



MNP Rapport 500088003/2007

**Grootschalige PM<sub>2,5</sub>-concentratiekaarten van Nederland**

Een voorlopige analyse

G.J.M. Velders, J. Matthijsen, J.M.M. Aben, W.J. de Vries

Contact:

G.J.M. Velders

Milieu- en Natuurplanbureau (MNP)

[Guus.Velders@mnp.nl](mailto:Guus.Velders@mnp.nl)

Dit onderzoek werd uitgevoerd in het kader van project M500088, GCN-kaarten.

© MNP 2007

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Milieu- en Natuurplanbureau, de titel van de publicatie en het jaartal.'

## Abstract

### Large-scale PM<sub>2.5</sub> concentration maps for the Netherlands

A preliminary analysis

A preliminary analysis of PM<sub>2.5</sub> concentrations in the Netherlands to investigate the attainability of the proposed European target and limit values for PM<sub>2.5</sub> showed PM<sub>2.5</sub> concentrations to decrease between 2010 and 2020. For agglomerations, reductions of 6-10% were calculated on the basis of standing national and European policies, and reductions of 14-19% on the basis of extra policies. The proposed European target for this reduction of 20% will almost certainly not be met on the basis of these scenarios and employing only technical measures. The reduction target might be met with additional local measures.

The analysis used maps showing the large-scale PM<sub>2.5</sub> concentration in the Netherlands, taking into account the many uncertainties related to PM<sub>2.5</sub> emissions, and the chemical composition and measurements of PM<sub>2.5</sub>. The total PM<sub>2.5</sub> concentration along busy roads was obtained by adding local contributions.

Maximum PM<sub>2.5</sub> concentrations were calculated for the west and south of the Netherlands. Concentrations between 15 and 26  $\mu\text{g m}^{-3}$  were calculated along busy roads for these regions for 2015 based on standing national and European policies. The total PM<sub>2.5</sub> concentrations is therefore expected to exceed the proposed limit value of 25  $\mu\text{g m}^{-3}$  only in a very limited number of locations in 2015. The calculation takes into account a local increase of the large-scale PM<sub>2.5</sub> contribution by local sources and an uncertainty in the measurements of  $\pm 2.5 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Key words: particulate matter, model calculations, OPS, measurements



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>9</b>
<b>2. Chemische samenstelling van PM<sub>2,5</sub></b>	<b>13</b>
<b>3. Emissies van PM<sub>2,5</sub></b>	<b>15</b>
<b>4. Methode voor bepaling PM<sub>2,5</sub>-concentratiekaarten</b>	<b>19</b>
4.1 <i>Algemeen</i>	19
4.2 <i>Kalibratie van PM<sub>2,5</sub> aan de hand van metingen</i>	20
<b>5. Concentraties PM<sub>2,5</sub></b>	<b>27</b>
5.1 <i>Grootschalige concentratie</i>	27
5.2 <i>Bronbijdragen</i>	30
5.3 <i>Lokale bijdrage aan de concentratie</i>	32
<b>Dankwoord</b>	<b>35</b>
<b>Literatuur</b>	<b>37</b>
<b>Bijlage A. Emissies van PM<sub>2,5</sub></b>	<b>40</b>



## Samenvatting

In de Europese Unie is regelgeving van kracht voor de luchtkwaliteit met betrekking tot concentraties van onder andere fijn stof,  $PM_{10}$ . Het is de verwachting dat in 2008 er ook regelgeving van kracht wordt voor uitsluitend het fijnere deel van fijn stof,  $PM_{2,5}$ . De haalbaarheid van voorgestelde streef- en grenswaarden wordt in dit rapport onder de loep genomen.

Rondom  $PM_{2,5}$  zijn er tal van onzekerheden met betrekking tot de emissies in Nederland en in het buitenland, de chemische samenstelling van de deeltjes, de gezondheidseffecten, de metingen, etc. Kalibratie van de grootschalige concentratiekaarten is nog niet goed mogelijk door het ontbreken van gekalibreerde metingen van  $PM_{2,5}$  in Nederland. Desondanks heeft het MNP gemeend dat het waardevol is om op basis van de huidige kennis en met in achtneming van alle onzekerheden een voorlopige inschatting te maken van de  $PM_{2,5}$ -concentraties in Nederland. In dit rapport wordt besproken hoe concentratiekaarten van  $PM_{2,5}$  gemaakt kunnen worden, wat de concentraties in Nederland ongeveer zijn, welke sectoren het meest bijdragen aan de concentratie en hoe de relatie tussen de concentratie en de te verwachten Europese richtlijnen voor  $PM_{2,5}$  is.

De hier besproken concentratiekaarten zijn bedoeld voor het geven van een grootschalig beeld van de luchtkwaliteit met betrekking tot  $PM_{2,5}$  in Nederland. Een additionele lokale bijdrage bij snelwegen en drukke stadswegen moet hierbij worden opgeteld om de totale concentratie te krijgen.

De hoogste  $PM_{2,5}$ -concentraties worden, op basis van deze voorlopige analyse, berekend voor het westen en zuiden van Nederland. De berekende grootschalige jaargemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentratie is daar maximaal  $20,6 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2006. Op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid neemt de grootschalige concentratie daar af tot  $18,4 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2010,  $17,8 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2015 en  $17,7 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2020.

Gemiddeld over Nederland daalt de grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentratie op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid met ongeveer  $2,0 \mu\text{g m}^{-3}$  van 2006 tot 2010 en met nogmaals ongeveer  $1,0 \mu\text{g m}^{-3}$  van 2010 tot 2020. Voorgenomen nationaal en Europees beleid bovenop het vaststaand beleid geeft naar verwachting een daling in de gemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentratie van ongeveer 0,4; 0,75 en  $1,0 \mu\text{g m}^{-3}$  in respectievelijk 2010, 2015 en 2020. Het scenario op basis van voorgenomen nationaal en Europees beleid gaat ervan uit dat Nederland en de andere landen in Europa voldoen aan de NEC-doelen voor 2010 en de emissiedoelen behorende bij de ambitie van de thematische strategie van de Europese Commissie voor 2020.

Uitgaande van een lokale verhoging van de grootschalige concentratie ten gevolge van lokale bronnen en rekening houdend met een onzekerheid in het niet-gemodelleerde deel van  $PM_{2,5}$  van  $\pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  ligt het maximum van de totale  $PM_{2,5}$ -concentratie in drukke straten in het westen en zuiden van Nederland, op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid, tussen  $15$  en  $26 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2015. Het voorgenomen nationaal en Europees beleid bovenop het vaststaand beleid leidt tot een daling in concentratie in de agglomeraties van gemiddeld ongeveer  $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$ . De totale  $PM_{2,5}$ -concentratie is in 2015 waarschijnlijk overal Nederland lager dan de voorgestelde grenswaarde van  $25 \mu\text{g m}^{-3}$ , uitgezonderd op mogelijke enkele erg drukke straten. Op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid zal de  $PM_{2,5}$ -concentratie in 2015 waarschijnlijk hoger zijn dan  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  in drukke straten in stedelijke agglomeraties en mogelijk op enkele locaties in de buurt van landbouwgebieden.

Naast een grenswaarde voor de jaargemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentratie heeft de Raad van de Europese Unie ook een streefwaarde voorgesteld voor de reductie van de gemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentratie in stedelijke agglomeraties, de zogenaamde gemiddelde-blootstellingsindex. De berekende reductie in de grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentratie in 2020 ten opzichte van 2010 in agglomeraties bedraagt, in deze voorlopige analyse, 6-10% op basis van alleen vaststaand nationaal en Europees beleid. Een maximale reductie van 14-19% wordt berekend als de  $PM_{2,5}$ -concentratie in 2020 op basis van het vaststaand, voorgenomen en aanvullend beleid wordt vergeleken met de concentratie in 2010 op basis van alleen het vaststaand beleid. Deze maximale reductie kan worden bereikt als enkele maatregelen in het voorgenomen beleidsscenario niet vóór maar na 2010 zouden worden ingezet. De voorgestelde streefwaarde voor deze reductie van 20% wordt op basis van deze scenario's met alleen technische maatregelen naar verwachting niet gehaald. Met additionele agglomeratiebrede lokale maatregelen die bijvoorbeeld de verkeersvolumes in agglomeraties beïnvloeden, kan de voorgestelde streefwaarde mogelijk wel worden gehaald.



# 1. Inleiding

Fijn stof is een complex mengsel van deeltjes van verschillende grootte en van diverse chemische samenstelling. Afhankelijk van de doorsnede van de stofdeeltjes wordt gesproken van PM<sub>10</sub> voor deeltjes met een doorsnee tot 10 micrometer of van PM<sub>2,5</sub> voor deeltjes met een doorsnee tot 2,5 micrometer. De fractie PM<sub>2,5</sub> bevat vooral de deeltjes die ontstaan door condensatie van verbrandingsproducten of door reactie van gasvormige luchtverontreiniging. De fractie fijn stof groter dan PM<sub>2,5</sub> bestaat vooral uit mechanisch gevormde deeltjes. Stof dat vrijkomt bij mechanische bewegingen, zoals wegdekslijtage en stalemissies, betreft vooral deeltjes die groter zijn dan PM<sub>2,5</sub>. Stof dat, bijvoorbeeld in de vorm van roet en rook, rechtstreeks vrijkomt bij verbrandingsprocessen zoals bij transport, industrie en consumenten, bestaat uit deeltjes die ook kleiner zijn dan PM<sub>2,5</sub>. De samenstellende deeltjes van fijn stof hebben, afhankelijk van de grootte, een atmosferische verblijftijd in de orde van dagen tot weken. Daardoor kan fijn stof zich over afstanden van duizenden kilometers verplaatsen en is fijn stof een probleem op continentale schaal (zie Matthijsen en ten Brink, 2007).

Fijn stof is zowel van natuurlijke als antropogene oorsprong. Natuurlijke bestanddelen zijn voornamelijk bodemstof en zeezout. Het antropogene deel van fijn stof bestaat uit hoofdzakelijk primair fijn stof, en de secundaire componenten sulfaat- (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitraat- (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en ammonium- (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) aërosol. Het secundair aërosol wordt in de atmosfeer gevormd uit directe gasvormige emissies van onder andere zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en ammoniak (NH<sub>3</sub>). Daarnaast kunnen in geringere mate nog andere bestanddelen aanwezig zijn die gezondheidsrelevant zijn.

Momenteel is er Europese en Nederlandse regelgeving voor PM<sub>10</sub> (EU, 1999). De regelgeving bevat een grenswaarde voor de jaargemiddelde PM<sub>10</sub>-concentratie van 40 µg m<sup>-3</sup> en een grenswaarde voor de daggemiddelde PM<sub>10</sub>-concentratie van 50 µg m<sup>-3</sup>, welke niet meer dan 35 dagen per jaar overschreden mag worden. Daarnaast vindt in Europa besluitvorming plaats over een nieuwe luchtkwaliteitsrichtlijn, waarin vijf bestaande Europese wetten worden herzien en nieuwe regelgeving is opgenomen voor PM<sub>2,5</sub>. De vijf bestaande wetten die worden herzien en opgenomen in de nieuwe richtlijn zijn de Kaderrichtlijn Lucht (EU, 1996), de bijbehorende 1<sup>e</sup>, 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> Dochterrichtlijnen: (EU, 1999; EU, 2000; EU, 2002) en de Beschikking van de Raad (EU, 1997).

De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO, 2005) heeft in een recente evaluatie van de gezondheidsaspecten van luchtverontreiniging aanbevolen om PM<sub>2,5</sub> als indicator te gaan gebruiken. De WHO geeft aan dat deze fractie gezondheidkundig van groter belang is dan PM<sub>10</sub>. De PM<sub>2,5</sub>-fractie is directer verbonden met de door mensen veroorzaakte emissie van fijn stof dan PM<sub>10</sub> en is daardoor met beleidsmaatregelen beter aan te pakken. Bestanddelen van natuurlijke oorsprong, zoals zeezout en een deel van het bodemstof, spelen in de PM<sub>2,5</sub>-fractie een veel minder grote rol dan in PM<sub>10</sub>.

De Raad van de Europese Unie heeft in haar voorstel voor nieuwe richtlijnen voor de verbetering van de luchtkwaliteit (EU, 2007) een streefwaarde voorgesteld voor de jaargemiddelde concentratie van PM<sub>2,5</sub> van 25 µg m<sup>-3</sup> voor 2010 en een grenswaarde van 25 µg m<sup>-3</sup> voor 2015. Verder heeft zij een streefwaarde geformuleerd voor een reductie in de gemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie in stedelijke agglomeraties (gemiddelde-blootstellingsindex) van 20% in 2020 ten opzicht van 2010 (EU, 2007). In 2013 wordt deze streefwaarde mogelijk een grenswaarde. Discussies in het Europees Parlement gaan in de richting van een grenswaarde voor het jaargemiddelde van 20 µg m<sup>-3</sup> in plaats van 25 µg m<sup>-3</sup>. De besluitvorming is zover gevorderd, dat in september 2007 de zogenaamde tweede lezing in

het Europese Parlement is begonnen. Afronding van de besluitvorming over de richtlijn wordt niet eerder dan eind 2007 verwacht.

Er zijn echter ook praktische problemen bij een eventuele regelgeving voor PM<sub>2,5</sub>. Metingen van PM<sub>2,5</sub> vinden in Europa pas sinds enkele jaren plaats. Naar schatting waren er in 2003 115 meetpunten en in 2005 325 met een datadekking van meer dan 50% (ETC/ACC, 2007). Het merendeel van deze metingen vindt plaats in stedelijk omgevingen. In Nederland zijn er momenteel in totaal drie regionale, zes straat/snelwegstations, vijf stadsachtergrondstations en twee industriële achtergrondstations voor de meting van PM<sub>2,5</sub> welke worden beheerd door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en lokale netwerkbeheerders waaronder de GGD-Amsterdam en de Milieudienst Rijnmond (DCMR). De meetreeks van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie op deze stations is beperkt en bedraagt meestal maar enkele jaren. De referentiemethode voor PM<sub>2,5</sub>-metingen is vastgelegd in NEN-EN 14907 (2005). Deze standaard definieert de gravimetrische methode waarmee de absolute concentratie van PM<sub>2,5</sub> wordt bepaald. Er zijn verschillende typen filtermateriaal toegestaan waaronder glas, kwarts en teflon. De absolute concentratie blijkt gevoelig voor het gebruik van deze filtermaterialen (Ten Brink, 2004; Müller et al., 2004). Daarnaast bevat PM<sub>2,5</sub> relatief meer vluchtig stoffen dan PM<sub>10</sub>. Hierdoor is bij de bepaling van PM<sub>2,5</sub> met automatische monitoren de versturende rol van verdampingsverliezen groter dan bij PM<sub>10</sub>. De metingen van PM<sub>2,5</sub> van het RIVM zoals gebruikt in deze rapportage zijn nog niet gekalibreerd aan de hand van metingen met referentieapparatuur.

De jaargemiddelde gemeten concentratie van PM<sub>2,5</sub> ligt waarschijnlijk tussen 10 en 25 µg m<sup>-3</sup>. De absolute concentratieniveaus langs (drukke) wegen, in de stedelijke achtergrond en het landelijk gebied zijn nog moeilijk in te schatten. De bestaande PM<sub>2,5</sub>-meetgegevens in Nederland en directe omgeving zijn nog onzeker onder andere door verschillen tussen de gebruikte meetapparatuur. De verschillen tussen stad en straat en tussen stad en regio zijn beter te bepalen. Het concentratieverschil tussen drukke wegen en de stedelijke achtergrond varieert van 1 tot 5 µg m<sup>-3</sup> en het concentratieverschil tussen de stedelijke achtergrond en het landelijk gebied is waarschijnlijk 1 tot 4 µg m<sup>-3</sup>.

De betrouwbaarheid van de emissies van PM<sub>2,5</sub> en van het effect van beleidsmaatregelen daarop is beperkt. Hoe betrouwbaar de monitoring van de fijnstofemissies is, is niet goed bekend (MNP, 2005). Uit een studie (TNO, 2004a) blijkt dat de onzekerheid van de emissie uit de bekende emissiebronnen minimaal 20% is. De Emissieregistratie heeft in 2007 een eerste schatting gemaakt van de PM<sub>2,5</sub>-emissie op basis van het aandeel PM<sub>2,5</sub> in PM<sub>10</sub> per emissieoorzaak. De in deze analyse gebruikte PM<sub>2,5</sub>-emissieschattingen zijn afgeleid van de verhouding tussen PM<sub>2,5</sub>- en PM<sub>10</sub>-emissies per sector (expert judgement door TNO).

In dit rapport wordt besproken hoe grootschalige concentratiekaarten van PM<sub>2,5</sub> gemaakt kunnen worden op basis van de huidige kennis rondom PM<sub>2,5</sub> en met behulp van modelberekeningen en metingen. De berekende concentratiekaarten geven een grootschalig beeld van de luchtkwaliteit met betrekking tot PM<sub>2,5</sub> in Nederland. Een additionele lokale bijdrage bij snelwegen en drukke stadswegen moet hierbij worden opgeteld om de totale concentratie te krijgen. Beschreven wordt welke emissies er zijn gebruikt en hoe de kalibratie aan de hand van gemeten concentraties van PM<sub>2,5</sub> kan plaatsvinden. De resulterende concentratiekaarten worden besproken, de effecten op concentraties tussen verschillende beleidsscenario's voor 2010-2020, de relatie tussen de concentraties en de voorgestelde streef- en grenswaarden en de bronbijdragen aan de PM<sub>2,5</sub>-concentratie in Nederland.

De hier besproken methode en resultaten dienen als verkenning aangezien nog veel zaken rondom PM<sub>2,5</sub> onbekend zijn. In het kader van het Beleidsgeoriënteerd Onderzoeksprogramma PM (BOP; MNP, 2007) wordt momenteel onderzoek verricht om een aantal onzekerheden rond fijn stof te verminderen ter ondersteuning van het fijnstofbeleid

(Matthijsen en Ten Brink, 2007). Zo bestaat het programma uit een verkenning van de kennis en het beleidsinstrumentarium rondom  $PM_{2,5}$  en uit een afgestemd programma van metingen, emissieramingen en modelberekeningen.



## 2. Chemische samenstelling van PM<sub>2,5</sub>

Metingen aan de chemische samenstelling van fijn stof in Nederland hebben geleid tot een goed inzicht in de (gemiddelde) samenstelling van fijn stof (Visser et al., 2001, MNP, 2005; Matthijsen en Visser, 2006). Fijn stof in Nederland bestaat uit:

### Anorganische secundaire bestanddelen

Dit betreft hoofdzakelijk sulfaat- (SO<sub>4</sub>), nitraat- (NO<sub>3</sub>) en ammonium- (NH<sub>4</sub>) aërosol. Deze stofdeeltjes worden in de atmosfeer gevormd uit de gasen zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) en ammoniak (NH<sub>3</sub>). De massabijdrage van deze bestanddelen aan de jaargemiddelde concentratie is de laatste jaren tussen de 8 en 10 µg m<sup>-3</sup>. Circa 90% van deze bestanddelen bevindt zich in de PM<sub>2,5</sub>-fractie. Vrijwel al deze secundaire bestanddelen zijn van antropogene oorsprong.

### Koolstofhoudende bestanddelen

Dit betreft vooral elementair koolstof en organische verbindingen. Deze stofdeeltjes worden voor het grootste deel direct in de atmosfeer uitgestoten. Een ruwe schatting van de massabijdrage van deze bestanddelen is 5-6 µg m<sup>-3</sup>, waarvan ca. 20% als elementair koolstof en 80% als organische verbindingen. Roet bestaat uit een mengsel van elementair koolstof en organisch gebonden koolstof. Een klein deel van de koolstofbevattende bestanddelen wordt in de lucht gevormd door chemische reactie, het secundair organisch aërosol. Van de koolstofbevattende bestanddelen bevindt meer dan 90% zich in de PM<sub>2,5</sub>-fractie. Deze groep bevat ook een naar massa gewogen geringe hoeveelheid polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Het elementaire koolstof en de PAK zijn volledig van antropogene oorsprong, terwijl de overige organische verbindingen deels van natuurlijke en deels van antropogene oorsprong zijn.

### Zeezout

Zeezout bestaat voornamelijk uit natriumchloride ('keukenzout') met kleinere bijdragen van magnesium-, calcium-, en kaliumverbindingen. Zeezoutaërosol is van natuurlijke oorsprong en ontstaat in de lucht wanneer de wind over het zeewateroppervlak blaast. De bijdrage van zeezout aan de jaargemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie is op basis van bestaande metingen nog onvoldoende nauwkeurig te kwantificeren.

Schattingen berusten op beperkte meetcampagnes, waarden in andere kustgebieden in Europa en berekeningen. Het aandeel zeezout in PM<sub>2,5</sub> is jaargemiddeld in Nederland tussen 0,1 en 2,0 µg m<sup>-3</sup> (gemiddeld over Nederland 1,1 µg m<sup>-3</sup>). Voor PM<sub>10</sub> wordt het aandeel zeezout, gemiddeld over een jaar, geschat op 2 tot 7 µg m<sup>-3</sup> afhankelijk van de afstand tot de kust. De verhouding tussen het aandeel zeezout in PM<sub>2,5</sub> en dat in PM<sub>10</sub> is nog onvoldoende duidelijk. Modelberekeningen geven een verhouding van 10-20%. Hoewel deze verhouding wordt onderbouwd door een aantal metingen, geven bijvoorbeeld Visser et al. (2001) een aanzienlijk hogere schatting van 25-50%. In dit rapport is een verhouding van 25% gebruikt om voor Nederland uit het aandeel zeezout in PM<sub>10</sub> een deel voor PM<sub>2,5</sub> af te leiden.

De ruimtelijke verdeling van de zeezoutconcentratie in PM<sub>2,5</sub> neemt, net als bij PM<sub>10</sub>, af hoe verder weg van de kust. Echter omdat de PM<sub>2,5</sub>-fractie minder snel wordt verwijderd via droge depositie is de ruimtelijke gradiënt kleiner dan bij PM<sub>10</sub>.

**Bodemstof: oxiden van metalen en silicium**

Dit betreft voornamelijk oxiden van silicium, aluminium, calcium, ijzer en kalium. De bronnen bestaan grotendeels uit opwaaiend stof. Het bodemstof komt voornamelijk in de lucht door menselijke activiteiten. De totale bijdrage van bodemstof aan de PM<sub>10</sub>-concentratie is in de orde van 4 µg m<sup>-3</sup> gemiddeld over Nederland. Bodemstof in PM<sub>10</sub> bestaat voor het overgrote deel (70-90%) uit deeltjes die groter zijn dan PM<sub>2,5</sub>. De bijdrage van bodemstof aan de jaargemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie in Nederland is daarom waarschijnlijk klein. Bloemen et al. (2007) vinden een bijdrage aan PM<sub>2,5</sub> van de massa die geassocieerd wordt met bodemstof van 0,1-0,2 µg m<sup>-3</sup>.

**Water**

Bestanddelen van fijn stof, vooral anorganische secundaire bestanddelen en zeezout, kunnen hoge aandelen chemisch gebonden water bevatten. De bijdrage van chemisch gebonden water wordt, op het moment van meten, geschat op maximaal 15% van de totale PM<sub>10</sub>-concentratie. De anorganische secundaire en zeezout bestanddelen vormen in Nederland de grootste fractie in PM<sub>2,5</sub> (40-80%). De referentiemethode inclusief het meetprotocol en het filtertype bepalen voor een belangrijk deel hoeveel water er aan PM<sub>2,5</sub> gebonden blijft onder de referentie-omstandigheden (50% relatieve vochtigheid en 20°C). De hoeveelheid chemisch gebonden water op PM<sub>2,5</sub> kan enkele µg m<sup>-3</sup> groot zijn en vormt dus een belangrijke bijdrage aan PM<sub>2,5</sub>. De bijdrage van water aan PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> is moeilijk te kwantificeren en is daardoor nog slecht bekend. Bovendien speelt water een versturende rol bij automatische meetmethoden, waarvan de gevolgen doorwerken in de vergelijking met referentiemetingen.

### 3. Emissies van PM<sub>2,5</sub>

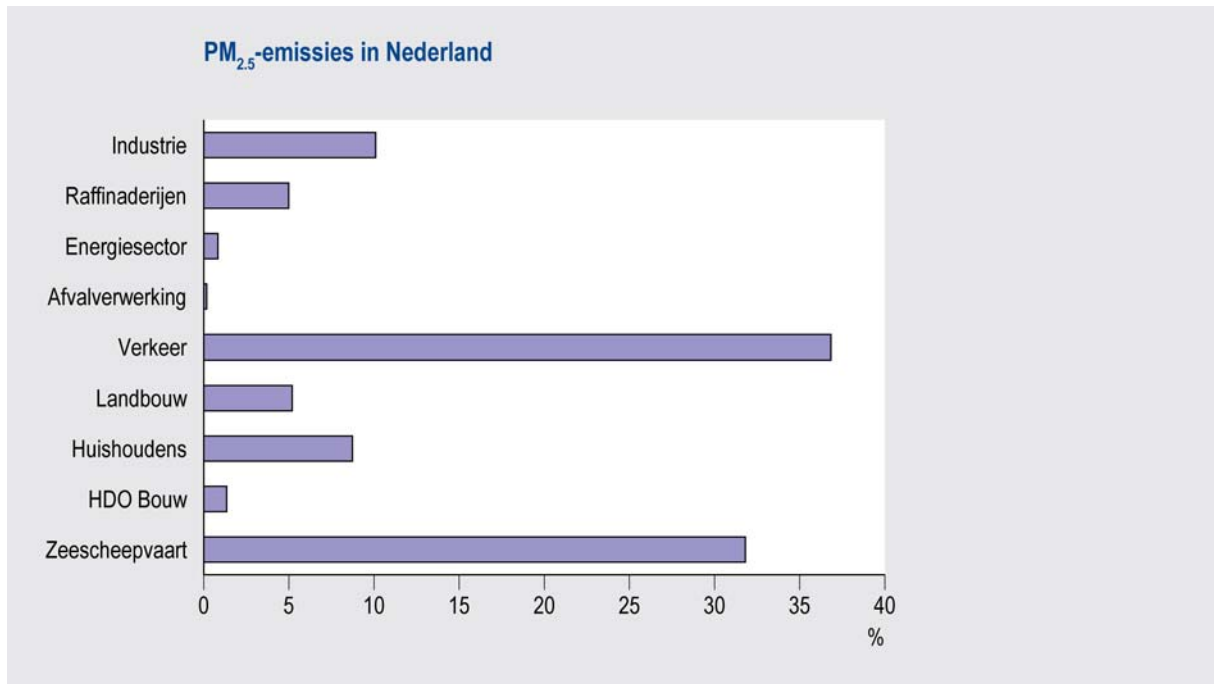
In de Emissieregistratie (ER) is een inventarisatie beschikbaar van de emissies van primair PM<sub>2,5</sub> in Nederland. De emissies van PM<sub>2,5</sub> worden berekend op basis van de verhoudingen in emissies van primair PM<sub>2,5</sub> en primair PM<sub>10</sub> per sector en deelsectoren (zie Tabel A.1) en is gebaseerd op een expert judgement van TNO (2004b). Voor 2004 bedraagt de emissie van primair PM<sub>2,5</sub> in Nederland ongeveer 22 miljoen kg. De grootste bronbijdrage aan de emissies van primair PM<sub>2,5</sub> in Nederland komt van het verkeer gevolgd door de zeescheepvaart op het Nederlands continentaal plat (Figuur 1).

Concentratiekaarten van PM<sub>2,5</sub> voor de periode 2010-2020 zijn gebaseerd op dezelfde scenario's als de grootschalige concentratiekaarten van NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> van maart 2007 (GCN-kaarten, Velders et al., 2007). De kaarten zijn dus gebaseerd op geactualiseerde emissieramingen van het Global Economy-scenario en vaststaande nationale en internationale maatregelen. In het vaststaand beleid wordt uitgegaan van de Euro-5- en Euro-6-normen voor personen- en bestelauto's en de maatregelen uit het Prinsjesdagpakket van 2005 en 2006.

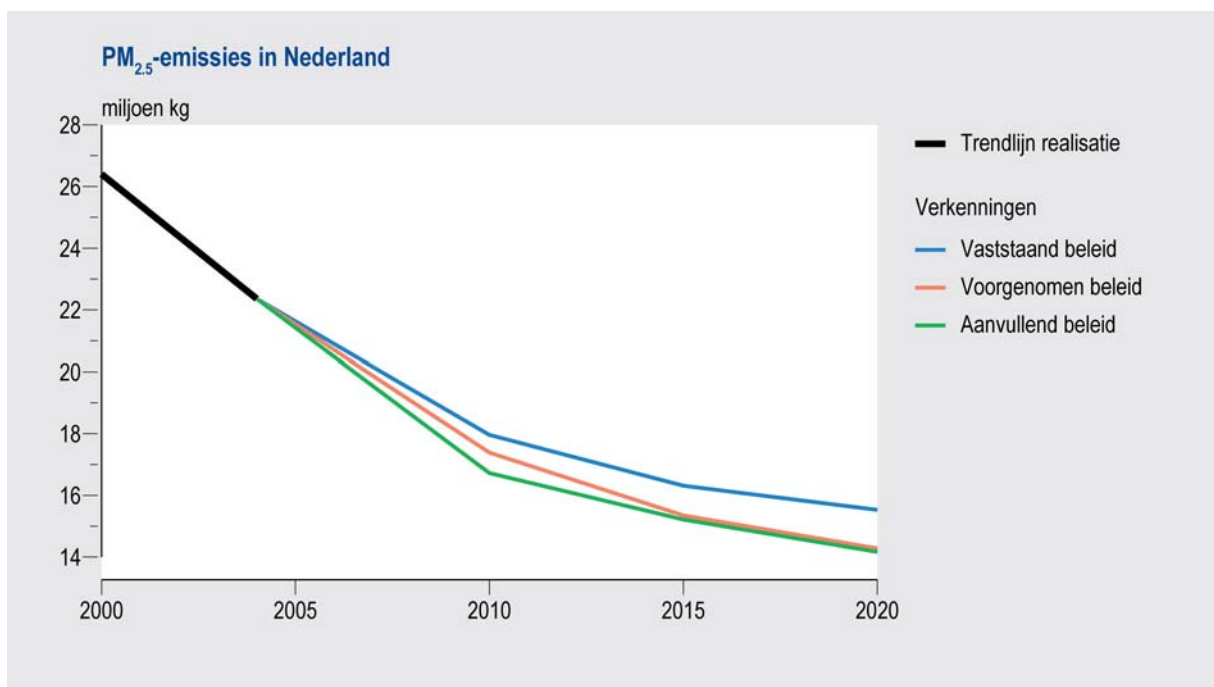
Ook zijn concentratiekaarten gemaakt gebaseerd op de vaststaande maatregelen plus voorgenomen nationale maatregelen en afgesproken Europese beleidsdoelstellingen vertaald in mogelijke maatregelen. Het voorgenomen Europese beleid gaat ervan uit dat de EU-landen hun National Emissions Ceilings voor 2010 (NEC; EU, 2001) en de emissies volgens de ambitie van de Thematische Strategie voor luchtverontreiniging (TSAP) van de Europese Commissie voor 2020 (EU, 2005; IIASA, 2006) halen. Het anticiperen op de tijdige realisatie van de NEC-doelen voor 2010 en TSAP-emissies voor 2020 door het buitenland houdt een bepaald risico in en kan resulteren in tegenvallers in de toekomst. Daarentegen kan het niet meenemen van voorgenomen beleid leiden tot een onderschatting van de effecten ervan en tot een overschatting van concentraties. De voorgenomen beleidsmaatregelen hebben vooral betrekking op de invoering van Euro-VI-normen voor zwaar verkeer en op maatregelen voor de zeescheepvaart op Europees niveau, op invoering van kilometerbeprijzing voor wegverkeer en de inzet van luchtwassers in de landbouw in Nederland.

Naast de scenario's gebaseerd op het vaststaande en voorgenomen nationale en internationale beleid zijn ook concentraties berekend uitgaande van een aanvullend beleidsscenario. Dit scenario veronderstelt additionele maatregelen bovenop beide andere scenario's met betrekking tot 1) luchtwassers bij de intensieve veehouderij, 2) aanscherping van de NO<sub>x</sub>-emissiehandel, 3) stimulering van nieuwe auto's die voldoen aan de Euro-6-normen voor personenauto's en Euro-VI-normen voor vrachtauto's, 4) diverse belastingmaatregelen voor wegverkeer, 5) extra inzet van lage NO<sub>x</sub>-branders en extra SCR (Selective Catalytic Reduction) bij stationaire gasmotoren in de land- en tuinbouw, HDO en bouw, huishoudens en industrie.

In Figuur 2 staat de ontwikkeling van de emissies van primair PM<sub>2,5</sub> in Nederland op basis van de verschillende scenario's. De Europese Commissie heeft in haar Thematische Strategie voor Luchtverontreiniging (EU, 2005) indicatieve doelen gesteld voor de emissies van PM<sub>2,5</sub>. Op basis van een doorrekening van IIASA (2006) bedraagt het PM<sub>2,5</sub>-emissiedoel voor Nederland 16 miljoen kg in 2020. De scenario's weergegeven in Figuur 2 resulteren in emissies die lager zijn dan dit doel. Hierbij moet opgemerkt worden dat de emissies van PM<sub>2,5</sub> nog aanzienlijke onzekerheden bevatten en het daarom niet met zekerheid kan worden gezegd of de PM<sub>2,5</sub>-emissies in Nederland lager dan het indicatieve doel van 16 miljoen kg in 2020 komen te liggen.



Figuur 1 Verdeling van de emissies van primair PM<sub>2.5</sub> in Nederland in 2004.



Figuur 2 Emissies van primair PM<sub>2.5</sub> in Nederland op basis van vaststaand, voorgenomen en aanvullend nationaal en Europees beleid. De emissieschattingen van PM<sub>2.5</sub> bevatten nog aanzienlijke onzekerheden welke niet in deze figuur zijn weergegeven.

Folkert et al., (2005) hebben enkele jaren geleden emissies van PM<sub>2.5</sub> bepaald eveneens op basis van de verhouding PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> en kwamen toen op hogere waarden van 23 miljoen kg voor het Global Economy-scenario en op 19 miljoen kg met maximaal technisch haalbare reducties in 2020. De huidige lagere inschattingen van de PM<sub>2.5</sub>-emissies voor 2020 komt voornamelijk door aanpassingen in de volumes en emissiefactoren bij verkeer (Hoen et al.,



2006) en door het meenemen van extra vaststaand beleid in de scenario's (Velders et al., 2007).



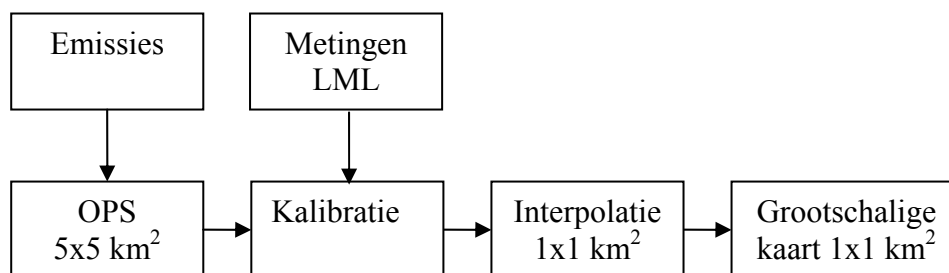
## 4. Methode voor bepaling PM<sub>2,5</sub>-concentratiekaarten

### 4.1 Algemeen

De methodiek om voor iedere willekeurige plaats in Nederland de concentratie te berekenen kan worden onderverdeeld in drie stappen (zie Matthijsen en Visser, 2006; Velders et al., 2007).

#### Stap 1. Berekening grootschalige concentratie

Dit betreft de berekening van de grootschalige concentratie (in regionaal en stedelijk gebied) met het OPS-model (Van Jaarsveld, 2004). Hierbij worden bronnen in heel Europa meegenomen. Voor PM<sub>2,5</sub> worden de primaire en secundaire fracties (sulfaat, nitraat, ammonium) afzonderlijk berekend en vervolgens bij elkaar opgeteld om de totaal berekende PM<sub>2,5</sub>-concentratie te krijgen. Deze methode is analoog aan die voor PM<sub>10</sub> (Matthijsen en Visser, 2006). De rekenresolutie voor de bijdrage van de Nederlandse emissies is 1x1 km<sup>2</sup>, de bijdrage van de buitenlandse emissies wordt met een resolutie van 5x5 km<sup>2</sup> uitgerekend. Alvorens beide bijdragen op te tellen wordt de Nederlandse bijdrage geaggregeerd naar 5x5 km<sup>2</sup>. Als invoer voor het model zijn onder andere gegevens nodig over emissies, zoals sterkte, hoogte en ruimtelijke en temporele verdeling van de bronnen, zowel voor Nederland als voor de andere Europese landen. Ook meteorologische gegevens zijn nodig. Voor berekeningen van jaren uit het verleden wordt voor Nederland gebruikgemaakt van emissies afkomstig van de Emissieregistratie en worden meteorologische gegevens van het betreffende jaar gebruikt. Voor berekeningen van toekomstige jaren worden de toekomstige emissies geschat op basis van veronderstellingen over ontwikkelingen van economische activiteiten en emissiefactoren welke worden beïnvloed door beleidsmaatregelen. Verder wordt de langjarig gemiddelde meteorologische invoer gebruikt (1990-1999). In de toekomstscenario's wordt het effect van het vaststaand, voorgenomen en aanvullend (inter)nationale beleid meegenomen.



Figuur 3 Berekening grootschalige concentratiekaarten voor fijn stof.

#### Stap 2. Kalibratie met metingen

Dit is de kalibratie van de berekende grootschalige concentraties met metingen van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML, 2007) van het RIVM. Kalibratie is nodig om berekende concentraties in overeenstemming te brengen met gemeten concentraties. Dit is

belangrijk omdat de berekende concentraties van  $PM_{2,5}$  ongeveer 15-45% lager zijn dan de gemeten concentraties. De reden hiervoor is dat de emissies die als invoer voor de modelberekeningen worden gebruikt, alleen de bekende (dat wil zeggen geregistreerde) antropogene emissies betreffen. Natuurlijke bronnen worden in de berekeningen niet meegenomen, deels door gebrek aan proceskennis maar vooral door gebrek aan betrouwbare emissiegegevens. Ook de nauwkeurigheid van de geregistreerde bronnen is beperkt en daarnaast zijn er niet-bekende antropogene bronnen en wordt de bijdrage van water op fijn stof niet gemodelleerd. Met metingen wordt echter totaal  $PM_{2,5}$  verkregen, dat bestaat uit deeltjes van zowel natuurlijke als antropogene oorsprong, inclusief vocht. Ten behoeve van de concentratiekaarten wordt dit verschil gecorrigeerd ('kalibreren'), door de verschillen op meetlocaties te interpoleren over Nederland en het resultaat bij de met het model berekende waarden op te tellen. Een dergelijk verschil tussen metingen en berekeningen van  $PM_{2,5}$  wordt overigens gevonden voor de meeste modellen die internationaal gebruikt worden (MNP, 2005). Achteraf wordt voor de concentratiekaarten de resolutie verhoogd van  $5 \times 5 \text{ km}^2$  naar  $1 \times 1 \text{ km}^2$  met een spline-interpolatie methode om ruimtelijke gradiënten nabij steden en puntbronnen beter tot uitdrukking te brengen.

De procedure voor het maken van grootschalige concentratiekaarten voor de toekomst is in grote lijnen hetzelfde als die voor historische kaarten, met de volgende verschillen:

- Modelberekeningen voor toekomstjaren worden altijd met meerjarig gemiddelde meteorologie uitgevoerd. Van jaar tot jaar voorkomende variaties in meteorologische omstandigheden leiden, bij gelijke emissies, tot fluctuaties (toe- en afnamen) in concentraties van ongeveer 10%, welke worden vermeden door het gebruik van meerjarig gemiddelde meteorologie.
- Metingen zijn niet beschikbaar voor toekomstjaren dus kan de kalibratie aan de hand van metingen niet worden uitgevoerd. Daarom worden de met het OPS-model berekende concentraties gecorrigeerd voor het historisch geconstateerde verschil tussen metingen en modelberekeningen.

### Stap 3. Berekening lokale bijdragen

De grootschalige concentratiekaarten geven een beeld van de bovenlokale concentratie. Stap 3 betreft de berekening van de bijdrage van lokale bronnen bovenop de grootschalige concentratie zoals een straat in een stedelijke omgeving. Deze lokale bijdrage kan met bijvoorbeeld een verkeersmodel worden bepaald (zie paragraaf 5.3).

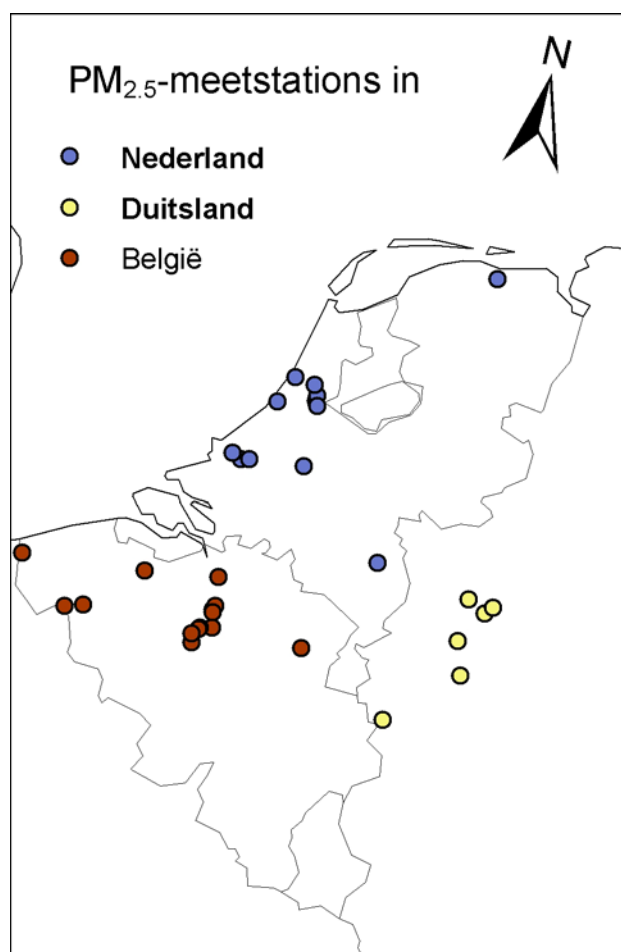
## 4.2 Kalibratie van $PM_{2,5}$ aan de hand van metingen

Voor het kalibreren aan de hand van metingen van de met het OPS-model berekende  $PM_{2,5}$ -concentraties kan dezelfde methode worden toegepast als bij  $PM_{10}$  (Matthijsen en Visser, 2006). Aangezien er in Nederland nog slechts vier regionale meetstations zijn waar de afgelopen drie jaar  $PM_{2,5}$  is gemeten, is er geen landsdekkend beeld van de  $PM_{2,5}$ -concentratie te maken op basis van alleen de regionale achtergrondstations. Om toch een indicatie te krijgen van de gemeten  $PM_{2,5}$ -concentraties in Nederland voor het kalibreren van de grootschalige concentratiekaart zijn ook metingen op stadsachtergrondlocaties en metingen in Noordrijn-Westfalen en België in de beschouwing meegenomen (Figuur 4). Dit is mede gerechtvaardigd door het feit dat  $PM_{2,5}$ -deeltjes per definitie gemiddeld kleiner zijn dan  $PM_{10}$ -deeltjes en  $PM_{2,5}$  daarom een grootschaliger karakter heeft dan  $PM_{10}$ . Het is daarom te verwachten dat de ruimtelijke gradiënten van  $PM_{2,5}$  in Nederland kleiner zijn dan

die van  $PM_{10}$  met ook kleinere verhogingen voor de stadsachtergrond ten opzichte van de regionale achtergrond.

Het aantal meetgegevens van  $PM_{2,5}$  voor het jaar 2006 is beperkt. Tabel 1 geeft een overzicht van de bestaande metingen en de meetinstanties die  $PM_{2,5}$ -metingen van 2006 beschikbaar hebben gesteld. Voor al deze meetlocaties en monitoren zijn gegevens beschikbaar. Voor een vergelijking met jaargemiddelde berekende concentraties zijn echter alleen die meetseries meegenomen met voldoende  $PM_{2,5}$ -data (80% datadekking). Voor 2006 blijven alleen de meetseries over van negen automatische monitoren (allen TEOM).

De meetgegevens zoals ze zijn beschikbaar gesteld zijn naderhand bewerkt ter correctie van verdampingsverliezen (zie onder) die plaatsvinden tijdens het meetproces. De bewerkingen verschillen per monitor type. TEOM-30°C en TEOM-50°C zijn automatische monitoren met een voorverwarming van de aanzuigleiding op respectievelijk 30°C en 50°C. Deze TEOM-apparaten kennen een ingebouwde automatische correctie. Deze automatische correctie ( $\times 1,03 + 3$ ) is vastgesteld voor  $PM_{10}$ -concentraties in de Verenigde Staten.



Figuur 4 Meetlocaties van  $PM_{2,5}$  in en in de buurt van Nederland.

Tabel 1 Meetlocaties van PM<sub>2,5</sub> in Nederland in 2007

Meetnet (beheerder)	Station	Type	Monitortype
LML (RIVM)	De Zilk	Regionale achtergrond	TEOM-30°C <sup>1</sup>
	Vredepeel	Regionale achtergrond	TEOM-30°C
	Kollumerwaard	Regionale achtergrond	TEOM-30°C
	Vlaardingen	Straat	TEOM-30°C
	Amsterdam Ring A10 zuid	Snelweg	FAG-30°C <sup>1</sup>
	Amsterdam Ring A10 zuid	Snelweg	Referentieapparaat <sup>2</sup>
	Cabauw	Regionale achtergrond	TEOM-FDMS <sup>3</sup>
Luchtmeetnet Amsterdam (GGD A'dam)	Overtoom	Stadsachtergrond	TEOM-50°C
	Overtoom	Stadsachtergrond	Referentieapparaat
	Westerpark	Stadsachtergrond	TEOM-50°C
	Ring A10 Zuid	Snelweg	TEOM-50°C
	Ring A10 Zuid	Snelweg	TEOM-FDMS
Luchtmeetnet Rijnmond (DCMR)	Schiedam	Stadsachtergrond	TEOM-30°C
	Maassluis	Industrie/regionale achtergrond	TEOM-30°C
Gemeente Zaanstad (GGD A'dam)	Zaandam	Stadsachtergrond	Referentieapparaat
Provincie NH (GGD A'dam)	Beverwijk	Industrie/stadsachtergrond	Referentieapparaat

1) Zie MNP (2005) voor toelichting op de meetmethode FAG- en TEOM-monitor

2) Referentieapparaat is een handmatig bediend gravimetrisch meetapparaat met een meetmethode volgens NEN-EN 14907.

3) TEOM-FDMS is een TEOM-monitor met Filter Dynamic Measurement System; deze aangepaste TEOM bepaalt intern en automatisch een correctie voor verdampingsverliezen.

Omdat het hier gaat om PM<sub>2,5</sub>-metingen in Europa is deze automatische correctie verwijderd uit de gerapporteerde metingen door de volgende omgekeerde bewerking:

$(PM_{2,5}\text{-meting} - 3)/1,03$ . Vervolgens is een correctiefactor toegepast voor de TEOM-30°C en TEOM-50°C van respectievelijk 1,35 en 1,6 voor een betere benadering van de verdampingsverliezen bij deze monitoren onder Nederlandse omstandigheden. Beide correctiefactoren zijn gebaseerd op een vergelijking met gelijktijdige metingen met referentieapparatuur en/of een TEOM-FDMS. Uit deze vergelijking kwam naar voren dat beide correctiefactoren variëren in de tijd hetgeen voor de hand ligt door de variabiliteit in temperatuur en de deels daarmee samenhangende concentraties van de semi-vluchtige verbindingen op deeltjes.

De FAG-meetgegevens zijn niet bewerkt met een ingebouwde automatische correctie zoals de TEOM-apparaten. De gebruikte FAG is uitgerust met een voorverwarming van de aanzuigleiding op 30°C. Analoog aan de TEOM-30°C is daarom ook bij de FAG een correctiefactor toegepast van 1,35.

TEOM-FDMS is een TEOM-monitor met een uitbreiding van de meettechniek waardoor een schatting kan worden gemaakt van het deel dat vervluchtigt tijdens de voorverwarming. De toepassing is nog beperkt in Europa, echter de eerste ervaringen met de TEOM-FDMS zijn zodanig dat de meetwaarden ongeveer equivalent lijken te zijn met concentraties op basis van referentieapparaten.

PM<sub>2,5</sub>-metingen met een referentieapparaat hebben per definitie geen correctie nodig mits uitgevoerd volgens het vastgestelde protocol. Echter, omdat de filterkeuze van invloed is op het meetresultaat heeft de referentiemeetmethode in Europa, waar verschillende filtertypen en referentieapparaten worden toegepast, de facto een grote spreiding. In Nederland is tot nu toe

vooral gebruik gemaakt van kwartsfilters bij referentiemetingen van fijn stof. Kwarts heeft de eigenschap dat het water aan zich bindt. Indicatieve metingen laten zien dat referentiemetingen voor  $PM_{2,5}$  waarschijnlijk 2-3  $\mu\text{g m}^{-3}$  hoger zijn door dit filter-gebondenwater. Deze massa maakt geen deel uit van  $PM_{2,5}$  of  $PM_{10}$ .

Op basis van de Eerste dochterrichtlijn (EU, 1999) is een aantal  $PM_{2,5}$ -monitoren opgesteld in het LML die sinds 2005  $PM_{2,5}$  meten. Zo wordt in Nederland op een aantal plaatsen  $PM_{2,5}$  gemeten met automatische- en/of referentiemeetapparatuur. De meetverplichting voor  $PM_{2,5}$  die volgt uit de nieuwe richtlijn is nog niet vastgesteld. Het RIVM anticipeert op basis van het meest recente richtlijnvoorstel op de mogelijke vormgeving ervan in het LML. Zo worden in samenwerking met lokale meetnetten afspraken gemaakt om de  $PM_{2,5}$  zoveel mogelijk op de zelfde wijze te meten. Harmonisatie van de meetnetten leidt tot een verbetering in de onderlinge vergelijkbaarheid van de metingen. Automatische metingen van  $PM_{10}$  bleken namelijk vaak moeilijk vergelijkbaar, omdat er in Nederland een aantal verschillende typen meetinstrumenten werden toegepast met elk een eigen verdampingskarakteristiek en bijkomende verschillen in correctiefactoren.

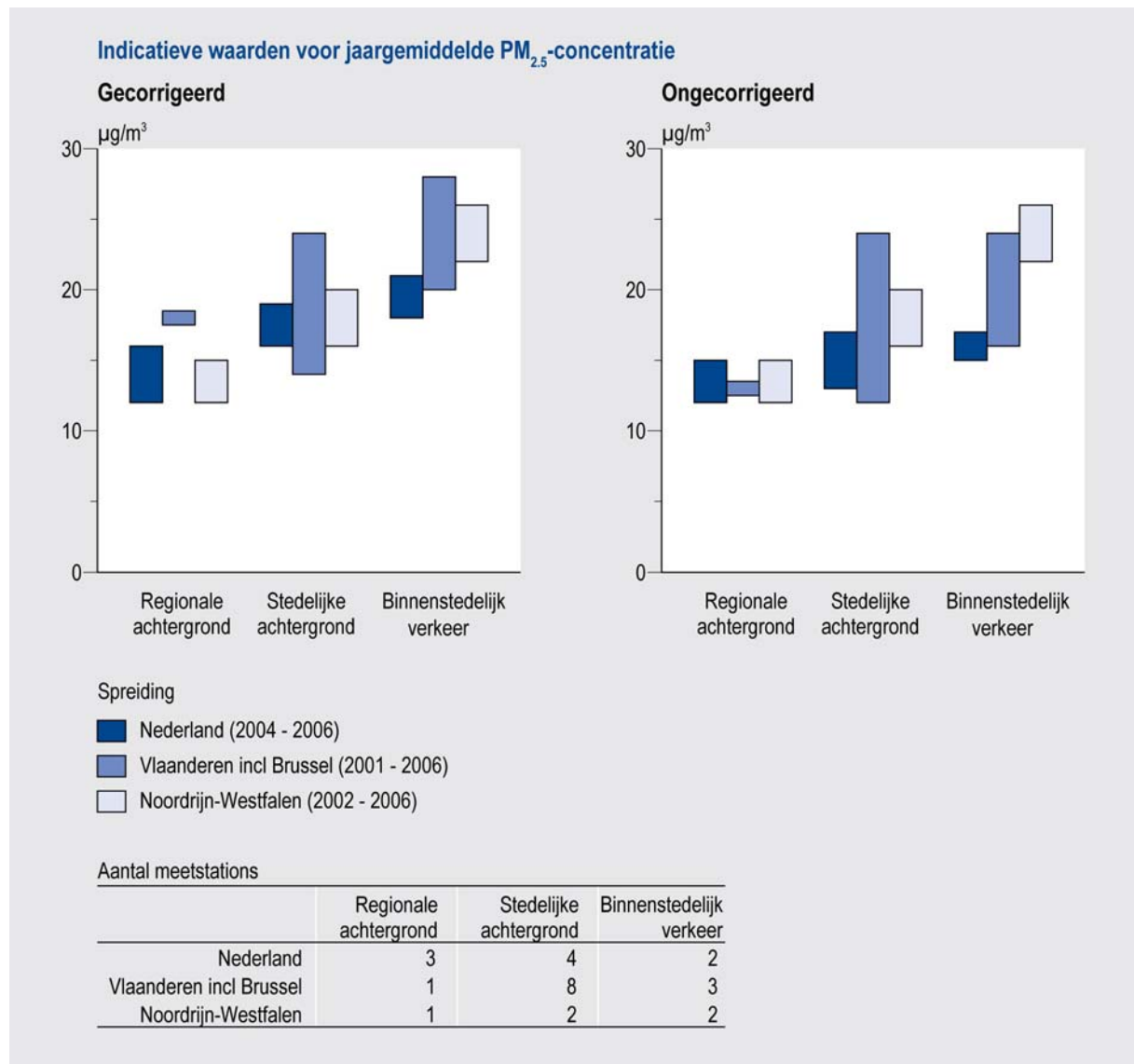
In Figuur 5 zijn de metingen van  $PM_{2,5}$  in Nederland, Noordrijn-Westfalen en België weergegeven. De gemiddelde concentratie op regionale achtergrondstations is ongeveer 12-16  $\mu\text{g m}^{-3}$ . De meetgegevens uit Nederland en België bevatten de grootste onzekerheden door toepassing van relatief hoge correctiefactoren ten opzichte van  $PM_{10}$ -correctiefactoren door het beperkt aantal beschikbare metingen. Het gevolg is een onzekerheidsmarge van 50% rondom een geschatte grootte voor het niet-gemodelleerde deel van  $PM_{2,5}$  van 5  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Doordat de berekende grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentraties worden gekalibreerd aan de hand van de metingen vormt de onzekerheidsmarge van  $\pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  de totale onzekerheid in de gemiddelde grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentratie. Onzekerheden in de emissies en de modellering kunnen extra onzekerheden introduceren in de ruimtelijke verdeling en in de bijdrage van verschillende bronnen aan de concentratie. Als de gegevensbasis van  $PM_{2,5}$  groter wordt door additioneel onderzoek, onder andere in het kader van het BOP (MNP, 2007), kunnen de onzekerheden worden verkleind.

### Verdampingsverliezen

Het in de buitenlucht rondzwevende fijn stof bevat vaak grote (>50%) maar sterk wisselende aandelen water. Dit water is niet relevant voor eventuele gezondheidseffecten, maar het werkt wel verstrend voor de meetapparatuur. Bij de diverse meetmethoden probeert men de hoeveelheid water te reduceren met zo weinig mogelijk verlies van vluchtige bestanddelen.

Daarnaast wordt, om condensatie van vocht te voorkomen, de aanzuigleiding tot vlak boven het filter verwarmd. Dit leidt echter tot verliezen van semi-vluchtige bestanddelen in het fijn stof. Om voor deze verliezen te corrigeren, wordt een zogenaamde correctiefactor toegepast. De waarde van de correctiefactor moet worden vastgesteld door vergelijkend onderzoek waarbij de uitkomsten van de automatische methode worden vergeleken met de uitkomsten volgens de referentiemethode (NEN 14907). Voor  $PM_{2,5}$  is het aantal referentiemetingen beperkt.

De zogenaamde semi-vluchtige bestanddelen vormen bij  $PM_{2,5}$  een nog groter probleem dan bij  $PM_{10}$ . Het aandeel semi-vluchtige bestanddelen in  $PM_{2,5}$  is namelijk relatief groter dan bij  $PM_{10}$ . Problemen treden op zowel bij de referentiemethode als bij de automatische metingen van fijn stof. De omvang van het probleem hangt mede af van de temperatuurstellingen in het bewuste apparaat. Het gaat zowel om organische als om anorganische bestanddelen. Vooral ammoniumnitraat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) is in dit verband een belangrijke component. Er treden verliezen op van het ammoniumnitraat dat is verzameld op een filter doordat het ammoniumnitraat in evenwicht is met ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) en salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ). De ligging van het evenwicht kan tijdens de monsterneming veranderen. Op een 24-uursbasis kan dit leiden tot onvoorspelbare verliezen van ammoniumnitraat. Ammoniumnitraat vormt een belangrijk bestanddeel van  $PM_{2,5}$ . Het probleem met verdampingsverliezen is voor Nederland en nabije omgeving extra groot omdat de niveaus van ammoniumnitraat tot de hoogste van Europa behoren als gevolg van hoge  $\text{NH}_3$ - en  $\text{NO}_x$ -emissies en concentraties.



Figuur 5 Indicatieve bereik van de jaargemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie (µg m<sup>-3</sup>) voor de regionale achtergrond, de stadsachtergrond en straten in stedelijke omgeving. Basis hiervoor zijn PM<sub>2,5</sub>-metingen in Nederland en nabije gebieden in België en Duitsland (NRW, 2007). De data verkregen met automatische monitors in Nederland en België zijn gecorrigeerd voor verdampingsverliezen. De metingen uit Noordrijn-Westfalen zijn gedaan met referentieapparatuur, veelal handmatig bediende gravimetrische apparaten. Er is geen correctie toegepast voor verdampingsverliezen op de meetresultaten van deze referentie apparaten.

De PM<sub>2,5</sub>-concentraties van Noordrijn-Westfalen zijn gemeten met referentieapparatuur en bevatten daardoor waarschijnlijk kleinere onzekerheden dan die uit Nederland. Echter, een vergelijk van deze metingen met die uit Nederland wordt bemoeilijkt doordat het niet bekend is met welk filtertype de referentiemetingen zijn uitgevoerd en welk meetprotocol is gevolgd.

De kalibratie voor de PM<sub>2,5</sub>-kaarten bestaat uit een constante verhoging van de berekende grootschalige concentratie met 5 µg m<sup>-3</sup>. Deze constante volgt uit een vergelijk tussen de berekende en gemeten concentraties op regionale- en stadsachtergrondstations. De onzekerheidsband van het niet-gemodelleerde deel van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie wordt geschat van 2,5 tot 7,5 µg m<sup>-3</sup>. Eerder gaven Folkert et al. (2005) voor het niet gemodelleerde deel bij



PM<sub>2,5</sub> een hogere schatting 7,5 µg m<sup>-3</sup> met een band van 5 tot 10 µg m<sup>-3</sup>. De nieuwe schatting van 2,5 tot 7,5 µg m<sup>-3</sup> is 2,5 µg m<sup>-3</sup> lager door:

- gewijzigde inzichten rond de gemeten waarden van PM<sub>10</sub> (MNP, 2006). De eerder, hogere, schatting is namelijk afgeleid van het verschil tussen PM<sub>10</sub>-metingen en berekeningen op regionale achtergrondlocaties en de verhouding tussen PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>. De metingen van PM<sub>10</sub> zijn in 2006 en 2007 naar beneden bij gesteld (Beijk et al., 2007).
- huidige kalibratie is uitgevoerd op basis van metingen van PM<sub>2,5</sub> in plaats van PM<sub>10</sub>.

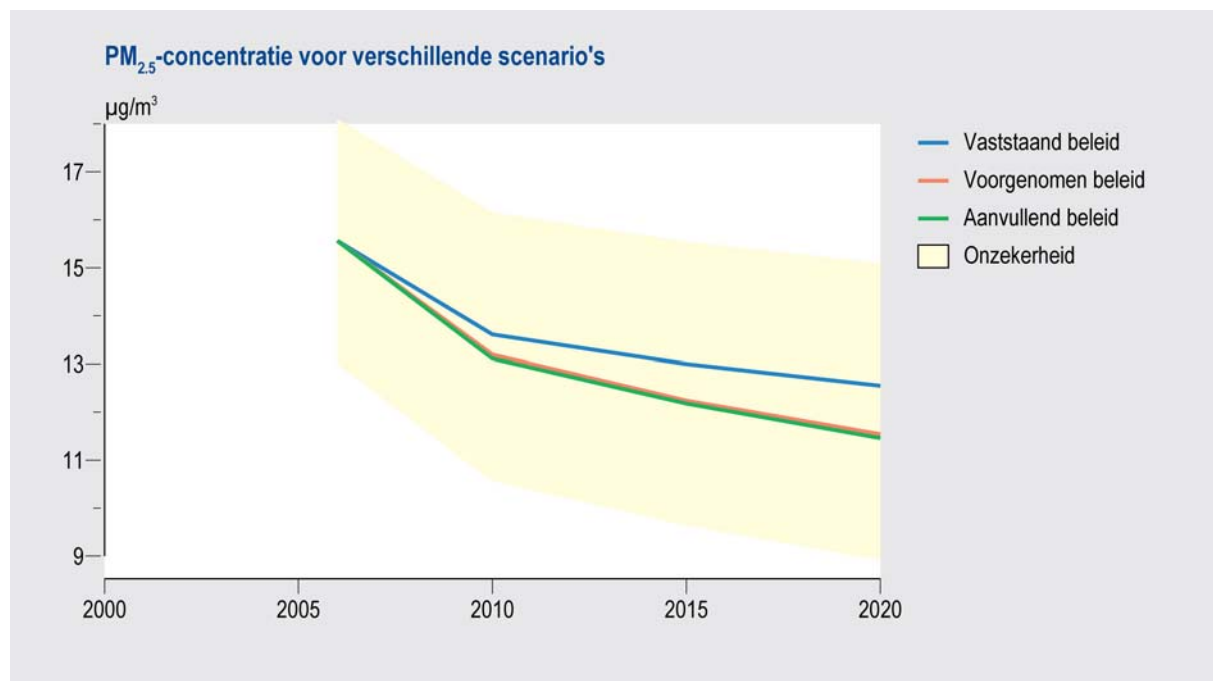


## 5. Concentraties PM<sub>2,5</sub>

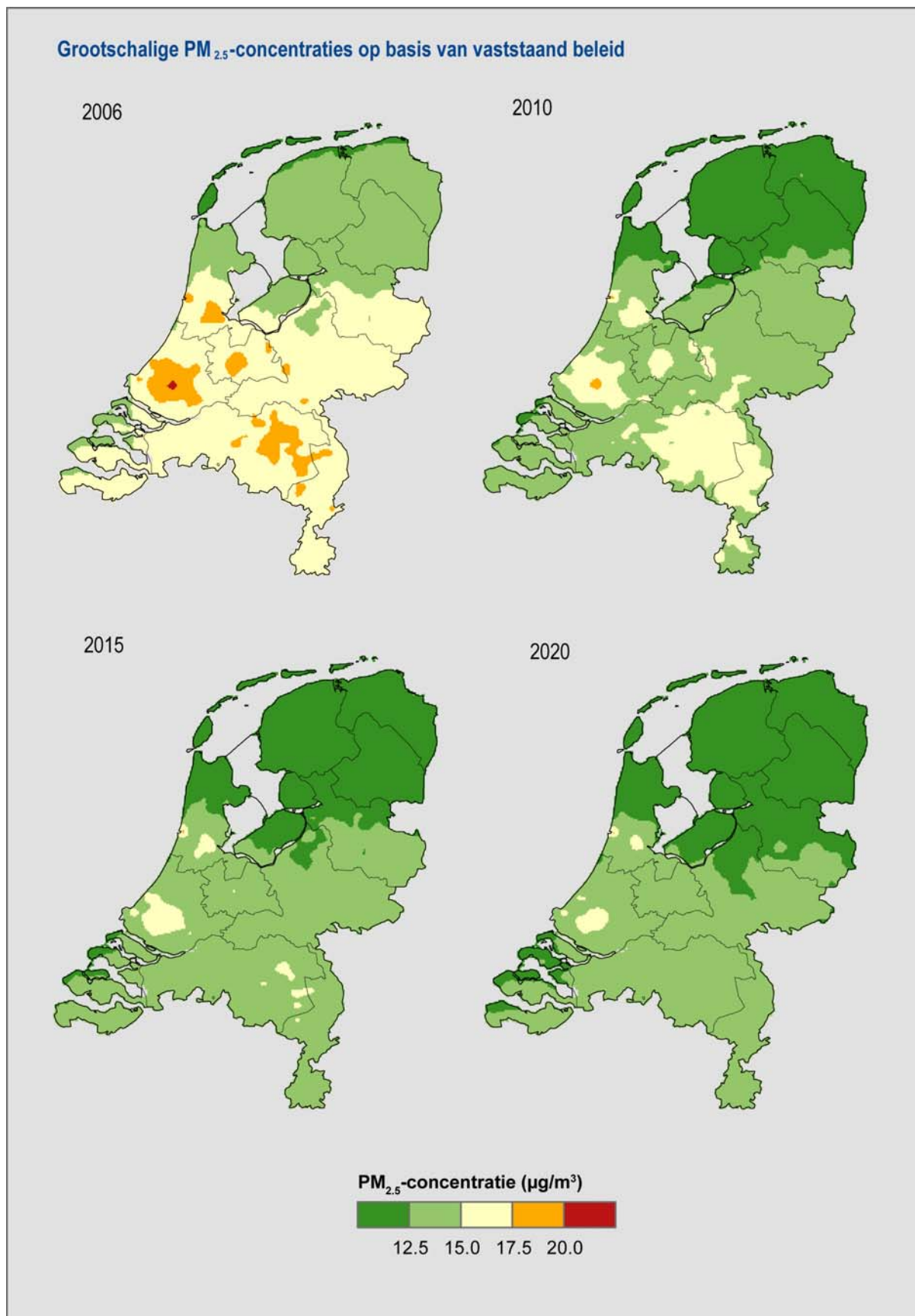
### 5.1 Grootschalige concentratie

In Figuur 6 staat de grootschalige PM<sub>2,5</sub>-concentratie gemiddeld over Nederland volgens het vaststaand beleid, op basis van vaststaand en voorgenomen beleid, en op basis van aanvullend beleid. Zie Velders et al. (2007) voor een beschrijving van de scenario's. In Figuur 7 staan de concentratiekaarten van PM<sub>2,5</sub> voor het jaar 2006 en op basis van het scenario met vaststaand beleid voor de jaren 2010, 2015 en 2020. Voor een beeld van de totale PM<sub>2,5</sub>-concentratie langs drukke verkeerswegen moet de grootschalige bijdrage aan de concentratie worden verhoogd met de bijdrage van lokale bronnen (zie paragraaf 5.3). De totale concentratie kan dan worden vergeleken met de voorgestelde PM<sub>2,5</sub>-streefwaarde voor de jaargemiddelde concentratie voor 2010 en grenswaarde voor 2015 van 25  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Het niet-gemodelleerde deel van PM<sub>2,5</sub> is in de hier gerapporteerde berekeningen geschat op  $5 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$ . De hoogste PM<sub>2,5</sub>-concentraties worden berekend voor het westen en zuiden van Nederland. De berekende grootschalige PM<sub>2,5</sub>-concentratie is daar maximaal  $20,6 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2006. Op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid neemt de grootschalige concentratie daar af tot  $18,4 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2010,  $17,8 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2015 en  $17,7 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2020. Van jaar tot jaar voorkomende variaties in meteorologische omstandigheden kunnen leiden tot fluctuaties in concentraties van naar verwachting ongeveer 10%.



Figuur 6 Grootschalige PM<sub>2,5</sub>-concentratie gemiddeld voor Nederland op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid, op basis van aanvullend beleid en op basis van additioneel beleid. De gele band geeft de onzekerheid aan in de concentraties ten gevolge van de kalibratie aan de hand van PM<sub>2,5</sub>-metingen.



Figuur 7 Grootschalige PM<sub>2,5</sub>-concentraties voor 2006, 2010, 2015 en 2020 op basis van vaststaand nationaal en Europees beleid. De onzekerheid in de concentratie is hier geschat op  $\pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  ten gevolge van de onzekerheid in de kalibratie van de PM<sub>2,5</sub>-metingen.

Op basis van de inschatting van het niet-gemodelleerde deel van  $PM_{2,5}$  van  $5 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  en uitgaande van het vaststaand nationaal en Europees beleid is de *grootschalige*  $PM_{2,5}$ -concentratie in 2006 en in de periode 2010-2020 nergens in Nederland hoger dan de voorgestelde grenswaarde van  $25 \mu\text{g m}^{-3}$ . Als in Europa wordt besloten om de streefwaarde en de grenswaarde vast te stellen op  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  in plaats van  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  dan kan de grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentratie op enkele plekken in het westen en zuiden van Nederland in 2010-2020 hoger zijn dan deze waarde, uitgaande van de bovengrens van de schatting van het niet-gemodelleerde deel van  $PM_{2,5}$ . Op basis van het scenario met voorgenomen beleid is de grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentratie overal in Nederland lager dan de mogelijke grenswaarde van  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2015.

De grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentratie gemiddeld over Nederland daalt op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid met ongeveer  $2,0 \mu\text{g m}^{-3}$  van 2006 tot 2010 en met nogmaals ongeveer  $1,0 \mu\text{g m}^{-3}$  van 2010 tot 2020. Deze afnamen kunnen worden beïnvloed door van jaar tot jaar variërende meteorologische omstandigheden. De effecten van een scenario met voorgenomen nationaal en Europees beleid, boven op het vaststaande beleid zijn ook bepaald. Dit voorgenomen beleidsscenario houdt in dat Nederland en de andere landen in Europa voldoen aan de NEC-doelen voor 2010 en the emissiedoelen behorende bij de ambitie van de thematische strategie van de Europese Commissie voor 2020. Op basis van dit scenario daalt de gemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentratie met ongeveer  $0,4$ ;  $0,75$  en  $1,0 \mu\text{g m}^{-3}$  in respectievelijk 2010, 2015 en 2020 ten opzichte van het scenario op basis van alleen vaststaand beleid.

Uitgaande van een lokale verhoging van de grootschalige concentratie ten gevolge van lokale bronnen (zie paragraaf 5.3) en rekening houdend met een onzekerheid in het niet-gemodelleerde deel van  $PM_{2,5}$  van  $\pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  ligt het maximum van de totale  $PM_{2,5}$ -concentratie in drukke straten in het westen en zuiden van Nederland, op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid, tussen  $15$  en  $25,5 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2015. Het voorgenomen nationaal en Europees beleid boven op het vaststaand beleid leidt tot een daling in concentratie in de agglomeraties van gemiddeld ongeveer  $0,9 \mu\text{g m}^{-3}$ . De totale  $PM_{2,5}$ -concentratie is in 2015 waarschijnlijk over al Nederland lager dan de voorgestelde grenswaarde van  $25 \mu\text{g m}^{-3}$ , uitgezonderd op mogelijke enkele erg drukke straten. Op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid zal de  $PM_{2,5}$ -concentratie in 2015 waarschijnlijk hoger zijn dan  $20 \mu\text{g m}^{-3}$  in drukke straten in stedelijke agglomeraties en mogelijk op enkele locaties in de buurt van landbouwgebieden (zie ook Matthijsen en ten Brink, 2007).

Naast een streefwaarde en grenswaarde voor de jaargemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentratie heeft de Raad van de Europese Unie ook een streefwaarde voorgesteld voor een reductie in de gemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentratie in stedelijke agglomeraties op basis van metingen (gemiddelde-blootstellingsindex; EU, 2007). In Tabel 2 is de reductie weergegeven in berekende grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentratie in 2020 ten opzichte van 2010 voor de zes agglomeraties in Nederland. De reductie in de grootschalige  $PM_{2,5}$ -concentratie in 2020 ten opzichte van 2010 in de agglomeraties bedraagt 6-10% op basis van alleen vaststaand nationaal en Europees beleid. Op basis van ook het voorgenomen nationaal en Europees beleid bedraagt de reductie 11-16%. Een maximale reductie van 14-19% wordt berekend als de  $PM_{2,5}$ -concentratie in 2020 op basis van het vaststaand, voorgenomen en aanvullend beleid wordt vergeleken met de concentratie in 2010 op basis van alleen het vaststaand beleid. Deze maximale reductie kan worden bereikt als enkele maatregelen in het voorgenomen beleidsscenario niet vóór maar na 2010 zouden worden ingezet. De voorgestelde streefwaarde voor deze reductie van 20% wordt op basis van deze scenario's met alleen technische maatregelen waarschijnlijk niet gehaald. Ook als een aftrek van de bijdrage van zeezout aan de  $PM_{2,5}$ -concentratie wordt toegestaan in de nieuwe Europese luchtkwaliteitsrichtlijnen

worden de berekende reducties procentueel iets groter, maar wordt de streefwaarde in 2020 naar verwachting niet gehaald op basis van deze scenario's.

De beoogde reductie in de gemiddelde-blootstellingsindex in stedelijke agglomeraties kan mogelijk wel worden bereikt door de inzet van verdergaande maatregelen dan toegepast in de hier besproken scenario's. Er is namelijk een technisch potentieel van maatregelen dat grotere emissiereducties kan opleveren dan de maatregelen in deze scenario's. Ook kunnen additionele agglomeratiebreed doorwerkende lokale maatregelen die bijvoorbeeld de verkeersvolumes in agglomeraties beïnvloeden bijdragen aan het halen van de voorgestelde streefwaarde. Hier staat tegenover dat bronnen in het buitenland ongeveer 50% bijdragen aan de PM<sub>2,5</sub>-concentratie in Nederland (paragraaf 5.2) en nationaal beleid dus maar een beperkte invloed heeft op het bereiken van de streefwaarde.

Bij deze berekende reducties is uitgegaan van het antropogeen en natuurlijk deel van de grootschalige PM<sub>2,5</sub>-concentratie. Uitgaande van alleen het antropogene deel van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie worden reducties berekend in 2020 ten opzichte van 2010 van 10-16% op basis van het vaststaand beleid en 17-24% op basis het voorgenomen beleid. Als het niet-gemodelleerde deel van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie op 2,5 µg m<sup>-3</sup> wordt gesteld, de ondergrens van de range, dan wordt een reductie berekend van 8-13% op basis van vaststaand beleid en van 13-19% op basis van voorgenomen beleid.

Aangezien voor de gemiddelde-blootstellingsindex een reductiedoelstelling is voorgesteld ten opzichte van 2010 is deze minder gevoelig voor de absolute kalibratie aan de hand van gemeten concentraties dan de voorgestelde grenswaarde voor de jaargemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie. De onzekerheid in de PM<sub>2,5</sub>-emissies en het effect van maatregelen op deze emissies vormt wel een onzekerheid met betrekking tot het al dan niet halen van de reductiedoelstelling.

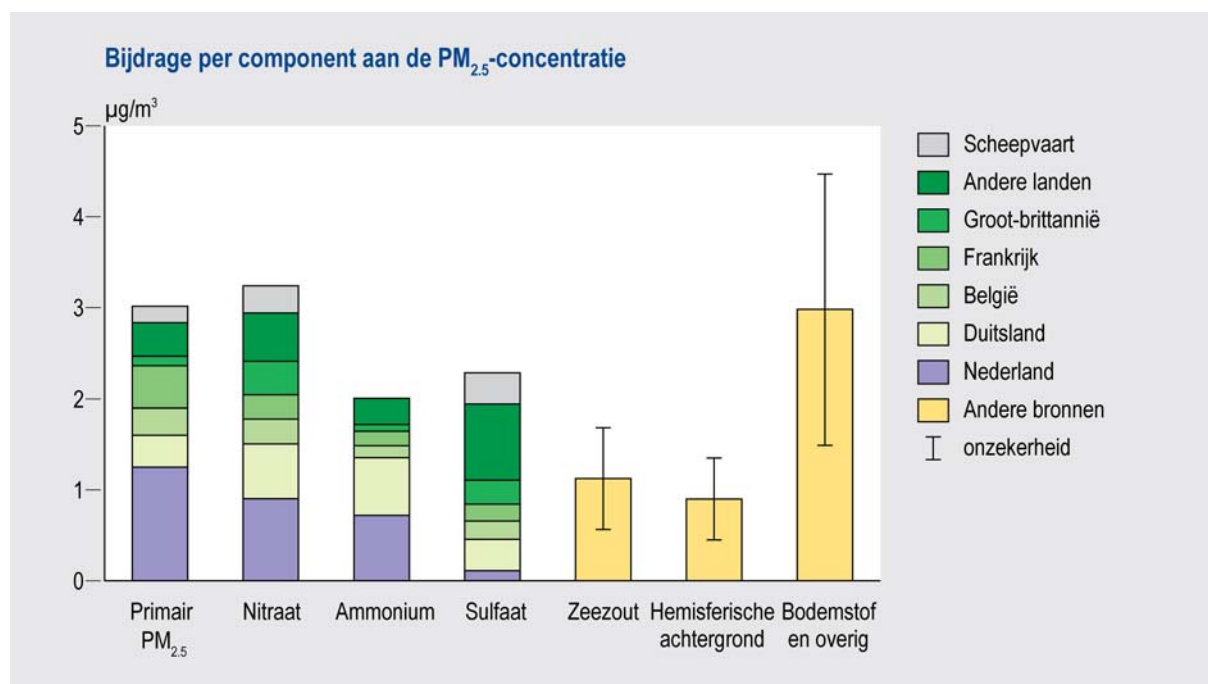
Tabel 2 Reductie in de grootschalige PM<sub>2,5</sub>-concentratie in de zes agglomeraties in Nederland in 2020 ten opzichte van 2010. De reducties zijn gegeven voor het scenario op basis van alleen het vaststaand nationaal en Europees beleid, op basis van voorgenomen beleid en op basis van aanvullend beleid. Tevens is de reductie gegeven in 2020 op basis van aanvullend beleid ten opzichte van alleen het vaststaand beleid in 2010.

	Vaststaand beleid	Voorgenomen beleid	Aanvullend beleid	Aanvullend beleid 2020 ten opzichte van Vaststaand beleid 2010
Amsterdam/Haarlem	6%	11%	11%	14%
Utrecht	9%	15%	14%	18%
Den-Haag/Leiden	7%	12%	12%	14%
Rotterdam/Dordrecht	7%	12%	12%	15%
Eindhoven	9%	14%	14%	18%
Heerlen/Kerkrade	10%	16%	15%	19%

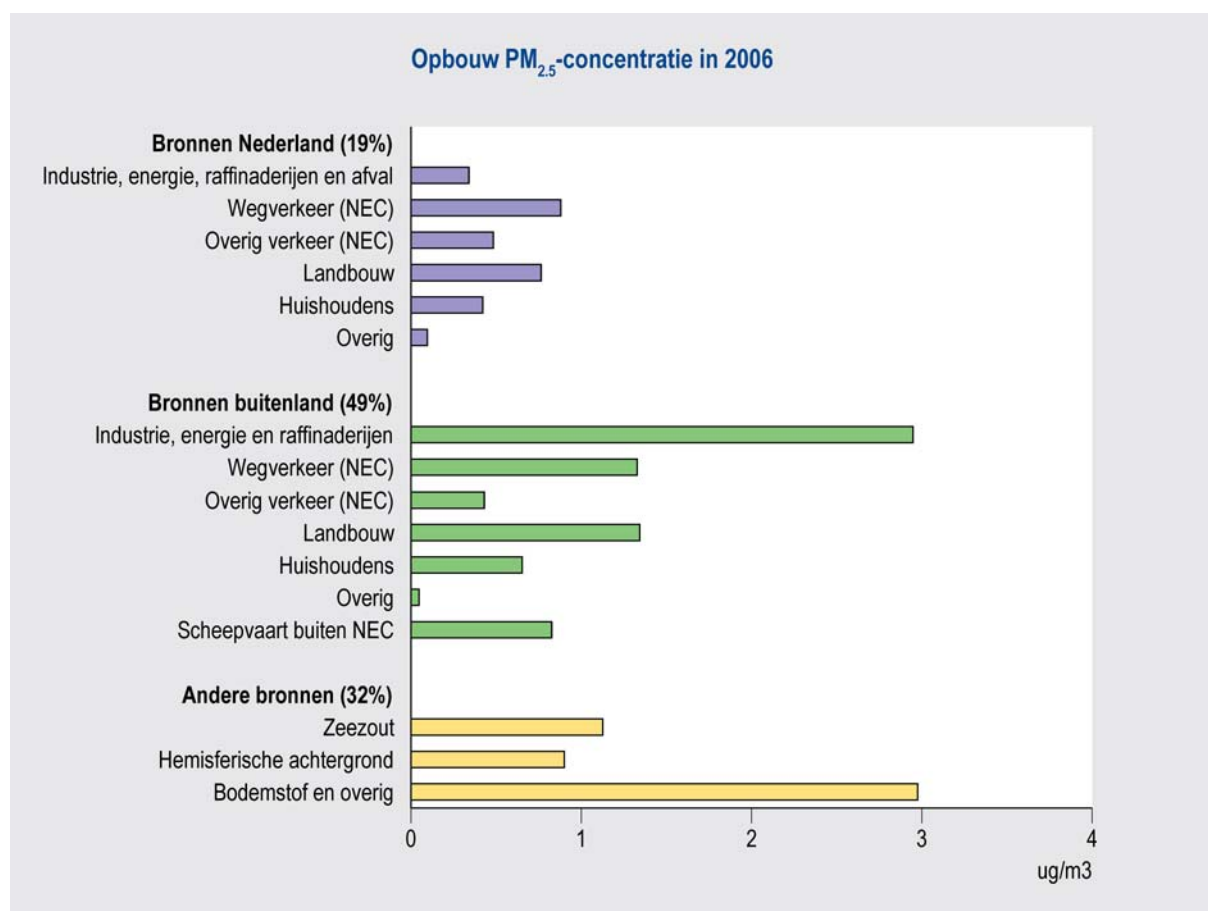
1) Agglomeraties zoals genoemd in het Besluit Luchtkwaliteit

## 5.2 Bronbijdragen

De bijdragen van emissies uit verschillende landen en van verschillende stoffen aan de PM<sub>2,5</sub>-concentratie in Nederland is weergegeven in Figuur 8 en van verschillende doelgroepen in Figuur 9. De Nederlandse emissies van antropogene bronnen dragen ongeveer 3 µg m<sup>-3</sup> (20%) bij aan de totale PM<sub>2,5</sub>-concentratie in Nederland in 2006, terwijl de antropogene bronnen in het buitenland ongeveer 6-7 µg m<sup>-3</sup> (45%) bijdragen.



Figuur 8 Bijdragen aan de PM<sub>2.5</sub>-concentratie in Nederland in 2006 van verschillende Europese landen en van de zeescheepvaart. De bijdrage van zeezout, hemisferische achtergrond en bodemstof en overige bronnen zijn bepaald op basis van een totaal niet-gemodelleerd deel van PM<sub>2.5</sub> dat geschat is op 5 µg m<sup>-3</sup>.



Figuur 9 Bijdragen aan de gemiddelde PM<sub>2.5</sub>-concentratie in Nederland in 2006 van verschillende doelgroepen in binnen- en buitenland en bijdragen van zeezout, de hemisferische achtergrond en bodemstof en overige bronnen.

Tabel 3 Opbouw van de grootschalige PM<sub>2,5</sub>-concentratie ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) in Nederland gemiddeld en in zes agglomeraties<sup>1</sup> in 2006 onderverdeeld naar Nederlandse bronbijdragen, internationale scheepvaart, bronnen in het buitenland, zeezout en bodemstof en overig. Let op: de onzekerheid in de concentraties is groter dan het aantal decimalen aangeeft.

	Nederland	Amsterdam Haarlem	Den Haag Leiden	Utrecht	Rotterdam Dordrecht	Eindhoven	Heerlen Kerkrade
Industrie	0.20	0.63	0.33	0.22	0.42	0.18	0.14
Raffinaderijen	0.07	0.08	0.11	0.09	0.17	0.07	0.05
Energiesector	0.06	0.11	0.05	0.06	0.05	0.06	0.04
Afvalverwerking	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Wegverkeer	0.88	1.45	1.41	1.97	1.52	1.25	0.75
Overig verkeer	0.48	0.71	0.63	0.79	0.72	0.55	0.37
Landbouw	0.76	0.84	0.98	0.99	1.07	1.05	0.31
Huishoudens	0.42	1.05	1.27	0.94	1.22	0.65	0.55
HDO <sup>2</sup> /Bouw	0.10	0.23	0.23	0.18	0.30	0.12	0.08
Internationaal scheepvaart	0.83	1.28	1.40	1.20	1.39	0.93	0.68
Buitenland	6.75	6.10	6.41	6.60	6.80	7.93	9.17
Zeezout	1.25	1.53	1.60	1.11	1.36	0.77	0.73
Bodemstof en overig	3.75	3.47	3.40	3.89	3.64	4.23	4.27
<b>Totaal</b>	<b>15.6</b>	<b>17.5</b>	<b>17.8</b>	<b>18.1</b>	<b>18.7</b>	<b>17.8</b>	<b>17.1</b>

1) Agglomeraties zoals genoemd in het Besluit Luchtkwaliteit

2) HDO = Handel, Diensten en Overheid

De bijdrage van de internationale scheepvaart bedraagt ongeveer  $0,8 \mu\text{g m}^{-3}$  (5%). Het niet-gemodelleerde deel is verantwoordelijk voor ongeveer  $5 \pm 2,5 \mu\text{g m}^{-3}$  (30%) van de totale PM<sub>2,5</sub>-concentratie (zie paragraaf 4.2). Er is in deze analyses gegaan dat het niet-gemodelleerde deel hetzelfde is in 2010-2020 dan in 2006. De emissiereducties in Nederland en het buitenland zijn dan verantwoordelijk voor een daling in de PM<sub>2,5</sub>-concentratie.

De antropogene bronnen in Nederland zijn verantwoordelijk voor een daling van ongeveer  $1 \mu\text{g m}^{-3}$  in 2020 ten opzicht van 2006 en de antropogene bronnen in het buitenland voor een daling van ongeveer  $2,5-3,2 \mu\text{g m}^{-3}$ .

De grootste bijdrage aan de PM<sub>2,5</sub>-concentratie komt door het secundaire fijn stof (Figuur 8). Primair PM<sub>2,5</sub> draagt ongeveer  $3 \mu\text{g m}^{-3}$  (20%) bij, terwijl de secundaire fracties van nitraat-, ammonium- en sulfaataerosol  $3,2$ ;  $2,0$  en  $2,3 \mu\text{g m}^{-3}$  bijdragen (totaal ongeveer 50%). Onderverdeeld naar de verschillende bronbijdragen komt de grootste bijdrage aan de PM<sub>2,5</sub>-concentratie van de antropogene bronnen in het buitenland van de industrie-, energie- en raffinaderijsector. Verder zijn er significante bijdragen van het verkeer en de landbouw.

In Tabel 3 staan de bronbijdragen aan de PM<sub>2,5</sub>-concentratie voor verschillende agglomeraties in Nederland. De hoeveelheid zeezout in PM<sub>2,5</sub> is per agglomeratie gelijk gesteld aan 25% van de hoeveelheid zeezout in PM<sub>10</sub>. De som van de concentraties van zeezout en van bodemstof en overig is constant gehouden en gesteld op  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  (paragraaf 4.2).

### 5.3 Lokale bijdrage aan de concentratie

De concentratiekaarten geven de grootschalige bijdrage aan de concentratie weer. Een additionele lokale bijdrage in de buurt van bijvoorbeeld drukke wegen moet hierbij op



worden geteld om de totale PM<sub>2,5</sub>-concentratie op een dergelijke locatie te krijgen. Over de lokale bijdrage aan de PM<sub>2,5</sub>-concentratie in straten is nog weinig bekend.

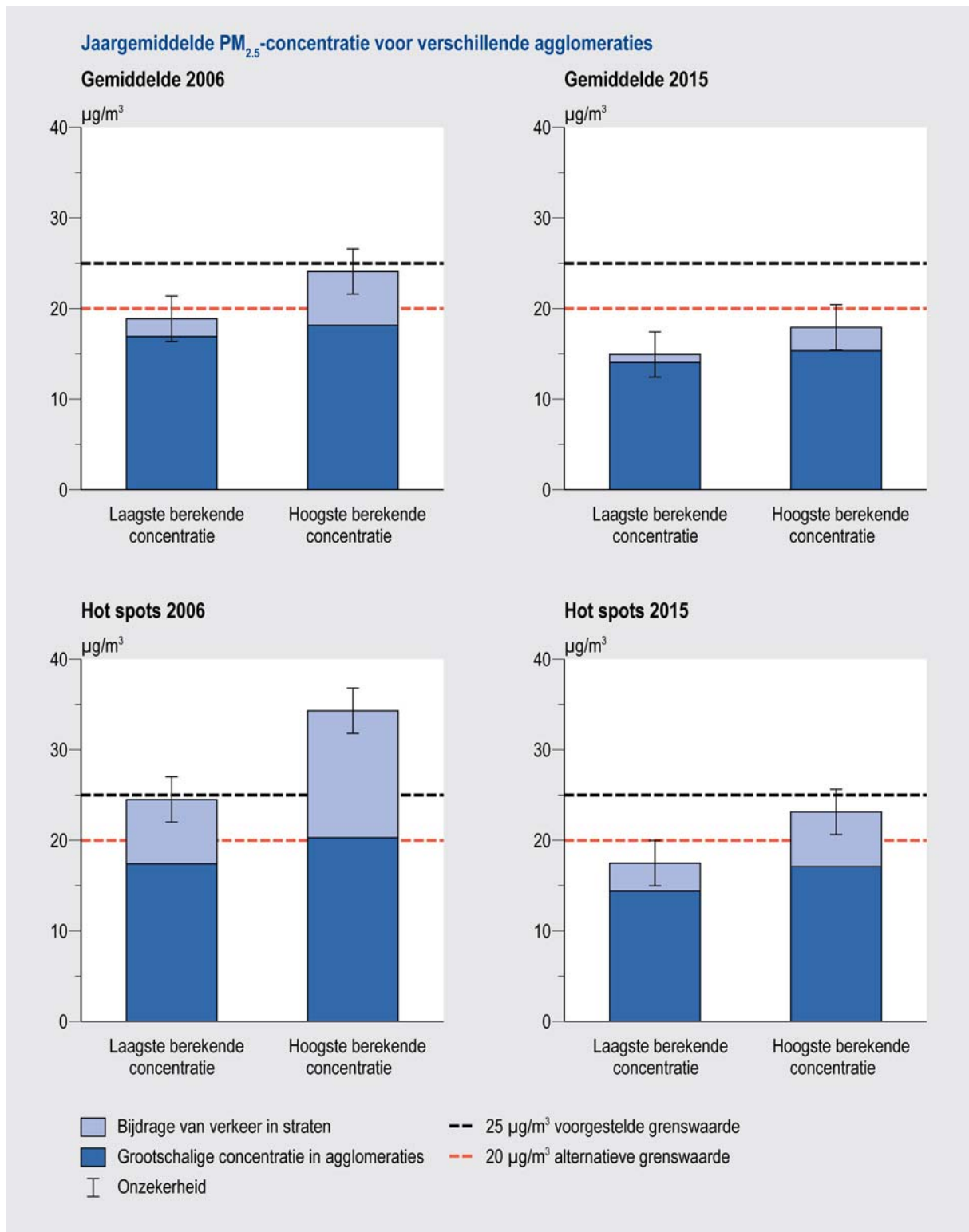
Een modelstudie van het Europese milieu agentschap (EEA, 2006) komt voor het jaar 2000 voor typische nauwe straten tot een lokale verhoging ten opzichte van de stadsachtergrond van 4 tot 10 µg m<sup>-3</sup>. Op basis van PM<sub>2,5</sub>-metingen in Nederland, België en Duitsland blijkt, gemiddeld over een periode van drie jaar of meer, een lokale verhoging in stadsstraten ten opzichte van de stadsachtergrond van 2 tot 7 µg m<sup>-3</sup>. In een specifiek jaar zijn hogere lokale bijdragen mogelijk door ongunstige meteorologische omstandigheden.

De met OPS berekende verhoging van de stadsachtergrond ten opzichte van de regionale achtergrond is ongeveer 1-3 µg m<sup>-3</sup> voor de zes agglomeraties. Hoewel dit bereik overeenkomt met andere modelschattingen voor de stadsachtergrondbijdrage (Amann et al., 2007) zijn de OPS-resultaten voor de stadsachtergrond onzeker. Metingen geven een typische grootte van 4-5 µg m<sup>-3</sup> voor het stadsachtergrondbijdrage.

Op basis van een eerste inschatting van de emissiefactoren voor verkeer van PM<sub>2,5</sub> door TNO is met behulp van het CAR-model de verkeersbijdrage van straten in Amsterdam, Utrecht en Rotterdam bepaald. In Figuur 10 staat de jaargemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentratie in agglomeraties in Nederland inclusief een eerste analyse van de verkeersbijdragen in 2006 en 2015 op basis van vaststaand nationaal en Europees beleid (zie ook Matthijsen en ten Brink, 2007). De figuur toont de PM<sub>2,5</sub>-concentratie in een 'gemiddelde staat' in een agglomeraties in Nederland en de concentratie op de 'hotspots' in Nederland. De lokale verhoging van de grootschalige concentratie door verkeer bedraagt in zwaarbelaste stedelijke omgevingen ongeveer 7-15 µg m<sup>-3</sup> in 2006 en 3-6 µg m<sup>-3</sup> in 2015. De verkeersbijdragen zijn afhankelijk van de intensiteit en samenstelling van het verkeer en de lokale configuratie van de weg ter plaatse. Op minder druk belaste straten in agglomeraties is de verkeersbijdrage dan ook kleiner en wordt geschat op 2-6 µg m<sup>-3</sup> in 2006 en 1-3 µg m<sup>-3</sup> in 2015.

Voor 'gemiddelde straten' in agglomeraties wordt de totale PM<sub>2,5</sub>-concentratie (inclusief lokale verkeersbijdragen) geschat op 17,5-26,5 µg m<sup>-3</sup> in 2006 en 12,5-21 µg m<sup>-3</sup> in 2015. De hoogste PM<sub>2,5</sub>-concentraties in de buurt van drukke wegen wordt geschat op 22-38 µg m<sup>-3</sup> in 2006 en 15-25,5 µg m<sup>-3</sup> in 2015. Hierbij is rekening gehouden met een onzekerheid in het niet-gemodelleerde deel van PM<sub>2,5</sub> van ± 2,5 µg m<sup>-3</sup> en het vaststaand nationaal en Europees beleid. Er is geen rekening gehouden met onzekerheden in de lokale verkeersbijdragen aan de PM<sub>2,5</sub>-concentratie. Het voorgenomen nationaal en Europees beleid boven op het vaststaand beleid leidt tot een daling in concentratie in de agglomeraties van gemiddeld ongeveer 0,9 µg m<sup>-3</sup>.

De totale PM<sub>2,5</sub>-concentraties liggen daarmee in 2006 in drukke straten in stedelijke agglomeraties regelmatig boven de voorgestelde grenswaarde van 25 µg m<sup>-3</sup>. In 2015 is de concentratie waarschijnlijk over al Nederland lager dan de voorgestelde grenswaarde van 25 µg m<sup>-3</sup>, uitgezonderd op mogelijke enkele erg drukke straten. Op basis van het vaststaand nationaal en Europees beleid zal de PM<sub>2,5</sub>-concentratie in 2015 waarschijnlijk hoger zijn dan 20 µg m<sup>-3</sup> in drukke straten in stedelijke agglomeraties en mogelijk op enkele locaties in de buurt van landbouwgebieden (Matthijsen en ten Brink, 2007).



Figuur 10 Indicatie van de jaargemiddelde PM<sub>2.5</sub>-concentratie in straten in de agglomeraties in Nederland in 2006 en 2015. De figuur toont de hoogst en laagst berekende gemiddelde concentraties in de agglomeraties en straatbijdragen (boven) en de hoogst en laagst berekende concentratie (98-percentiel) bij hotspots voor agglomeraties en straatbijdragen. De concentraties zijn een combinatie van de grootschalige concentratie berekend op basis van vaststaand nationaal en Europees beleid en voorlopige schattingen van de verkeersbijdragen. De aangegeven onzekerheidsmarges van  $\pm 2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  geeft de onzekerheid aan in de kalibratie van de PM<sub>2.5</sub>-metingen. Onzekerheden in de berekening van de verkeersbijdragen en ten gevolge van meteorologische fluctuaties zijn hierin niet meegenomen.

## **Dankwoord**

Wij bedanken Sef van den Elshout (DCMR), Dave de Jonge (GGD, Amsterdam), Hans Berkhout (RIVM), Frans Fierens (Intergewestelijke cel voor het leefmilieu, België, <http://www.irceline.be>) voor meetdata van PM<sub>2,5</sub>.



## Literatuur

- Amann, M., J. Cofala, A. Gzella, C. Heyes, Z. Klimont, W. Schöpp, Estimating concentrations of fine particulate matter in urban background air of European cities, IIASA interim Report Nr. IR/07/001. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria, 2007.
- Beijk, R., R. Hoogerbrugge, T.L. Hafkenscheid, F. Th. van Arkel, G.C. Stefess, A. van der Meulen, J.P. Wesseling, F.J. Sauter, R.A.W. Albers, PM<sub>10</sub>: Validatie en equivalentie 2006, RIVM rapport 680708001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, 2007.
- Bloemen, H, D. Mooibroek, F.R Cassee, Composition and sources of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in the Netherlands, Atmos. Environm., (submitted).
- Brink, H.M. ten, Artefacts in measuring (the composition of) Particulate Matter, in Europe: introducing INTERCOMP2000, Atmospheric Environment 38, 6457, 2004.
- EEA, Air quality and ancillary benefits of climate change policies, European Environment Agency, Technical report 4/2006, 2006, <http://reports.eea.europa.eu>.
- EMEP, Transboundary air pollution by main pollutants (S, N, O<sub>3</sub>) and PM, The Netherlands, EMEP/MS-C-W, Data Note 1/2006, ISSN 1890-0003, 2006.
- EU, Richtlijn 96/62/GC van de raad van 27 september 1996 inzake de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit. (Kaderrichtlijn lucht.) Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 296/55, 1996.
- EU, Beschikking van de Raad van 27 januari 1997 tot invoering van een regeling voor de onderlinge uitwisseling van informatie over en gegevens van meetnetten en meetstations voor luchtverontreiniging in de lidstaten (97/101/EG), 1997.
- EU, Richtlijn 1999/30/EG betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofdioxide, zwevende deeltjes en lood in de lucht, 22 april 1999, (Eerste dochterrichtlijn), 1999, [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/nl/oj/dat/1999/l\\_163/l\\_16319990629nl00410060.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/nl/oj/dat/1999/l_163/l_16319990629nl00410060.pdf).
- EU, Richtlijn 2000/69/EG van het Europees parlement en de raad van 16 november 2000 betreffende grenswaarden benzeen en koolmonoxide in lucht. (Tweede dochterrichtlijn.) Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 313/12, 2000.
- EU, Richtlijn 2002/3/EG van de raad van 12 februari 2002 betreffende ozon in lucht. (Derde dochterrichtlijn.) Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen No L 67/14, 2002.
- EU, Directive 2001/81/EC of the European Parliament and the council of 23 October 2001 on the national emission ceilings for certain atmospheric pollutants, 2001, [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2001/l\\_309/l\\_30920011127en00220030.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2001/l_309/l_30920011127en00220030.pdf).
- EU, Mededeling van de commissie aan de raad en het Europees parlement, Thematische strategie inzake luchtverontreiniging, COM(2005) 446 definitief, Europese Commissie, Brussels, 2005, [http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/nl/com/2005/com2005\\_0446nl01.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/nl/com/2005/com2005_0446nl01.pdf).
- ETC/ACC, Airbase, Air quality information system, European Environment Agency, European Topic Centre on Air and Climate Change, Bilthoven, 2007, <http://air-climate.eionet.eu.int/databases/airbase/airview/index.html>
- EU, Richtlijn van het Europees parlement en de raad betreffende de luchtkwaliteit en schonere lucht voor Europa, Interinstitutioneel dossier 2005/0183 (COD), Brussel, 30 maart 2007.

Folkert, R.J.M., E. Buringh, P. Hammingh, J. Aben, J. Beck, W. Blom, L. van Bree, R. van den Brink, E. Buijsman, M. van Esbroek, J.P. Hettelingh, H. Van Jaarsveld, B. Jimmink, J. Matthijsen, A. van Hinsberg, R. Koelemeijer, J. Peters, J. de Ruiter, W. Smeets, S. van Tol, R. Thomas, G. Velders, K. van Velze, W. de Vries, K. Wieringa en H. van Zeijts, 2005. Consequences for the Netherlands of the EU thematic strategy on air pollution, MNP report 500034002, Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven.

(<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500034002.pdf>)

Hoen, A., R.M.M. van den Brink, J.A. Annema, Verkeer en vervoer in welvaart en leefomgeving, Achtergronddocument emissieprognoses verkeer en vervoer, MNP rapport 500076002, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2006.

IIASA, Emission control scenarios that meet the environmental objectives of the Thematic Strategy on Air Pollution, part 2, scenario analysis, NEC scenario analysis report no. 2, International Institute for Applied Systems Analysis, Wenen, 2006.

Jaarsveld, J.A. van, The Operational Priority Substances model, Rapport 500045001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, 2004, <http://www.mnp.nl/ops>.

LML, Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit, National Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, 2007, <http://www.lml.rivm.nl>.

Matthijsen, J. en H. Visser, PM<sub>10</sub> in Nederland. Rekenmethodiek, concentraties en onzekerheden, MNP rapport 500093005, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2006.

Matthijsen, J. en H.M. ten Brink, The road map to PM<sub>2,5</sub>, Consequences of new European air quality standards for the Netherlands, MNP rapport 500099001, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2007.

MNP, Fijn stof nader bekeken, De stand van zaken in het fijn stof dossier, MNP rapport 500037008/2005, ISBN 90-6960-124-9, Milieu- en Natuurplanbureau, 2005, <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500037008.pdf>.

MNP, Nieuwe inzichten in de omvang van de fijnstofproblematiek rapport 500093003/2006, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2006. <http://www.mnp.nl/bibliotheek/rapporten/500093003.pdf>.

MNP, Beleidsgeoriënteerd onderzoeksprogramma PM, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2007. [http://www.mnp.nl/bibliotheek/digitaaldepot/fijnstofonderzoek\\_groot.pdf](http://www.mnp.nl/bibliotheek/digitaaldepot/fijnstofonderzoek_groot.pdf)

Müller, K., G. Spindler, W. Maenhaut, R. Hitzinger, W. Wiedemann, U. Baltensperger, H.M. ten Brink, INTERCOMP2000, a campaign to assess the comparability of methods in use in Europe for measuring aerosol composition, Atmospheric Environment, 38, 6459-6466, 2004.

NEN-EN 14907, Algemene Gravimetrische referentiemethode voor de bepaling van de PM<sub>2,5</sub> massa fractie van zwevende stof in de buitenlucht, 2005.

NRW, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Einzelwerte Diskontinuierlicher Messungen, 2002-2006, Nordrhein-Westfalen, 2007. <http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/aktluftqual/einzel.htm>

TNO, Harmelen A.K. van, H.A.C. Denier van der Gon, H.J.G., Kok, W.J. Appelman, A.J.H. Visschedijk, J.H. Hulskote, Particulate matter in the Dutch pollutant emission register: State of affairs, TNO rapport R2004/428, TNO, Apeldoorn, 2004a.

TNO, persoonlijke communicatie, 2004b. Zie ook: Omrekenfactoren van PM<sub>10</sub> naar PM<sub>2,5</sub> voor diverse sectoren, TNO, Apeldoorn, 2007 (in prep).

Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, J.P. Beck, W.F. Blom, A. Hoen, B.A. Jimmink, J. Matthijsen, J.F. de Ruiter, W.L.M. Smeets, K. van Velze, H. Visser, W.J. de Vries, K. Wieringa, Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland. Rapportage 2006, MNP rapport 500093002, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2006.

Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, J.P. Beck, W.F. Blom, J.D. van Dam, H.E. Elzenga, G.P. Geilenkirchen, A. Hoen, B.A. Jimmink, J. Matthijsen, C.J. Peek, K. van Velze, H. Visser, W.J. de Vries, Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland. Rapportage 2007, MNP rapport 500088001, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, 2007.

Visser, H., E. Buringh, P.B. van Breugel, Composition and origin of airborne particulate matter in the Netherlands, RIVM rapport 650010029, RIVM, Bilthoven, 2001.

WHO, Fact sheet EURO/04/05, 2005, <http://www.euro.who.int/documents/mediacentre/fs0405e.pdf>

## Bijlage A. Emissies van PM<sub>2,5</sub>

Tabel A.1 Verhouding PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub>-emissies per doelgroep<sup>1</sup> en de daaruit afgeleide PM<sub>2,5</sub>-emissies in Nederland in 2004 (in 1000 kg/jaar).

Code	Doelgroep	Verhouding PM <sub>2,5</sub> / PM <sub>10</sub>	Emissie 2004 (1000 kg/jaar)
1100	Industrie, Voedings- en genotmiddelen	17%	424
1200	Industrie, Olieraffinaderijen	82%	1635
1300	Industrie, Chemische industrie	55%	598
1400	Industrie, Bouwmaterialen e.d.	36%	452
1500	Industrie, Basismetalaalindustrie	54%	1212
1700	Industrie, Metaalbewerkingindustrie	62%	388
1800	Industrie, Overig	24%	237
2100	Energie, Opwekking	64%	271
2200	Energie, Winning en distributie	10%	0
3110	Wegverkeer, Personenauto's	100%	2407
3120	Wegverkeer, Bestelauto's	100%	2300
3130	Wegverkeer, Vrachtauto's	100%	1439
3140	Wegverkeer, Bussen	100%	200
3150	Wegverkeer, Tweewielers en speciale voertuigen	100%	241
3161	Wegverkeer, Bandenslijtage	0%	0
3162	Wegverkeer, Remslijtage	100%	668
3163	Wegverkeer, Wegdekslijtage	0%	0
3210	Mobiele werktuigen, landbouw	95%	1419
3220	Mobiele werktuigen, bouw	95%	345
3230	Mobiele werktuigen, overig	95%	633
3600	Luchtverkeer (LTO)	100%	182
3700	Railverkeer	100%	64
3850	Visserij	100%	286
3860	Scheepvaart, Binnenwateren	100%	1526
3870	Scheepvaart, Noordzee overig	100%	49144
3871	Scheepvaart, Zeescheepvaart op NCP	100%	8827
3872	Scheepvaart, Zeegaande schepen	100%	1284
3873	Scheepvaart, Stilliggende zeeschepen	100%	315
3880	Scheepvaart, Recreatievaart	100%	51
4110	Landbouw, Stalemissies	20%	1611
4600	Landbouw, Overig	20%	92
5100	Afvalverwerking	100%	55
6100	RWZI	100%	5
6200	Drinkwaterwinning en distributie	0%	0
6300	HDO, Op- en overslag	15%	151
6400	HDO, Overig	15%	18
7100	Bouw	10%	120
8100	Consumenten, Vuurhaarden	70%	1298
8200	Consumenten, Overig	100%	1565
<b>Totaal<sup>2</sup></b>			<b>21981</b>

1) Gebaseerd op een expert judgement van TNO (2004b). De hier gebruikte emissies wijken mogelijk iets van de inschatting in TNO (2007).

2) Totaal exclusief internationale zeescheepvaart.