1998/1999 ook al een meetcampagne uitgevoerd, het zogenoemde 'bronstof' onderzoek (Visser et al. 2001; Buringh & Opperhuizen 2002). Sindsdien is de kennis over verschillende gezondheidsaspecten van fijn stof en de bronbijdragen veranderd en verbeterd. Het bronstof-onderzoek is te kenschetsen als de eerste grote verkenning van de bronnen van fijn stof in Nederland. De resultaten van het onderzoek zijn om vooral technische redenen niet een-op-een vergelijkbaar met die van het BOP onderzoek. Zo waren er nog geen afspraken over referentiemethoden om

PM₁₀ en PM_{2,5} te bemonsteren. In vergelijking met de bronstofresultaten is het natuurlijke aandeel volgens de schatting in BOP (4 – 5 µg/m³) zeker 40 procent kleiner dan de schattingen volgens Visser et al. (2001).

In België (VVM 2009) en Duitsland (IUTA 2004; Quass et al. 2004, 2009) hebben ook meetcampagnes plaatsgevonden om de samenstelling en bronnen van fijn stof te duiden. De recente campagne in Duitsland liep deels synchroon met de campagne in Nederland. Het onderzoek in België vond plaats in 2006-2007. Bij het trekken van de conclusies op basis van de Nederlandse gegevens zijn de resultaten van de genoemde campagnes zoveel mogelijk meegenomen (zie Weijers et al. 2010; Denier van der Gon et al. 2010; Schaap et al. 2010). Opvallende verschillen zijn gevonden tussen de bodemstofbijdrage in België, Duitsland en Nederland. In België bleek de bodemstofbijdrage aan PM₁₀ gemiddeld ongeveer twee keer zo hoog als die in Nederland. In Duitsland zijn de bodemstofconcentraties, hoewel licht hoger, weer redelijk goed vergelijkbaar met die in Nederland. Hiervoor bestaat tot nu toe nog geen sluitende verklaring. De verschillen hebben mogelijk te maken met de grote marges die ontstaan in de bodemstofconcentraties door de diverse manieren waarop bodemstof kan worden afgeleid uit de gemeten elementenconcentraties en door te verschillen tussen meetlocaties. Ook zijn er verschillen gevonden in de bijdragen door elementair koolstof en organisch koolstof aan de toename van fijn stof in de stad ten opzichte van de regionale achtergrond. De verschillen zijn waarschijnlijk het gevolg van verschillen tussen de gebruikte meetmethoden om de concentraties elementair koolstof en organisch koolstof te bepalen.

Colofon

Eindverantwoordelijkheid

Planbureau voor de Leefomgeving

Met medewerking van

Ernie Weijers (ECN), Harry ten Brink (ECN), René Otjes (ECN), Aline Kraai, (ECN), Emel Sahan (ECN), Marita Voogt (TNO), Astrid Manders (TNO), Elise Hendriks (TNO), Martijn Schaap (TNO), Menno Keuken (TNO), Hugo Denier van der Gon (TNO), Arjo Segers (TNO), Magdalena Jozwicka (TNO), Mhtenkeni Gondwe (TNO), Frits van Arkel (RIVM), Ronald Hoogerbrugge (RIVM), Dennis Mooibroek (RIVM), Lan Nguyen (RIVM), Margreet van Zanten (RIVM), Ferd Sauter (RIVM), Frank de Leeuw (PBL), Guus Velders (PBL), Hans van Jaarsveld (PBL), Winand Smeets (PBL), Benno Jimmink (PBL), Jelmer Crossen (PBL), Dave de Jonge (GGD Amsterdam), Sef van den Elshout (DCMR).

Met dank aan

Wij bedanken de Milieudienst Rijnmond (DCMR), de GGD Amsterdam, de Gemeente Breda, Wageningen Universiteit en Researchcentrum en het KNMI voor hun bijdragen aan het Beleidsgericht Onderzoeksprogramma PM. De auteurs danken Ed Buijsman voor zijn bijdrage aan de verbetering van de leesbaarheid van dit rapport.

Projectassistent

Karin van Doremalen

Tekstredactie

Ester Goddijn

Redactie figuren

Marian Abels, Raymond de Niet, Jan de Ruiter, Joost van Wollingen, Wilco de Vries

Opmaak

Uitgeverij RIVM

Fijn stof beter in kaart gebracht: grotendeels door mens veroorzaakt

Mensen veroorzaken een veel groter deel van het fijn stof in de lucht (PM_{10} en $PM_{2,5}$) dan gedacht. Maatregelen gericht op het terugdringen van de uitstoot veroorzaakt door mensen zijn daarom mogelijk effectiever dan verondersteld om de concentraties fijn stof te verlagen. PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties blijken echter minder geschikt om op lokale schaal het effect te volgen van maatregelen op de uitstoot van verbrandingsprocessen, zoals verkeeruitlaatgassen, die vanuit gezondheidsoogpunt als relevant gelden. Uit nader onderzoek moet blijken of andere metingen van deeltjes zoals zwarte rook of elementair koolstof daarvoor geschikter zijn.

Dit zijn enkele belangrijke uitkomsten van het 'Beleidsgericht Onderzoeksprogramma fijn stof' (BOP) uitgevoerd door het PBL, ECN, RIVM en TNO. BOP liep van 2007 tot 2009 en werd gefinancierd door het ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM). BOP was gericht op het verminderen van het aantal beleidsdilemma's, dat zich voordoet bij de handhaving van Europese normen voor fijn stof. Het onderzoek leidde tot verschillende nieuwe inzichten in de samenstelling en bronnen van fijn stof en in de voortgang in het fijnstofbeleid. Deze inzichten hebben geleid tot beleidsaanbevelingen en resultaten hebben hun weerslag gekregen in een vijftiental rapporten.

Dit rapport schetst de resultaten van het gehele onderzoeksprogramma op hoofdlijnen en de beleidsimplicaties daarvan.

Dit is een BOP-publicatie geproduceerd onder de auspiciën van het PBL.

Het Nederlands onderzoeksprogramma fijn stof (BOP) is een nationaal programma over PM_{10} en $PM_{2,5}$. Het is een samenwerkingverband tussen Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en TNO.

Postbus 303, 3720 AH Bilthoven, Nederland.