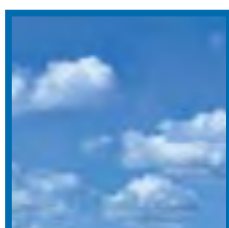




VLAAMSE MILIEUMAATSCHAPPIJ



# Milieurapport Vlaanderen MIRA

## Themabeschrijving Zwevend stof



# Milieurapport Vlaanderen

## MIRA Themabeschrijving Zwevend stof



**Coördinerend auteur**

*Myriam Bossuyt, MIRA, VMM*

Laatst bijgewerkt: *januari 2013*

#### **Woord vooraf**

De doelstellingen van MIRA (Milieurapport Vlaanderen) zijn drieledig: (1) de wetenschappelijke basis verschaffen voor het Vlaamse milieubeleid, (2) het maatschappelijk draagvlak versterken door het verhogen van het milieu-inzicht en (3) de Vlaamse kennisbasis afstemmen op internationale standaarden. Het document Themabeschrijving wil bijdragen aan deze doelstellingen door het ter beschikking stellen van een kernachtige en toegankelijke beschrijving van de milieuthema's die door MIRA behandeld worden. Deze informatie moet de gebruiker de nodige achtergrondinformatie verschaffen bij de raadpleging van de milieu-indicatoren.

De beschrijving is gestructureerd volgens de zogenaamde milieuverstoringsketen of DPSI-R keten die de oorzaak en de gevolgen van de milieuverstoringen in beeld brengt. DPSI-R staat voor Driving Forces (maatschappelijke activiteiten), Pressure (druk), State (toestand), Impact (gevolgen) en Respons (beleidsrespons). Het document bevat zoveel mogelijk de laatste stand van zaken van de wetenschappelijke kennis.

#### **Bronvermelding bij overname informatie**

Overname van informatie uit dit document wordt aangemoedigd mits bronvermelding.

Hoe citeren?

Kort: MIRA Themabeschrijving Verspreiding van zwevend stof ([www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be))

Volledig: MIRA (2013) Milieurapport Vlaanderen, Themabeschrijving Verspreiding van zwevend stof. Bossuyt M., Vlaamse Milieumaatschappij, [www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be)

## **Inhoudsopgave**

<b>Lijst figuren .....</b>	<b>5</b>
<b>Lijst tabellen .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Wat is zwevend stof? .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Bronnen van zwevend stof .....</b>	<b>8</b>
<b>3 Verspreiding fijn stof en het Europese hotspotgebied .....</b>	<b>9</b>
<b>4 Stofconcentraties in stedelijke omgeving .....</b>	<b>10</b>
<b>5 Export en import van zwevend stof .....</b>	<b>13</b>
5.1 Import van zwevend stof .....	15
5.2 Export van zwevend stof .....	18
<b>6 Chemische samenstelling van fijn stof .....</b>	<b>19</b>
<b>7 Gezondheideffecten van zwevend stof .....</b>	<b>20</b>
<b>8 Relatie aerosolen met klimaatverandering .....</b>	<b>23</b>
<b>9 Gebouwenvervuiling .....</b>	<b>25</b>
<b>Referenties .....</b>	<b>26</b>
<b>Begrippen .....</b>	<b>28</b>
<b>Afkortingen .....</b>	<b>29</b>
<b>Eenheden .....</b>	<b>30</b>

## Lijst figuren

Figuur 1: Grootteverdeling, vormingswijze en soorten deeltjes .....	8
Figuur 2: Midden-West-Europese hotspotregio.....	10
Figuur 3: Schematische voorstelling van de opbouw van concentraties luchtvervuiling in een straat.....	11
Figuur 4: Opbouw van de PM <sub>10</sub> -concentraties in het meetstation aan de Plantin en Moretuslei (Antwerpen, 2002).....	12
Figuur 5: zwartekoolstofconcentratie in enkele straten van Antwerpen (2012).....	12
Figuur 6: Zwarte koolstofmetingen op trage wegen en in centrum van Veltem-Beisem (2012) .....	13
Figuur 7: Backward-trajectories van luchtmassa in Vlaanderen op drie individuele dagen ....	14
Figuur 8: Satellietbeeld met stofwolk over het kanaal tussen Verenigd Koninkrijk en Frankrijk (1999) .....	14
Figuur 9: Procentuele verbetering van PM <sub>2,5</sub> -concentraties in de ruime omgeving van Vlaanderen, indien er geen Vlaamse emissies zouden zijn (2002) .....	16
Figuur 10: Gemodelleerde bijdragen aan de PM <sub>10</sub> - en PM <sub>2,5</sub> -concentraties (Vlaanderen, 2002) .....	17
Figuur 11: Daling van de PM <sub>2,5</sub> -concentraties in Vlaanderen en Europa indien er geen Vlaamse emissies zouden zijn (Europa, 2002) .....	19
Figuur 12: Windroos (aantal uren per windsector) op dagen waarop de daggemiddelde PM <sub>10</sub> -concentratie hoger is dan 50 µg/m <sup>3</sup> (Houtem, augustus 2004 - december 2005) .....	22
Figuur 13: Aerosol Optical Thickness (2003) gemeten met de MODIS instrument (EOS-Terra satelliet) .....	25

## Lijst tabellen

Tabel 1: Gemodelleerde absolute bijdragen aan PM <sub>10</sub> - en PM <sub>2,5</sub> -concentraties (Vlaanderen, 2002) .....	18
Tabel 2: Export/import balans voor Vlaanderen van de effecten van PM <sub>10</sub> en PM <sub>2,5</sub> (Vlaanderen, 2002).....	18



# 1 Wat is zwevend stof?

Zwevend stof is een mengsel van afzonderlijke deeltjes (vloeibare of vaste), met uiteenlopende samenstellingen en afmetingen. Een gas met daarin rondzwevende deeltjes is een aerosol. Er zijn natuurlijke aerosolen en antropogene aerosolen (veroorzaakt door menselijke activiteiten). Hierin onderscheidt men primair en secundair aerosol. Primaire deeltjes worden rechtstreeks uitgestoten in de atmosfeer door verschillende soorten bronnen. Mechanisch gevormde deeltjes die in de atmosfeer komen door verkleining van grover materiaal behoren ook tot primair aerosol. Ze hebben dezelfde samenstelling als het grover materiaal waaruit ze gevormd werden, bv. zware metalen bij metaalverwerking en asbest bij verwerking van asbestcement. Secundaire deeltjes ontstaan in de atmosfeer door chemische reacties uit gasvormige componenten zoals ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ), stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) of organische verbindingen. Deze gassen of reactieproducten hiervan zijn minder vluchtig zodat ze windafwaarts aerosolen vormen door de vorming van nieuwe deeltjes (nucleatie) of door zich vast te hechten aan reeds bestaande deeltjes (coagulatie).

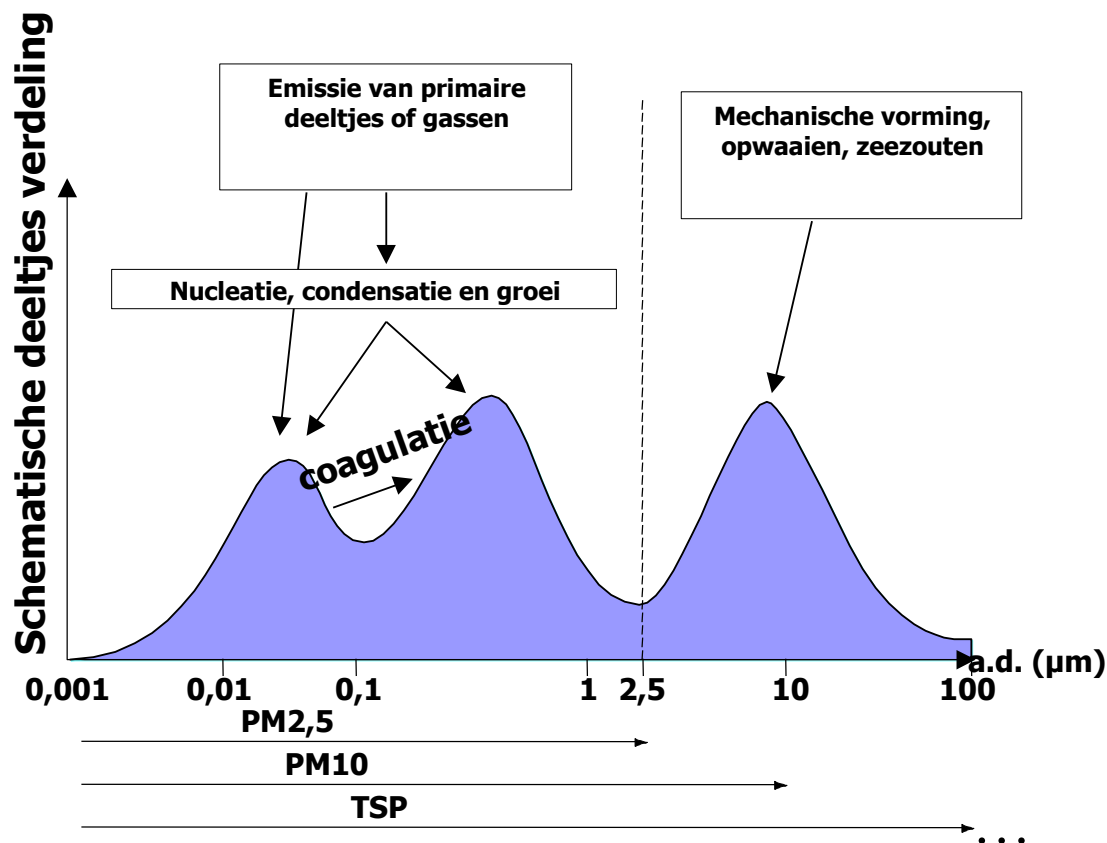
Om het gedrag van een deeltje te beschrijven, is het begrip aerodynamische diameter (a.d.) ingevoerd. De a.d. van een stofdeeltje is gelijk aan de diameter van een bolvormig deeltje dat in de omgevingslucht hetzelfde gedrag vertoont als dat stofdeeltje.  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_1$  en  $\text{PM}_{0,1}$  definieert men als de fractie van deeltjes met een a.d. kleiner dan respectievelijk 10, 2,5, 1 en 0,1  $\mu\text{m}$ . De fractie met een a.d. groter dan 2,5  $\mu\text{m}$  bestaat vooral uit mechanisch gevormde deeltjes die in de lucht worden gebracht door de wind of antropogene activiteiten, zoals opwaaien bij verkeer en opslag en overslag van bulkgoederen. De fractie met een a.d. kleiner dan 2,5  $\mu\text{m}$  bestaat vooral uit deeltjes ontstaan door condensatie van verbrandingsproducten of door reactie van gasvormige pollutanten tot secundair aerosol. Figuur 1 toont de grootteverdeling en de vormingswijze van de verschillende soorten deeltjes.

Het geheel aan deeltjes dat in de lucht blijft zweven valt onder de noemer zwevend stof. Deze deeltjes kunnen volgens verschillende criteria opgedeeld worden nl. oorsprong (primair of secundair, antropogeen of biogeen), grootte, kleur, chemische samenstelling en depositie in de luchtwegen. Naargelang de opdeling krijgen de fracties ook telkens een specifieke naam:

- Grootte: Bij het opdelen volgens de grootte wordt er gebruik gemaakt van de aerodynamische diameter. Het totaal aan stofdeeltjes wordt dan aangeduid als TSP (total suspended particles), fijnere deeltjes krijgen als naamgeving  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{PM}_{0,1}$  ... waarbij het getal telkens de maximale aerodynamische diameter is uitgedrukt in  $\mu\text{m}$ . Om deze eerder technische naamgeving te vermijden wordt er soms ook gebruik gemaakt van de naam fijn stof voor  $\text{PM}_{2,5}$ , ultrafijn stof voor  $\text{PM}_{0,1}$  en de grovere fractie (van  $\text{PM}_{10}$ ) voor het aandeel tussen  $\text{PM}_{2,5}$  en  $\text{PM}_{10}$ . Deze termen worden echter niet altijd even eenduidig gebruikt. Vaak gebruikt men de term 'fijn stof' zowel voor  $\text{PM}_{10}$  als voor  $\text{PM}_{2,5}$ .
- Kleur: Hoewel verschillende componenten van zwevend stof een specifieke kleur hebben, wordt vooral de zwarteheid van stof, gemeten aan de hand van de kleuring op een filter, gebruikt als maat voor de aanwezigheid van koolstofresten na verbranding van fossiele brandstoffen. Roet wordt gevormd door het samenvoegen van ultrafijne grafietdeeltjes en door condensatie van vluchtige organische stoffen (VOS) hierop. Dit roet bevat ook polycyclische aromatische koolwaterstoffen of PAK's. De roetfractie wordt ook aangeduid met de term zwarte rook. Recent is er ook sprake van black carbon (BC) of zwarte koolstof. Deze fractie omvat de geaggregeerde koolstofverbindingen die resulteren uit verbrandingsprocessen deze deeltjes worden via een optische methode bepaald.
- Chemische samenstelling: meer en meer is er aandacht voor de chemische samenstelling van de deeltjes. De stofdeeltjes kunnen op basis van hun samenstelling ook ingedeeld worden in verschillende fracties. (zie 6 Chemische samenstelling van fijn stof) Welke fracties onderscheiden worden, is afhankelijk van de gebruikte analysemethoden.
- Depositie in de luchtwegen: hierbij kan onderscheid gemaakt worden tussen de fractie die tot in de bovenste luchtwegen binnendringt ('inhalable particles'), de fractie die tot in de lagere luchtwegen binnendringt ('thoracic particles') en tenslotte de fractie die tot in de zone binnendringt waar de gasuitwisseling plaatsgrijpt ('respirable particles').  $\text{PM}_{10}$  wordt ook wel eens de thoracale fractie genoemd.

Zwevend stof is vooral bekend wegens z'n gezondheidseffecten (zie verder) maar daarnaast leidt de afzetting van zwevend stof op gebouwen tot vervuiling van die gebouwen. Met esthetische schade en verwerking tot gevolg waardoor een versnelde reiniging of onderhoud noodzakelijk is. De mate waarin dit ook effectief gebeurt, en hoeveel m<sup>2</sup> toegankelijk is aan zwevend stof, is moeilijk te bepalen omdat diezelfde gebouwen ook worden aangetast door SO<sub>2</sub> en zure neerslag.

Figuur 1: Grootteverdeling, vormingswijze en soorten deeltjes



Bron: VITO

## 2 Bronnen van zwevend stof

De bronnen van zwevend stof zijn divers. De bron en ontstaanswijze van het stof bepalen in grote mate ook de grootte, de samenstelling van het stof en de potentiële gezondheidseffecten. Rechtstreeks uitgestoten stof heeft vaak een groter formaat (TSP, PM<sub>10</sub>). Secundair gevormd stof behoort volledig tot de kleinere fracties (PM<sub>2,5</sub>, UFP).

Gasvormige emissies van NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, en NO<sub>x</sub> dragen in belangrijke mate bij tot de concentraties aan PM<sub>10</sub> in de lucht. Analyses van de chemische samenstelling van fijn stof in Vlaanderen hebben aangetoond dat de secundaire componenten die uit de omzettingen van NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> ontstaan ongeveer 40 % aan de massa PM<sub>2,5</sub>-bijdragen. Ook vluchtige organische stoffen (VOS) dragen bij aan dit secundair PM<sub>2,5</sub>. Het secundaire fijn stof speelt dus een zeer belangrijke rol in de hele fijnstofproblematiek. Qua emissies van deze componenten in Vlaanderen zien we bij zowel de primaire als de secundaire emissies een gelijkaardig beeld als bij primair fijn stof. Tussen 1995 en 2000 werd een significante daling van de emissies bereikt, vooral door de overschakeling van aardolie of steenkool naar aardgas en het plaatsen van bijkomende rookgaszuivering in de industrie, afvalverbrandingsinstallaties (handel & diensten) en in de energiesector. Deze maatregelen hadden naast een invloed op de primaire PM<sub>10</sub>-emissies vooral een belangrijk invloed op de precursoremissies en dus ook op het secundair gevormde fijn stof.

Alhoewel er binnen de sectoren (huishoudens, industrie, energie, landbouw, transport, handel & diensten) een dominante bron met specifieke eigenschappen is (bv. opwaaiende bodemstof bij de landbouw) dragen ze elk ook bij aan andere bronnen (bv. ammoniakemissies van stallen bij de landbouw).

Verbrandingsreacties zijn een belangrijke bron van fijn stof. Fijne roetdeeltjes en gasvormige componenten komen hierbij vrij. Fijn stof die veroorzaakt wordt door verbrandingsreacties behoort quasi volledig tot de kleinste fracties van het fijn stof (UFP,  $PM_{2,5}$ ). Voorbeelden van bronnen van verbrandingsreacties zijn de uitlaatgassen van wagens, stookinstallaties in de industrie, huishoudelijke verwarmingstoestellen en houtkachels ...

Procesemissies en antropogene gasvormige emissies: er zijn ook industriële processen of activiteiten van sectoren die stofemissies of gasvormige precursoren van fijn stof veroorzaken. Voorbeelden hiervan zijn emissies van stof bij malen van graan, of de ammoniakemissies van stallen.

Natuurlijke gasvormige bronnen: De natuur veroorzaakt zelf ook fijn stof. Bosbranden en vulkaanuitbarstingen veroorzaken fijnstoffracties gelijkaardig aan deze van de antropogene verbrandingsreacties. Een andere voorbeeld van natuurlijke bronnen zijn de terpenen (een type van VOS) van naaldbossen. Deze is soms zichtbaar als een blauwe gloed boven naaldbossen.

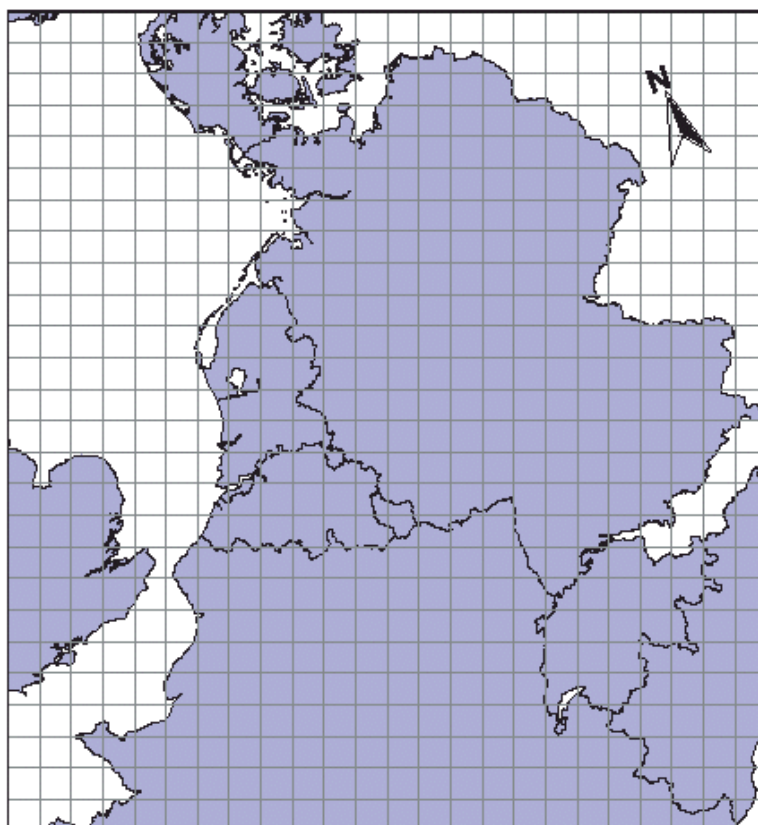
Het opwaaien of dispersie van stof veroorzaakt voornamelijk grove stoffracties. Stofdeeltjes die neergevallen zijn worden door de wind of door beweging opnieuw in de lucht gebracht. Voorbeelden van dergelijke bronnen zijn bv. opslag van zand of andere bulk goederen in open lucht, opwaaien van stof langs wegen. Er zijn ook natuurlijke bronnen van opwaaiend grof stof. Winderosie van bodem, dispersie van zeezout in de lucht en Saharazand zijn hier voorbeelden van. Een opmerkelijke bron van opwaaiend bodemstof vinden we in de sector landbouw. Hier blijkt de bewerking van akkers een groot deel van de stofemissies te veroorzaken.

### **3 Verspreiding fijn stof en het Europese hotspotgebied**

Na uitstoot verspreid het zwevend stof zich in de lucht. Afhankelijk van hun eigenschappen (o.m. deeltjesgrootte) en van de meteorologische omstandigheden, kunnen zwevende deeltjes enkele uren tot maanden in de atmosfeer verblijven. Grof stof met een a.d. groter dan  $10\ \mu\text{m}$  komt in de lucht door opwaaien en verwaaien (verkeer, erts- en kolenopslag en -overslag, afbraakwerken). Grof stof wordt enkel lokaal verspreid. Maar de wind neemt  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$  over afstanden van 100 tot 1 000 km per etmaal mee en de atmosferische turbulentie zorgt voor een vrij homogene verspreiding over grote gebieden. De verlaging van die concentraties vereist daarom een continentale aanpak.

Naast de directe uitstoot (primaire verontreiniging) kunnen  $PM_{10}$ -stofdeeltjes ook ontstaan als secundaire verontreiniging door chemische reacties in de lucht tussen verschillende voorloperstoffen of precursoren. Ozon ( $O_3$ ) wordt niet rechtstreeks uitgestoten maar ontstaat alleen maar als secundaire verontreiniging. De precursoren van die secundaire verontreiniging(en) kunnen van ver buiten de grenzen worden aangevoerd. De milieudruk door  $O_3$  en secundair  $PM_{10}$  in het Vlaamse Gewest moet dus afgewogen worden aan de emissies van de precursoren in een ruim gebied in en rond Vlaanderen: het zogenaamde Midden-West-Europese hotspotgebied (HSP), waar een dicht wegennet, een grote concentratie aan industrie, intensieve landbouw en een grote bevolkingsdichtheid leiden tot een grote geconcentreerde milieudruk (Figuur 2). Het betreft de landen van de Benelux, Denemarken, Duitsland, Zwitserland, Noord-Italië met de regio's van Milaan en Turijn, de noordelijke helft van Frankrijk, East-End in het Verenigd Koninkrijk met inbegrip van de grote Londense regio.

Figuur 2: Midden-West-Europese hotspotregio



De regio is voorgesteld in het EMEP 50 x 50 km<sup>2</sup> rooster.

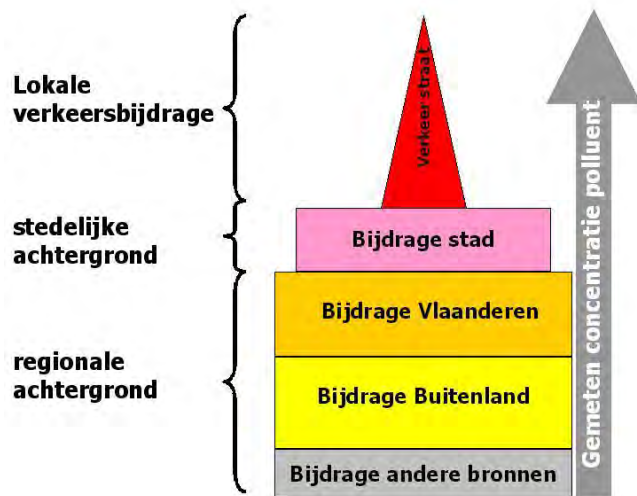
Bron: EMEP

De NO<sub>x</sub>-en NMVOS-emissies in de hele hotspotregio zijn van belang voor de ozonvorming in Vlaanderen. De NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>- en NH<sub>3</sub>-emissies spelen een rol in de vorming van het secundair PM<sub>10</sub>. Omdat die precursoren een onderling verschillend aandeel hebben in de vorming van zowel ozon als secundair PM<sub>10</sub>, is aan elk van hen een vormingspotentiaal toegekend.

#### 4 Stofconcentraties in stedelijke omgeving

De concentratie van luchtvervuilende stoffen in een stedelijke omgeving wordt bepaald door de bijdrage van bronnen in de stad en van bronnen buiten de stad. De bijdrage van de stad aan de concentratie is de stedelijke achtergrondconcentratie, de bijdrage van buiten de stad is de regionale achtergrondconcentratie. Deze bestaat uit een bijdrage afkomstig van antropogene emissies in Vlaanderen, het buitenland en Wallonië en uit een bijdrage van andere (o.a. natuurlijke) bronnen. Samen met lokale bronnen van luchtverontreiniging (in een stedelijke omgeving voornamelijk afkomstig van het verkeer) en de meteorologische omstandigheden bepalen ze de totale concentratie van een luchtvervuilende stof (Figuur 3).

Figuur 3: Schematische voorstelling van de opbouw van concentraties luchtvervuiling in een straat



Bron: IRCEL

Een concreet voorbeeld zien we in Figuur 4. Hier wordt de opbouw getoond van de jaargemiddelde  $PM_{10}$ -concentratie ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2002) ter hoogte van het meetstation 'Borgerhout'. Het meetstation is gelegen op ongeveer 30 meter van de straatkant aan de Plantin en Moretuslei te Antwerpen.

De bijdragen van de stad, Vlaanderen en het buitenland en Wallonië worden afgeleid uit belEUROS-modellsimulaties (Delobbe et al., 2001, Deutsch et al., 2004, Fierens, 2006). De lokale (verkeers)bijdrage is in deze figuur het verschil tussen de gemeten concentraties in het meetstation en de gemodelleerde achtergrondconcentraties (regionaal + stedelijk). De lokale verkeersbijdrage kan echter ook worden ingeschat met modellen. In het kader van het fijnstofplan van de Vlaamse Regering werd aan de Vlaamse gemeenten een stratenmodel ter beschikking gesteld waarmee een eerste eenvoudige screening van de luchtkwaliteit ( $PM_{10}$  en  $NO_2$ ) in een straat kan gebeuren op basis van verkeersintensiteit, verkeersafwikkeling, type straat en emissiefactoren, namelijk het CAR-stratenmodel (Teeuwisse et al., 2006).

De bijdrage van het lokale verkeer aan de  $PM_{10}$ -concentraties is in het meetstation Borgerhout beperkt tot 8 % ( $2,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). In smalle straten met een nog hogere verkeersintensiteit echter zal de verkeersbijdrage hoger zijn en kan ze oplopen tot 10 à  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (EMA, 2005). De bijdrage van het buitenland is het hoogst (43 %), maar kleiner dan gemiddeld in Vlaanderen. De bijdrage van bronnen in de Antwerpse agglomeratie is 6 % en die van bronnen in de rest van Vlaanderen 28 %. De niet-gemodelleerde fractie van  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (14 %) werd bepaald door vergelijking van modelresultaten en metingen in landelijke gebieden. In die fractie zit de bijdrage afkomstig van natuurlijke (o.a. zeezout) en niet-geinventariseerde bronnen (o.a. diffuse emissies, opwaaiend bodemstof).

Figuur 4: Opbouw van de  $PM_{10}$ -concentraties in het meetstation aan de Plantin en Moretuslei (Antwerpen, 2002)

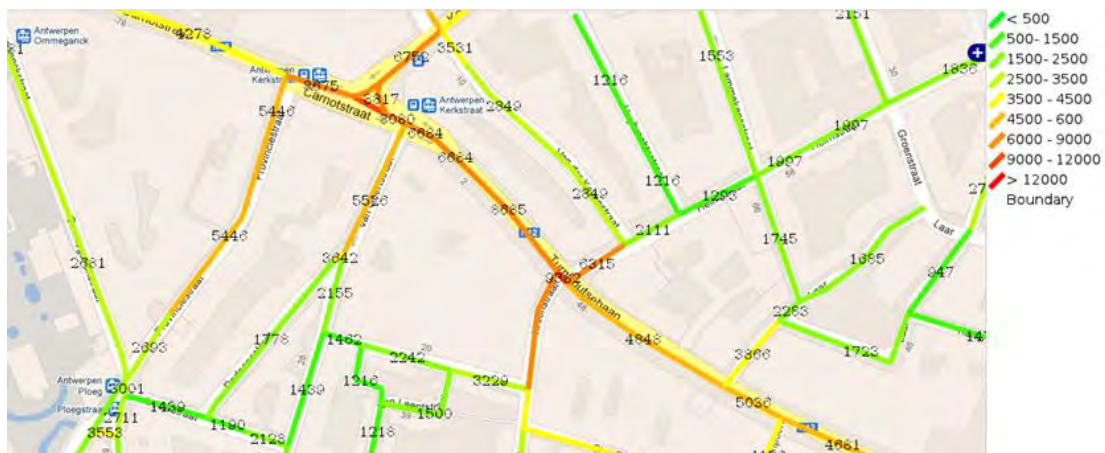


berekeningen met emissies en meteogegevens voor het jaar 2002 - meest representatieve recente gegevens. Voor bepaling bijdrage Antwerpse agglomeratie, Vlaanderen en buiten Vlaanderen werden de antropogene emissies van de respectievelijke gebieden volledig gereduceerd in de modellering. RRMSE van jaargemiddelde waarden berekend door beIEUROS is +/- 25 % ; 100 % = 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Bron: IRCEL, VITO m.b.v. beIEUROS

Binnen de stedelijke regio is zoals eerder gezegd er veel variatie in concentraties. Dit is deels te wijten aan de lokale emissies van o.a. verkeer. Ook de bebouwing rond de straat heeft invloed. Zo zullen smalle straten met hoge bebouwing hogere concentraties vertonen aangezien de vervuiling als het ware 'gevangen' zit en niet kan verdunnen. Door mobiele monitoring met zwartekoolstofmeters hebben we een beeld van de luchtkwaliteit in de verschillende straten van een stad (Figuur 5). Straten met druk verkeer geven hoge concentraties. De zwartekoolstofconcentraties dalen snel in de nabijgelegen straten met weinig verkeer.

Figuur 5: Zwartekoolstofconcentratie in enkele straten van Antwerpen (2012)

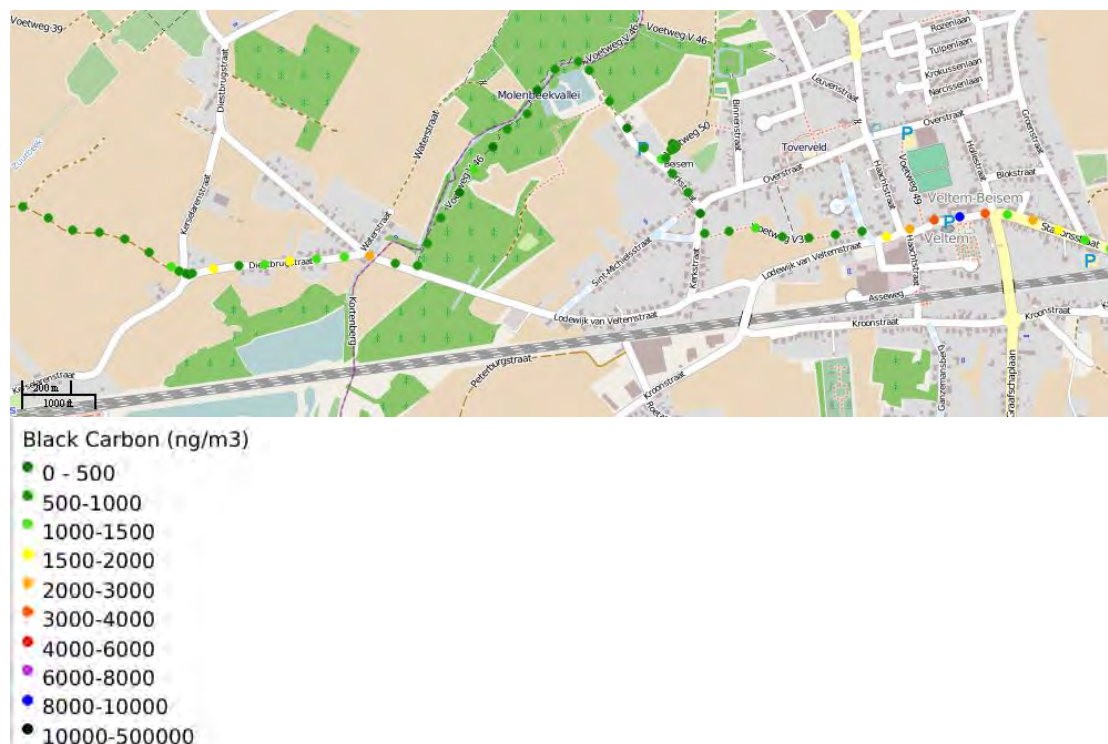


De metingen zijn het resultaat van mobiele monitoring door stadswachten met draagbare zwarte koolstofmeters, kleuren geven gemiddelde waarde per straatsegment, getallen vermelden frequentie van de metingen.

Bron: INTEC-UGent, IDEA

Dit verschil is ook duidelijk op minder drukke wegen. Bij metingen op trage wegen, dit zijn wegen zonder gemotoriseerd verkeer, blijkt dat zelfs in eerder rustigere dorpskernen met matig verkeer ook beduidend hogere concentraties wordt gemeten (Figuur 6).

Figuur 6: Zwartekoolstofmetingen op trage wegen en in centrum van Veltem-Beisem (2012)



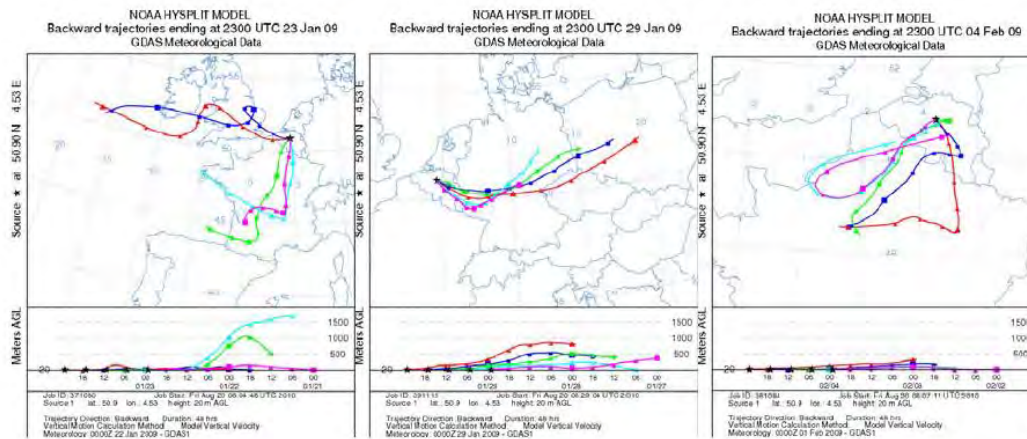
Mobiele metingen met zwartekoolstofmeters getransporteerd op een ezels in het project Sideways ([www.tragewegen.be](http://www.tragewegen.be)); Het traject werd slechts eenmaal afgelopen daarom zijn deze metingen eerder illustratief.

Bron: UGent, INTEC

## 5 Export en import van zwevend stof

Primaire stofemissies dragen bij tot de lokale stofconcentraties. Gasvormige stofprecursoren worden omgezet tot secundair stof. Deze voorloperstoffen dragen slechts heel weinig bij aan de concentraties op de plaats waar ze geloosd worden, maar veel meer op plaatsen windafwaarts gelegen van de lozingsplaats. Om de verplaatsing van voorloperstoffen te illustreren kan men gebruik maken van backward trajectories. Dit zijn modelresultaten van berekeningen op basis van een wereldwijde database van meteorologische gegevens. Ze geven grafisch aan waar de luchtmassa op een bepaald moment, plaats en hoogte vandaan kwam. Figuur 7 geeft hiervan een voorbeeld voor drie verschillende dagen, waarbij de oorsprong van de luchtmassa op een bepaald bemonsteringspunt in Vlaanderen heel verschillend is. Dit zowel qua afstand als locatie (maritiem, continentaal ... ) van de luchtmassa's.

Figuur 7: Backward-trajectories van luchtmassa in Vlaanderen op drie individuele dagen

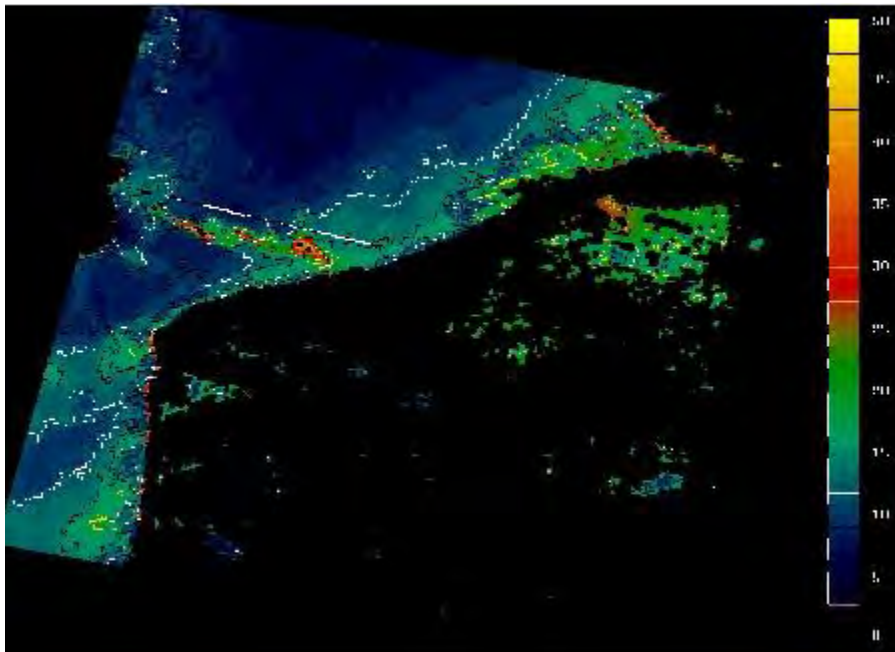


Bron:VMM (2010)

Naargelang de snelheid van de omzetting, liggen lozingsgebied en impactgebied zeer dicht bij elkaar of enkele honderden kilometers van elkaar verwijderd. Nitraat wordt zo bijna ‘onmiddellijk’ uit ammoniak en salpeterzuur (een omzettingsproduct van  $\text{NO}_x$ ) gevormd en komt dus zeer dicht bij de bronnen voor. De omzetting van  $\text{SO}_2$  in de atmosfeer verloopt echter veel trager. Daarom neemt de vorming van sulfaataerosolen meestal veel meer tijd in beslag en kan het  $\text{SO}_2$  over grote afstanden getransporteerd worden voordat er sulfaatdeeltjes ontstaan.

Figuur 8 illustreert het grensoverschrijdende transport van pollutanten. Hierop staat een stofwolk over het kanaal tussen het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk.

Figuur 8: Satellietbeeld met stofwolk over het kanaal tussen Verenigd Koninkrijk en Frankrijk (1999)



beelden gemaakt met SeaWiFS op 3 september 1999, resolutie 1x1 km per pixel

Bron: project Interreg II - Aerosol, 1999 - 2001

In Vlaanderen blijkt dat antropogene Vlaamse bronnen voor 29 % bijdragen aan de Vlaamse  $\text{PM}_{10}$ - en voor 26 % aan de Vlaamse  $\text{PM}_{2,5}$ -concentraties bijdragen. De antropogene



buitenlandse emissies zijn voor 43 % van de PM<sub>10</sub>- en voor 55 % van de PM<sub>2,5</sub>-concentraties in Vlaanderen verantwoordelijk. In Nederland blijkt het berekende aandeel van de eigen antropogene bronnen in de totale concentratie PM<sub>10</sub> tussen 1980 en 1987 gemiddeld 25 % te zijn (RIVM, 2001a). De buitenlandse bijdrage blijkt afhankelijk van de locatie. In sommige steden en industriegebieden bleken de binnenlandse bijdragen net iets groter te zijn als de buitenlandse bijdragen (RIVM, 2001b).

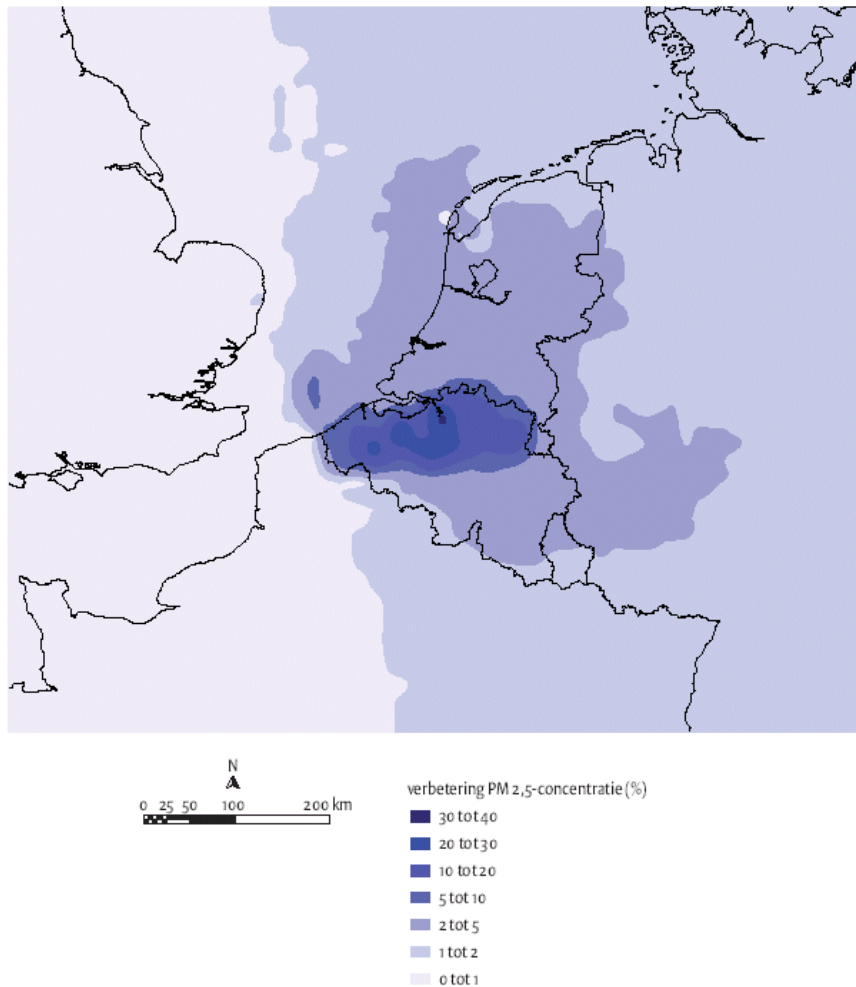
Maar Vlaanderen importeert niet enkel zwevend stof. De invloed van Vlaamse emissies van stof en stofprecursoren is tot ver buiten de Vlaamse grenzen te merken.

### 5.1 Import van zwevend stof

De beEUROS-resultaten tonen aan dat grensoverschrijdend transport van primair en secundair PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> (en hun precursoren) de belangrijkste bron is van PM<sub>10</sub>- en PM<sub>2,5</sub>-concentraties in Vlaanderen. Dat wordt ook geïllustreerd in Figuur 9 waar het verschil tussen de gemodelleerde PM<sub>2,5</sub>-concentraties met en zonder Vlaamse antropogene emissies wordt getoond. In het blauw wordt het percentage verbetering na uitschakeling van alle antropogene emissies in Vlaanderen weergegeven. In de driehoek Antwerpen-Brussel-Gent is de verbetering tussen 20 en 30 %. Door de hogere bevolkingsdichtheid, industrialisatiegraad en verkeersintensiteit is dit hoger dan het gemiddelde in Vlaanderen (14 %).

Het merendeel van zowel de PM<sub>10</sub>- en de PM<sub>2,5</sub>-concentraties in Vlaanderen zijn niet afkomstig van antropogene Vlaamse bronnen. Die dragen slechts voor 29 % bij aan de PM<sub>10</sub>-concentraties en voor 26 % bij aan de PM<sub>2,5</sub>-concentraties. Samen zijn de antropogene buitenlandse emissies voor 43 % van de PM<sub>10</sub>-concentraties en voor 55 % van de PM<sub>2,5</sub>-concentraties in Vlaanderen verantwoordelijk. Figuur 10 toont voor PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> de gemodelleerde bijdragen van Vlaanderen, Wallonië, buitenland en andere bronnen. Hierbij valt bij PM<sub>10</sub> 14 % op Frankrijk, 8 % op Groot-Brittannië en telkens 6 % op Nederland en Duitsland. Het overige buitenland en Wallonië draagt met 9 % aan de PM<sub>10</sub>-concentraties bij. Voor PM<sub>2,5</sub> liggen de bijdragen bij 17 % voor Frankrijk, 12 % voor Groot-Brittannië, en telkens 8 % voor Nederland en Duitsland. Hier draagt het overige buitenland en Wallonië met nog eens 10 % bij. De hoge bijdragen van Frankrijk zijn te wijten langs de ene kant aan de in onze regio overheersende zuidwestelijke windrichting en langs de andere kant door relatief hoge emissies in Noord-Frankrijk langs de grens met België. Ook de hoge bijdrage van emissies geloosd in Groot-Brittannië op de fijnstofconcentraties in Vlaanderen is vooral aan meteorologische omstandigheden te wijten. Daarentegen komen emissies geloosd in Nederland of in Duitsland omwille van dezelfde meteorologische omstandigheden in mindere mate bij ons terecht.

Figuur 9: Procentuele verbetering van  $PM_{2,5}$ -concentraties in de ruime omgeving van Vlaanderen, indien er geen Vlaamse emissies zouden zijn (2002)

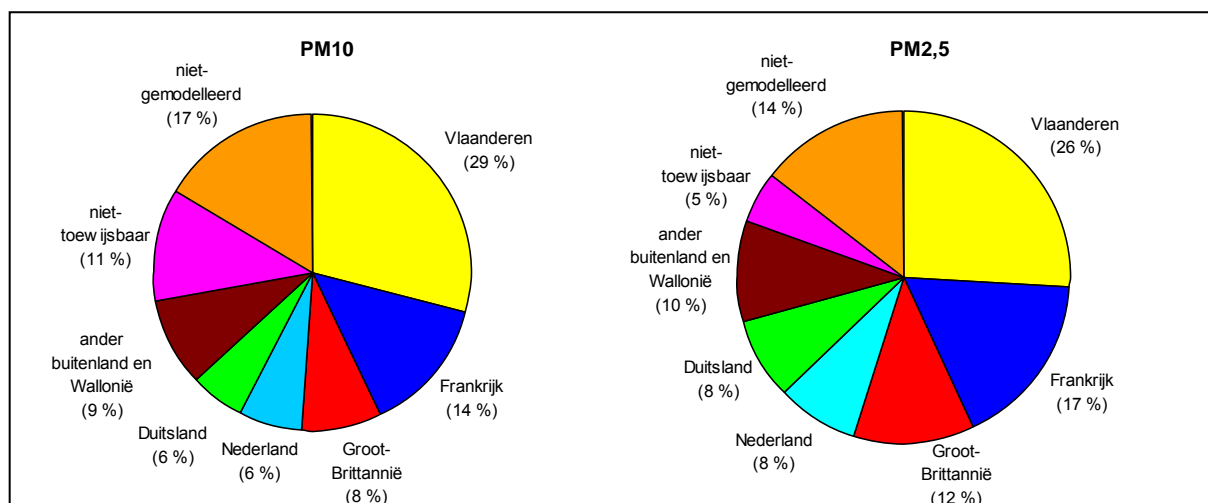


Bron: IRCEL-VITO, belEUROS

Alhoewel Vlaanderen zelf over een hoge emissiedichtheid beschikt (hoeveelheid emissies per oppervlak grondgebied) en meer fijn stof naar het buitenland exporteert dan het van het buitenland importeert (zie verder), wordt er een zodanig hoge buitenlandse bijdrage aan de fijnstofconcentraties in Vlaanderen gemodelleerd. Hoe is dit te verklaren? Hierbij moet in rekening gebracht worden dat een belangrijk deel van het fijn stof in Vlaanderen secundair fijn stof is dat pas in de atmosfeer uit gasvormige voorlopverbindingen ontstaat. Voor de grootteklasse  $PM_{2,5}$  bedraagt de secundaire fractie typisch tussen de 30 en 50 % van de totale massa. Deze fractie draagt dus enkel maar in mindere mate bij aan de fijn stof concentraties op de plaats waarop ze geloosd wordt, maar veel meer op plaatsen windafwaarts gelegen van de plaats van lozing. Naargelang de snelheid waarmee de scheikundige omzettingen in de atmosfeer verlopen, kunnen lozingsgebied en impactgebied zeer dicht bij elkaar liggen of tot enkele honderden van kilometers verwijderd zijn. Als voorbeeld vermelden we hier het nitraat dat snel en dus zeer dicht bij de bronnen uit ammoniak en salpeterzuur gevormd wordt, die op haar beurt snel bij de oxidatie van  $NO_x$  ontstaat. De oxidatie van  $SO_2$  in de atmosfeer daarentegen verloopt aanzienlijk trager en het ammoniumsulfaat wordt ook pas dan gevormd wanneer het beschikbare nitraat met ammoniak gereageerd heeft en er een overschot aan ammoniak overgebleven is. Om deze reden neemt de vorming van sulfaataerosolen meestal veel meer tijd in beslag en kan het geëmitteerde  $SO_2$  over grote afstanden getransporteerd worden voordat er sulfaatdeeltjes ontstaan.

Figuur 10 werd met het belEUROS-model berekend als illustratie en zijn voor de situatie (Vlaamse en Europese emissies en meteocondities) van het jaar 2002 geldig. Het model neemt zowel de primaire fijn stof emissies in rekening alsook de vorming van secundair ammonium, nitraat, sulfaat en secundaire organische componenten. De derde groep in de twee diagramma's bestaat uit de niet-toewijsbare en de niet-gemodelleerde bijdragen. Hierbij gaat het - vooral in de grootteklasse  $PM_{10}$  - om een belangrijk gedeelte van de fijn stof concentraties in Vlaanderen die van andere dan de gemodelleerde antropogene Vlaamse en buitenlandse bronnen afkomstig is. Bij de niet-toewijsbare bronnen gaat het vooral om natuurlijke en, voor een kleiner stuk, ook om antropogene bijdragen die van 'buiten' Europa naar onze regio getransporteerd worden zoals de intercontinentale transport van luchtpolluenten maar ook natuurlijke bijdragen aan het fijn stof zoals zeezoutaerosol, woestijnstof en biogene aerosolen. Bij de niet-toewijsbare bijdragen tellen ook bijdragen die pas door het 'samenspelen' van verschillende emissiebronnen fijn stof vormen en dus niet eenduidig aan één bepaald land of gebied toegewezen kunnen worden bv. Franse  $NO_x$ -emissies die samen met (West)-Vlaamse  $NH_3$ -emissies effectief fijn stof vormen - maar het model kan dit stof niet aan een bepaald land toewijzen. Het gedeelte niet-gemodelleerde bijdragen bevat fijn stof dat van bronnen afkomstig is die (nog) niet in belEUROS opgenomen zijn. Dit zijn bijna uitsluitend natuurlijke bronnen zoals zeezoutdeeltjes en opgewaaid bodemstofdeeltjes. Ook secundair organisch fijn stof afkomstig van de emissies van loof- en naaldbossen worden nog niet in het model berekend en tellen dus mee bij de 'niet gemodelleerde' bijdragen. Deze bijdrage wordt ingeschat op basis van vergelijking tussen metingen en modellering. De niet-modelleerbare bijdrage en de niet-toewijsbare bijdrage zorgen ervoor dat de gemodelleerde fijnstofconcentraties overeenkomt met de meetwaarden.

Figuur 10: Gemodelleerde bijdragen aan de  $PM_{10}$ - en  $PM_{2,5}$ -concentraties (Vlaanderen, 2002)



Bron: VITO

Tabel 1: Gemodelleerde absolute bijdragen aan PM<sub>10</sub>- en PM<sub>2,5</sub>-concentraties (Vlaanderen, 2002)

(µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Vlaanderen	8,8	5,4
Frankrijk	4,2	3,5
Groot-Brittanië	2,5	2,4
Nederland	1,9	1,7
Duitsland	1,7	1,6
ander buitenland en Wallonië	2,8	2,1
niet-toewijsbaar	3,4	1,0
niet-gemodelleerd	5,0	3,0

Bron: VITO

## 5.2 Export van zwevend stof

Grensoverschrijdend transport van pollutanten is de belangrijkste bron van fijn stof in Vlaanderen. Vlaanderen importeert echter niet alleen luchtvervuiling, maar exporteert ook vervuiling naar het buitenland. De impact van de uitstoot van luchtvervuiling in Vlaanderen op de concentraties van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> in het buitenland en de impact van de buitenlandse emissies op de concentraties in Vlaanderen is te vinden in Tabel 2. Daarvoor werden de belEUROS-modelresultaten gebruikt (zie hierboven) waarbij respectievelijk de Vlaamse en buitenlandse emissies volledig werden gereduceerd.

Tabel 2: Export/import balans voor Vlaanderen van de effecten van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> (Vlaanderen, 2002)

	inwoners (miljoen)	concentratie- verschil PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	concentratie- verschil PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	effect PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> . 10 <sup>6</sup> inwoners)	effect PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> . 10 <sup>6</sup> inwoners)
import in Vlaanderen	6,0	13,14 <sup>1</sup>	11,35 <sup>1</sup>	79,4	68,5
export naar buitenland	533,8	0,303 <sup>2</sup>	0,258 <sup>2</sup>	162,0	137,7
export/import verhouding				2,0	2,0

<sup>1</sup> Verschil tussen de (bevolkingsgewogen) gemiddelde concentratie in Vlaanderen met alle emissies en het (bevolkingsgewogen) gemiddelde in Vlaanderen indien er geen buitenlandse emissies zouden zijn.

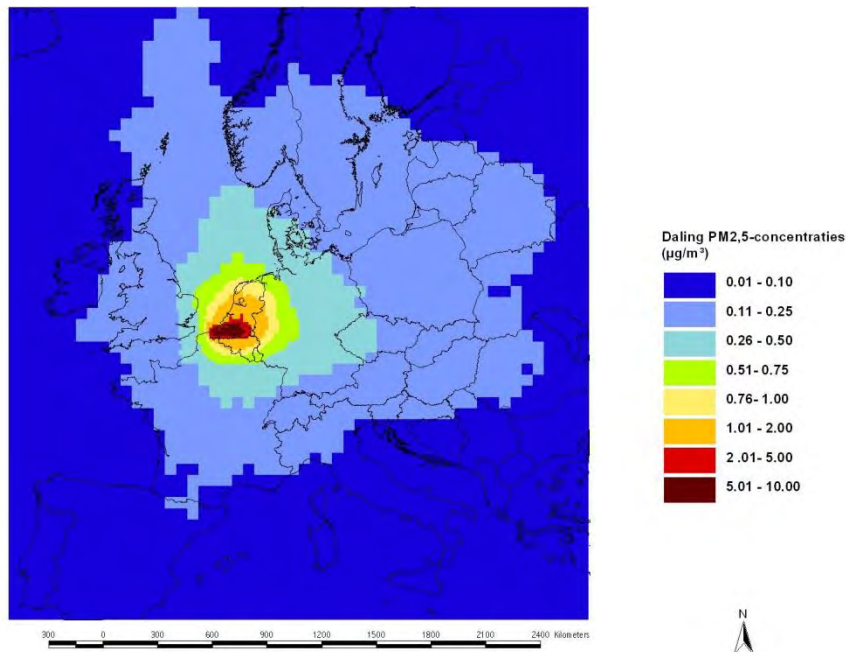
<sup>2</sup> Verschil tussen de (bevolkingsgewogen) gemiddelde concentratie in het buitenland met alle emissies en het (bevolkingsgewogen) gemiddelde in het buitenland indien er geen Vlaamse emissies zouden zijn.

belEUROS-berekeningen met emissies en meteogegevens voor het jaar 2002, bevolkingsgegevens van het jaar 2000

Bron: IRCEL, VITO, SEDAC

De import van het luchtvervuilingseffect in Vlaanderen is de bijdrage van het buitenland aan de concentraties in Vlaanderen vermenigvuldigd met de inwoners van Vlaanderen. De export van het luchtvervuilingseffect door Vlaanderen is de bijdrage van de Vlaamse emissies aan de concentraties buiten Vlaanderen. De absolute impact van de Vlaamse emissies op de buitenlandse concentraties is weliswaar klein, voor PM<sub>2,5</sub> gemiddeld zowat 0,25 µg/m<sup>3</sup> (Tabel 2). Omdat het echter een gebied betreft waar bijna 100 maal meer mensen wonen, wordt de uiteindelijke Vlaamse bijdrage aan effecten op de buitenlandse bevolking groot. Dat wordt ook geïllustreerd in Figuur 11 waar de bijdrage van de uitstoot in Vlaanderen aan de concentraties in het buitenland wordt getoond. Uit de figuur blijkt dat in vrij veraf gelegen streken zoals de Baltische staten en het zuiden van de Scandinavische landen, de Vlaamse emissies toch nog een verschil van 0,11 tot 0,25 µg/m<sup>3</sup> maken op de jaargemiddelde PM<sub>2,5</sub>-concentraties. De Vlaamse PM-emissies veroorzaken ongeveer twee maal meer gezondheidseffecten in het buitenland dan de buitenlandse emissies in Vlaanderen (Tabel 2).

Figuur 11: Daling van de  $PM_{2,5}$ -concentraties in Vlaanderen en Europa indien er geen Vlaamse emissies zouden zijn (Europa, 2002)



belEUROS berekeningen met emissie en meteorologische gegevens van 2002

Bron: IRCEL, VITO

## 6 Chemische samenstelling van fijn stof

De samenstelling van fijn stof is vrij heterogeen. Bij onderzoek naar de samenstelling vindt men vaak de volgende scheikundige componenten:

- ammonium: afkomstig van ammoniakemissies, vooral van de landbouw maar ook van het wegverkeer;
- nitraat: ontstaat uit de reactieproducten van  $\text{NO}_x$ -emissies, vooral van het wegverkeer;
- sulfaat: ontstaat uit de reactieproducten van  $\text{SO}_2$ -emissies o.a. van industrie, raffinaderijen en de energiesector;
- organische aerosolen (OA): worden rechtstreeks bij verbrandings-processen uitgestoten, zijn gevormd door de oxidatie van vluchtige organische verbindingen en kunnen ook biogene deeltjes omvatten;
- elementair koolstof (EC): geagglomereerde koolstofverbindingen ontstaan bij verbranding bv. roet uit dieselmotoren;
- zeezout: ontstaat bij verdamping van opstuivende zeewaterdruppels en heeft (dicht bij de bron) dezelfde chemische samenstelling als het zeewater;
- bodemstof: dit is door de wind (maar ook door voorbijkomend verkeer) opgewaaid bodemstof, waarbij hier de anorganische componenten bedoeld zijn.

Deze componenten maken echter vaak niet 100 % uit van de totale massa. De samenstelling van een restfractie blijft onbekend. Een deel van de restfractie bestaat uit water. Verder hebben ook de chemische analyses en de totale massabepaling een bepaalde onzekerheid.

In Vlaanderen zijn de voornaamste natuurlijke bronnen zeezoutdeeltjes, opwaaiend bodemstof en stofdeeltjes en stofprecursoren die door vegetatie uitgestoten worden (bv. isopreen en terpenen van bossen). Omdat de natuurlijke bronnen van fijn stof niet expliciet gerapporteerd worden, kan men deze inschatten op basis van de chemische samenstellingsanalyse van stofstalen. Hierbij krijgt men ook een beeld over onbekende bronnen. Natuurlijke bijdragen aan fijn stof zijn het voorwerp van discussie omdat ze

vermoedelijk niet alle schadelijk zijn voor de gezondheid, maar wel kunnen bijdragen tot overschrijdingen van de norm.

## 7 Gezondheideffecten van zwevend stof

Het is gekend dat aerosoldeeltjes ideale transportmiddelen zijn om een aantal toxische componenten tot in de longen te brengen. Afhankelijk van hun grootte worden de stofdeeltjes afgezet in de neus-, keel- en mondholte, longen of de longblaasjes. De kleinere deeltjes dringen het diepst door in de longen. Zo kan PM<sub>10</sub>-stof door mechanische en toxische inwerking de slijmafvoer in de luchtwegen verstoren, ademhalingsklachten uitlokken en de gevoeligheid voor luchtweginfecties verhogen. Ondermeer de aanwezigheid van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en kankerverwekkende metalen in sommige stofdeeltjes kan de ontwikkeling van longkanker bevorderen. Andere toxische bestanddelen van stof kunnen zich na afzetting in de longen nog verder in het (menselijk) lichaam verspreiden via de bloedbaan of het lymfestelsel. Ultrafijne deeltjes kunnen gedeeltelijk na inademing relatief snel doordringen in de bloedbaan (Nemmar et al., 2002). Het ultrafijne karakter van deeltjes verhoogt de toxiciteit van fijn stof en vormt (deels) een verklaring voor de gezondheidseffecten (Macnee & Donaldson, 1999; Donaldson & Stone, 2003). Er zijn ook aanwijzingen dat het ultrafijne karakter van de deeltjes de toxiciteit verhoogt, op basis van experimenten met o.m. de inerte stoffen TiO<sub>2</sub> en grafietdeeltjes (Donaldson & Stone, 2003). Deze werden zowel in fijne, inadembare vorm als in ultrafijne vorm toegediend aan mensen, en er bleek een duidelijk verschil in reactie te zijn. Zowel PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> als nog fijnere deeltjes (PM<sub>0,1</sub>) kunnen ontstekingsmechanismen veroorzaken in de longen. Het contactoppervlak wordt echter groter naarmate de deeltjes fijner zijn. Een groter oppervlak zorgt voor een grotere kans dat toxische, kankerverwekkende, allergene ... componenten op dit oppervlak reageren met longcellen.

Het is stilaan duidelijk dat er verschillende chemische componenten of fysische eigenschappen van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> zijn die aanleiding geven tot biologische effecten en gezondheidsschade. De samenstelling is vaak complex en speelt waarschijnlijk ook een (nog) deels onbekende rol bij de gezondheidseffecten van fijn stof. Toch ontstaat er stilaan wat kennis over de toxiciteit van enkele componenten:

- Zware metalen (bv. vanadium, nikkel en koper) of transitie-metalen zoals ijzer worden in verband gebracht met DNA-schade, ontstekingsreacties en oxidatieve stress.
- Organische bestanddelen (bv. PAK's) hebben een mutageen karakter, zijn irriterend of allergeen.
- Reactieve gassen (bv. ozon, bepaalde aldehydes) waarvan gekend is dat ze longschade veroorzaken kunnen, behalve als gas ook gebonden aan stofdeeltjes tot in de longen geraken.
- Zwavelzuur kan wel ademhalingsmoeilijkheden veroorzaken, zeker bij astmapatiënten, maar eerder bij hoge concentraties die nu niet meer voorkomen in omgevingslucht. De zuurtegraad kan echter belangrijk zijn, omdat in zuur milieu metalen makkelijker oplossen.
- Anorganische componenten zoals sulfaten zijn in zuivere vorm en bij de lage concentraties die in buitenlucht voorkomen niet toxisch, maar men neemt aan dat zij in de mix van chemische stoffen toch een rol spelen in de toxiciteit van fijn stof.
- Elementair koolstof is mogelijk een irriterende stof. Bovendien kan dit in ultrafijne vorm (kleiner dan 0,1 µm) in de bloedbaan terechtkomen.
- Biogene aerosolen zoals virussen, bacteriën, endotoxines, pollen en schimmelsporen zijn gekende allergenen, en veroorzaken duidelijk infectieziekten van de luchtwegen. Deze componenten zijn seizoensgebonden, maar worden nog maar weinig systematisch in kaart gebracht in studies over luchtkwaliteit. In de lente- en zomerperiode zouden afbraakdeeltjes van planten- en schimmelsporen tot 5 % van de PM<sub>10</sub>-massa bedragen (Winiwarter, 2006).
- Stof bevat ook inerte componenten. Typisch voorbeeld is opwaaiend zand, dat ook een fractie bevat kleiner dan 10 µm. Zowel natuurlijke bijdragen (winderosie), als menselijke

activiteiten (bv. op- en overslag van zand) dragen bij tot overschrijdingen van de PM<sub>10</sub>-norm in Vlaanderen. Maatregelen om deze diffuse emissies te beperken zijn wenselijk om de normen te behalen, maar zijn vermoedelijk minder efficiënt in het beperken van de gezondheidseffecten door PM<sub>10</sub>. Zeezout wordt vaak beschouwd als een inerte fractie, maar wordt in de atmosfeer gedeeltelijk omgezet tot natriumnitraat. Het is onduidelijk of dit toxische effecten heeft, maar illustreert wel dat het aftrekken van deze inerte fracties weloverwogen dient te gebeuren (zie Kader Rol van zeezout in normoverschrijding).

Alle bovenstaande hypothesen verklaren echter nog steeds niet volledig de langetermijneffecten van fijn stof. Stilaan groeit de wetenschappelijke kennis over de veroorzakende factoren en de mechanismen in het menselijk lichaam.

- Er kunnen directe effecten optreden in de longen na toediening van PM<sub>10</sub>. Zowel bepaalde metalen als vliegafkomstig van de verbranding van steenkool of stookolie kunnen longschade en ontstekingen veroorzaken. Dit is een indicatie voor de verergering van respiratoire aandoeningen die vastgesteld wordt in epidemiologische studies.
- Toxicologische studies tonen ook aan dat stof DNA-schade, allergische- en/of ontstekingsreacties kan veroorzaken. Er is ook meer evidentie over de cardiovasculaire impact van zwevend stof. Medische studies bevestigen dat de waargenomen hartritmevariaties bij mensen in relatie te brengen is met ingeademd PM<sub>10</sub>. Bovendien zijn er aanwijzingen dat zwevend stof de aderverkalking in de hand werkt, wat uiteindelijk tot ernstige hart- en vaatziekten kan leiden. De effecten van zwevend stof zijn vooral zichtbaar bij gevoelige personen, ouderen en kinderen.

Zowel de massahoeveelheid als het aantal deeltjes dat opgenomen wordt door inademing zijn bepalend voor de toxiciteit. Grof stof wordt hoofdzakelijk via het spijsverteringskanaal in het lichaam opgenomen, maar bevat ook een aantal toxische metalen. Meer en meer verschuift de aandacht naar PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>0,1</sub>, maar wetenschappers wijzen er toch op dat de grovere fractie van PM<sub>10</sub> niet mag vergeten worden (Brunekreef et al., 2005).

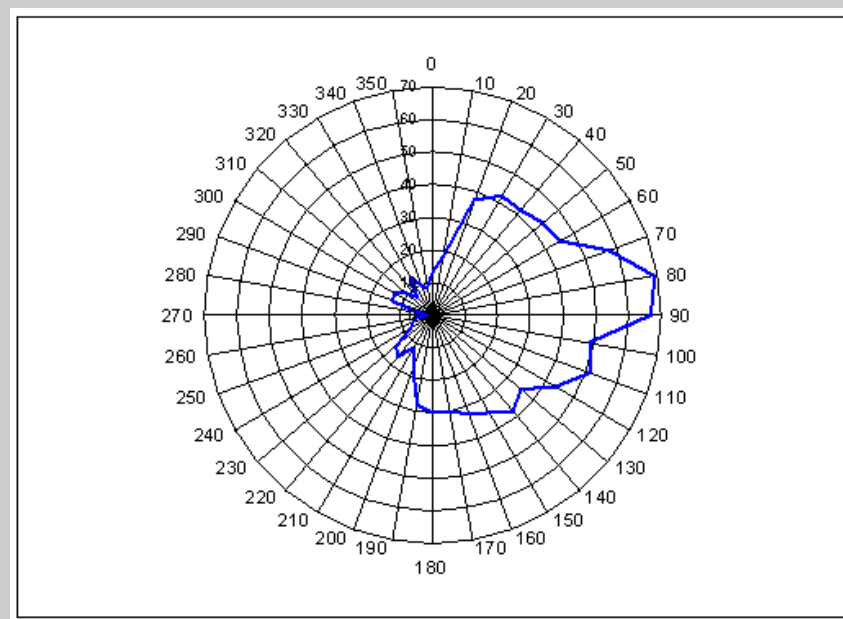
### **Rol van zeezout in normoverschrijding**

In de nieuwe geïntegreerde richtlijn 'Richtlijn van het Europese Parlement en de Raad betreffende de luchtkwaliteit en schonere lucht voor Europa' (goedgekeurd door het EU parlement op 11/12/2007) wordt voorzien dat overschrijdingen van de grenswaarden (o.a. van PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub>) niet als overschrijdingen beschouwd zullen worden door de Commissie indien kan worden aangetoond dat de oorzaak het gevolg is van natuurlijke bronnen. Zo wil men vermijden dat de lidstaten actieplannen moeten opmaken voor gebieden waar de overschrijdingen van de grenswaarden een natuurlijke oorzaak hebben. Dat betekent niet dat alle gemeten concentraties sowieso kunnen worden verlaagd met het natuurlijke aandeel. Daarmee wordt er voorbijgegaan aan het feit dat de relatie tussen gezondheidseffecten en fijn stof bestudeerd is op basis van de totale fijnstofconcentratie (met inbegrip van de natuurlijke bijdragen).

Een van de natuurlijke bronnen van fijn stof is zeezout. De bijdrage van zeezout aan de PM<sub>10</sub>-concentraties in Vlaanderen varieert van dag tot dag, met de afstand tot de zee, en is afhankelijk van de weersomstandigheden. Bij Atlantische luchtstromingen zullen de concentraties zeezout hoger zijn dan wanneer het weer wordt beïnvloed door continentale luchtstromingen.

Uit specifieke studies naar het aandeel van zeezout in PM<sub>10</sub> blijkt dat op dagen met hoge daggemiddelde PM<sub>10</sub>-concentraties het aandeel zeezout gevoelig lager ligt (soms slechts 1 %). Dat is niet verwonderlijk omdat op die dagen de luchtstromingen in Vlaanderen vooral van continentale oorsprong zijn. Een illustratie hiervan staat in Figuur 12. Deze figuur toont voor het meetstation te Houtem (op 10 km van de kust) het aantal uren per windsector op dagen met een daggemiddelde PM<sub>10</sub>-concentratie hoger dan 50 µg/m<sup>3</sup>. Zelfs dicht bij de kust komt op die dagen de wind bijna uitsluitend uit NO- tot ZO-windrichtingen, dus vanuit het binnenland.

Figuur 12: Windroos (aantal uren per windsector) op dagen waarop de daggemiddelde  $PM_{10}$ -concentratie hoger is dan  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Houtem, augustus 2004 - december 2005)



0° = noorden, 90° = oosten, 180° = zuiden, 270° = westen

Bron: VMM, IRCEL

De laatste decennia is het aantal studies over de relatie tussen  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  en gezondheid in Europa, Noord- en Zuid-Amerika en in Azië zeer sterk toegenomen. Reden hiervoor is de groeiende bezorgdheid over de rol en de bijdrage van  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$  tot ernstige gezondheidseffecten en zelfs sterfte, bij concentraties die soms onder de bestaande normen liggen. Enkele overzichtswerken proberen de huidige kennis samen te vatten. Zonder volledigheid te willen nastreven (we verwijzen hiervoor naar de literatuur, zie bv. Brunekreef en Holgate, 2003; WGO 2004; EPA, 2003; Torfs, 2004 ...), zetten we de belangrijkste feiten even op een rijtje.

Aan de basis voor de verhoogde aandacht voor zwevend stof liggen de chronische gezondheidseffecten. Enkele Amerikaanse epidemiologische studies zoals de 'ACS study' en de 'Six Cities Study' vinden een significant verband tussen langetermijnblootstelling aan zwevend stof (vooral  $PM_{2,5}$  en sulfaten) en vervroegde sterfte (Pope et al., 1995; Dockery et al., 1993). De bewijskracht voor de associatie tussen  $PM_{2,5}$  en vervroegde sterfte door langdurige blootstelling van deze cohortestudies is toegenomen. Na een heranalyse door Krewski et al. (2000) van de oorspronkelijke data, op vraag van overheid en industrie, is men tot de bevinding gekomen dat vervroegde sterfte wel degelijk verband houdt met een langdurige blootstelling aan o.m.  $PM_{2,5}$ . In een vervolg op de ACS-studie (Pope et al., 2002) werden oorzaak-specifieke doodsoorzaken bestudeerd. De verschillen in sterfte worden in deze studie geassocieerd met verschillen in  $PM_{2,5}$  tussen verschillende Amerikaanse grootstedelijke gebieden. Hiervoor waren aanvankelijk meetresultaten van de periode 1979 tot 1983 gebruikt. De nieuwe studie uit 2002 hanteert daarnaast ook recente metingen sinds 1999. Afhankelijk van de gebruikte meetresultaten van  $PM_{2,5}$  varieert het risico op vervroegde niet-accidentele sterfte tussen 4 % en 6 %, op longkanker tussen 8 % en 14 %, op cardiopulmonaire sterfte tussen 6 % en 9 % bij een stijging van  $PM_{2,5}$  met  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

In Europa is voor het CAFE-programma een grondige evaluatie gemaakt van deze studie van Pope et al. (2002) door de wereldgezondheidsorganisatie (WGO). Volgens de WGO is de studie geschikt om de impact van  $PM_{2,5}$  in Europa in te schatten, en ze stelt voor om het risico van 6 % niet-accidentele sterfte te hanteren in de berekeningen. Oorzaak-specifieke sterfte zoals longkanker zit vervat in dit risico op totale niet-accidentele sterfte. Bovendien heeft een analyse uitgewezen dat de impact op basis van totale niet-accidentele sterfte of op basis van de som van oorzaak-specifieke sterfterisico's vergelijkbaar is (Torfs et al. 2007).



Er zijn nog steeds weinig studies die het verband tussen langetermijn blootstelling en sterfte hebben onderzocht. Een verfijning van de ACS-studie in Los Angeles, Californië gaf als resultaat een hoger risico op sterfte (Jerrett et al., 2005). In Nederland wees een eerste studie over luchtverontreiniging en gezondheidseffecten op lange termijn uit dat er een verhoogd risico op sterfte was bij mensen die langs een drukke weg woonden en waar de zwarte rook concentraties verhoogd waren. (Hoek et al., 2002). Een studie in Frankrijk geeft ook enigszins aan dat er een verhoogd risico is op sterfte indien de zwarte rook concentraties verhoogd zijn (Filleul et al., 2005) in steden. Pope et al. (2004) hebben hun analyse nog verfijnd, en onderzochten 3 mogelijke pathofysiologische mechanismen om de invloed van PM<sub>2,5</sub> op vroegtijdige sterfte te verklaren:

- PM<sub>2,5</sub> versnelt de verergering van COPD (chronic obstructive pulmonary disease) en astma. Dit wordt in de studie niet bevestigd maar kan te wijten zijn aan het feit dat COPD patiënten meestal sterven aan (gediagnosticeerde) longontsteking of griep.
- PM<sub>2,5</sub> veroorzaakt ontstekingsreacties en versnelde aderverkalking, wat kan leiden tot ischemische hartaandoeningen, wat deze studie bevestigt.
- PM<sub>2,5</sub> veroorzaakt een verminderde hartritmevariabiliteit, en een verhoogd risico op ritmestoornissen en sterfte (via hartstilstand ...).

Belangrijk om vast te stellen is dat interventiestudies bewijzen dat het verminderen van het risico via een luchtkwaliteitsbeleid een positief effect heeft op de volksgezondheid. Enkele voorbeelden: in Dublin, Ierland, werd vanaf 1 september 1990 het residentieel gebruik van steenkool verboden. Dit leidde tot een significante afname in zwarte rook en SO<sub>2</sub> concentraties en tot een verlaging in wintersterfte in de daaropvolgende jaren (Clancy et al., 2002). De verlaging was significant in alle seizoenen, maar meest uitgesproken in de winter. De verlaging was het grootst bij de groep van mensen jonger dan 60, maar significant in alle leeftijdsgroepen. De relatieve reductie in respiratoire sterfte was het belangrijkste. Ook cardiovasculaire sterfte nam significant af. De afname kwam overeen met een gemiddelde reductie van 5,7% in totale sterfte, bij een afname in zwarte rook met 35,6 µg/m<sup>3</sup> gemiddeld over een periode van 6 jaar voor en na de ban op steenkool. Deze afname is groter dan de risico's op voortijdige sterfte van de korte termijn epidemiologische studies (van de orde van 0,6% per 10 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub>). Dit wijst erop dat de interventie ingrijpt op meer dan alleen de acute sterfte, maar ook op langere termijn een invloed heeft. De grootste winst wordt echter in de eerste jaren na de ban geboekt, erop duidend dat een beleidsingreep tot onmiddellijke resultaten kan leiden. In Hong Kong werden door een onmiddellijke verlaging van zwavel in brandstoffen vanaf 1 juli 1990 hoofdzakelijk de SO<sub>2</sub>-concentraties gereduceerd. Vermoedelijk werden ook ongemeten componenten zoals metalen gewijzigd door de aanpassing van de brandstoffen. Sulfaataerosolconcentraties verlaagden enkel het eerste jaar, maar waren gemiddeld gezien over de periode na de interventie niet lager dan ervoor. Dit wordt verklaard door aangevoerde vervuiling vanuit China. Hetzelfde geldt voor PM<sub>10</sub>. Toch is een opmerkelijk effect op sterfte waar te nemen, nl. een nagenoeg totale eliminatie van de winterpieksterfte in het daaropvolgende jaar (Hedley et al., 2002). Wintersterfte 'herstelt' zich echter in de daaropvolgende jaren tot eenzelfde peil als voor de reductie, volgens de auteurs omwille van het feit dat de gevoelige groep door dit wegvallen sterfte heeft uitgesteld. Maar tegelijk is er een duurzame reductie van de gemiddelde sterfte. De auteurs besluiten dan ook dat de levensverwachting verhoogd werd door de volgehouden reductie in pollutie. Tot slot is er nog de serie observationele studies van Pope en collega's in Utah Valley naar aanleiding van de aanwezigheid en de tijdelijke sluiting door staking van een staalfabriek. Hieruit leidde men af dat de industriële luchtverontreiniging door PM<sub>10</sub> en zware metalen in PM<sub>10</sub> aanleiding geven tot een resem gezondheidsklachten, die ook omkeerbaar zijn indien de oorzaak van de pollutie wordt weggenomen (Pope, 1996).

## 8 Relatie aerosolen met klimaatverandering

Aerosolen leiden tot een verminderde transparantie van de atmosfeer en dus tot een verminderde effectieve intensiteit van het zonlicht. Dit effect wordt ook wel 'global dimming' genoemd, en zorgt voor een afzwakking of maskering van de 'global warming' of opwarming van de aarde (klimaatverandering). 'Global dimming' of 'solar dimming' is de vermindering van de hoeveelheid zonlicht aan het aardoppervlak. Deze is in het noordelijk halfrond met 1 tot 2 % per decennium afgenomen sinds de jaren 50 tot de jaren 80. Aerosolen beïnvloeden

de stralingsbalans van de aarde op twee wijzen: (i) door het directe verstrooien en absorberen van straling en (ii) door het indirecte effect op de hoeveelheid bewolking.

- Roetdeeltjes en woestijnzand absorberen zonnestraling en verminderen daarmee het zonlicht aan het aardoppervlak en de reflectie naar de ruimte. Roetdeeltjes zorgen dus net broeikasgassen voor een opwarming van de aarde. Daarnaast koelen reflecterende aerosolen, zoals sulfaathoudende deeltjes, het klimaat. Aerosolen hebben zo een netto afkoelend effect.
- Bij aanwezigheid van aerosolen, zal in wolken dezelfde hoeveelheid water verdeeld worden over meer en kleinere druppeltjes. De wolken worden witter en weerkaatsen hierdoor meer zonlicht. Bovendien blijven deze kleinere druppeltjes langer in de atmosfeer. Beide indirecte effecten verminderen de hoeveelheid zonlicht en werken een afkoeling in de hand. Roetdeeltjes in de atmosfeer temperen in sommige gebieden het ontstaan van wolken en kunnen bovendien het gedeeltelijk oplossen van bewolking door lokale verwarming bewerkstelligen.

Over de grootte van het effect bestaat nog veel onzekerheid (KNMI, 2005).

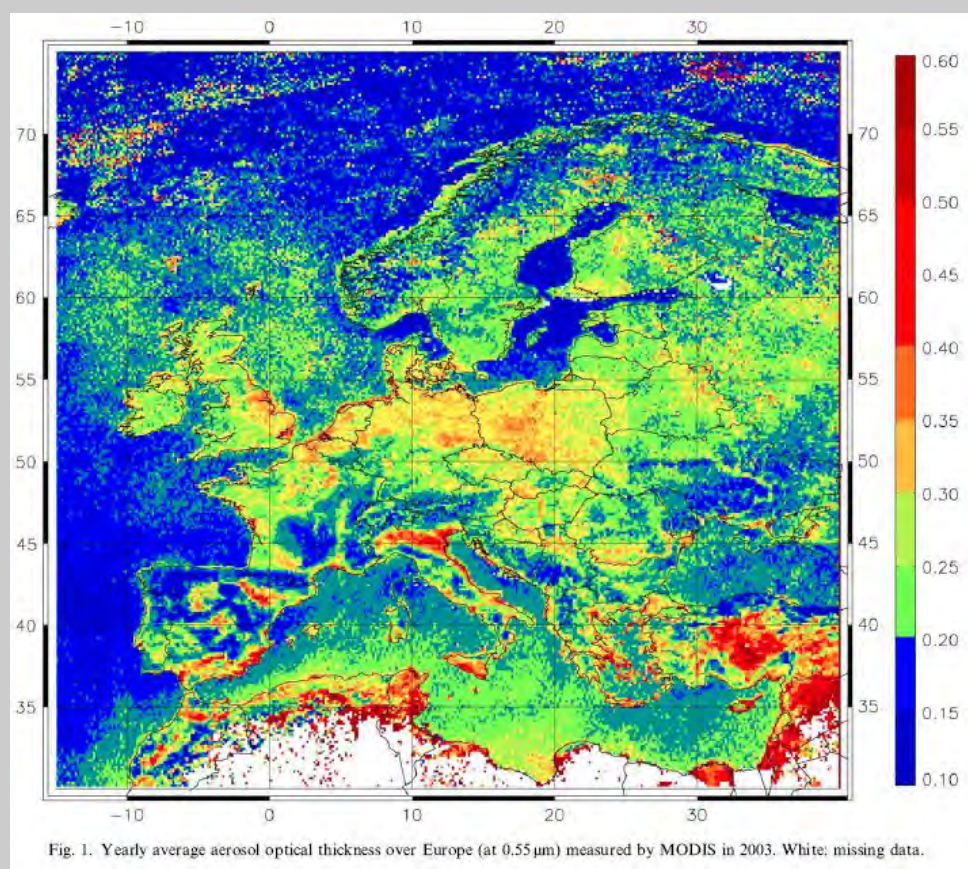
De meeste aerosolen van antropogene oorsprong bevinden zich in de lagere troposfeer (op een hoogte kleiner dan 2 km). Vooral in wolken kunnen ze fysische en chemische transitie ondergaan, en ze verdwijnen uit de atmosfeer door neerslagvorming. In de lagere troposfeer hebben aerosolen een gemiddelde levensduur van enkele dagen en ze bevinden zich dan ook dicht bij het brongebied. In de stratosfeer daarentegen, het gebied waar de natuurlijke vulkanische aerosolen voorkomen, hebben de deeltjes een levensduur van maanden of jaren en kunnen ze zich dus homogeen over het aardoppervlak verspreiden. De radiatieve eigenschappen van aerosolen hangen af van vorm, grootte en chemische samenstelling van de individuele deeltjes en van de ruimtelijke verdeling binnen de aerosolenpluim.

De tegenstelling tussen de reductiedoelstellingen voor zwevend stof en het matigend klimaateffect van sulfaten (één van de stofprecursoren) en andere aerosolen is pas sinds kort duidelijker geworden. Sinds de jaren negentig neemt de hoeveelheid zonlicht die de aarde bereikt weer toe, vooral in Europa. Men neemt aan dat dit een rechtstreeks gevolg is van de verbeterde luchtkwaliteit, voornamelijk de afname van sulfaten en zwarte rook (Wild et al., 2005). Alhoewel de kennis hierover nog zeer beperkt is, kan dit leiden tot een verplichte afweging op korte termijn tussen enerzijds risico's voor de volksgezondheid binnen één generatie en anderzijds risico's van klimaatverandering voor toekomstige generaties. Daarbij aansluitend zou zich in de transportsector een keuzeprobleem kunnen stellen omdat een promotie van dieselbrandstof leidt tot vermindering van CO<sub>2</sub>-emissies, maar ook tot een verhoging van de emissies van deeltjes. Bij nieuwe dieselloertuigen met een lage deeltjesuitstoot en een laag verbruik stelt zich dit probleem niet meer. Zodra onderzoek heeft uitgemaakt welke fracties van zwevend stof het meest schadelijk zijn, kan een gericht beleid gevoerd worden. Het is in de huidige context van belang om maatregelen voor kortetermijn luchtverontreiniging te koppelen aan een evaluatie van het klimaat op langere tijd. De koppeling tussen disciplines en modellen is hierbij noodzakelijk.

### **Teledetectie: toepassing van directe verstrooiing.**

Bij teledetectie maakt men gebruik van de directe verstrooiing van het zonlicht door de fijnstofdeeltjes in de atmosfeer. Een satellietsonde observeert vanuit de ruimte de door oceaan-atmosfeer-aarde gereflecteerde zonnestralen. De zo gemeten optische parameters kunnen geassocieerd worden met PM<sub>10</sub>- en PM<sub>2,5</sub>-concentraties. Figuur 13 toont de AOT (aerosol optical thickness) van Europa en het middellandszeegebied voor het jaar 2003.

Figuur 13: Aerosol Optical Thickness (2003) gemeten met de MODIS instrument (EOS-Terra satelliet)



Bron: Koelemeijer et al., 2006

## 9 Gebouwenvervuiling

Ze zijn ook andere negatieve effecten van zwevend stof bv. de vervuiling van gebouwen (in dit geval vnl. roet). Deze vervuiling leidt tot versnelde reiniging of onderhoud van gebouwen in kalksteen, gele baksteen ... en van geverfde oppervlaktes. Vervuiling leidt ook tot een esthetische schade, die ook al optreedt zonder dat er tot reiniging wordt besloten. Deze vervuiling leidt ook tot een versnelde verwerking van het gebouw door de katalyserende werking van de roetdeeltjes. Het is evenwel moeilijk om de schade aan gebouwen als gevolg van verzuring en vervuiling door stof op te tellen. Ten eerste is er een interactie tussen beide fenomenen. Ten tweede is er een probleem van potentiële dubbeltelling omdat de economische analyse gebaseerd op versneld onderhoud, waartoe beslist wordt omdat ofwel corrosie ofwel vervuiling dit noodzakelijk maakt. Afhankelijk van de gekozen onderhoudsstrategie (bv. herschilderen versus reinigen) leidt dit tot verschillende effecten voor corrosie en vervuiling. Een bijkomend probleem m.b.t. de kwantificering van de schade aan gebouwen is het gebrek aan informatie over de blootgestelde oppervlaktes voor de verschillende materialen. De schade aan gebouwen blijkt relatief klein, maar is nog onvolledig verrekend. Een gedetailleerde studie in Antwerpen Centrum voor de schade van roetafzetting op natuursteen becijferde een totale milieuschadeprijs van minder dan 100 000 euro per jaar. De bereidheid tot betalen om aangetaste gebouwen te renoveren ligt volgens dezelfde studie hoger (Bal et al., 2002). In hoeverre deze bereidheid tot betalen gerelateerd kan worden aan enkel roetafzetting is onduidelijk.

Naar waardering toe is de voornaamste beperking van de berekende waarden dat er geen rekening is gehouden met de esthetische effecten of verlies aan cultureel patrimonium. Uit gevalstudies blijkt dat deze kosten van dezelfde grootte-orde zijn als de herstellkosten.

## Referenties

- Bal K., Derdale B., Geerts T., Suykerbuyk A., Michiels N., Verhaegen W. (2002) Bepaling van de milieuschadetekosten aan historische gebouwen in Antwerpen door SO<sub>2</sub> en roetpollutie.
- Brunekreef B. (1997). Air pollution and life expectancy: is there a relation?, *Occupational and Environmental Medicine*; 54, 781-784.
- Brunekreef B., Forsberg B. (2005) Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health, *Eur Respir J*, 26, 309-18.
- Brunekreef B., Holgate S. (2003) Air pollution and health, *The Lancet*; 360 (202), 1233-1242.
- Brunekreef et al. (1997) Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways, *Epidemiology*, 8(3), 298-303.
- CAFE Working Group on Particulate Matter (2004). Second Position Paper on Particulate Matter.
- Clancy L, Goodman P, Sinclair H, Dockerey W. (2002) Effect of air pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. *Lancet*, 360, 1210-1214.
- Deutsch F., Lefebvre F., Vankerkom J., Adriaensen S. & Mensink C. (2004) Modellerings van fijn stof; VITO, eindrapport 2004/IMS/R/205, studie uitgevoerd in opdracht van MIRA, Vlaamse Milieumaatschappij, Aalst, ([www.milieurapport.be](http://www.milieurapport.be)).
- Dockery D. W., Pope C.A., Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G., Speizer F.E. (1993) An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *N. Engl J Med*, 329(24), 1753-1759.
- Dockery D.W., Cunningham J., Damokosh A.I., Neas L.M., Spengler J.D., Koutrakis P., Ware J.H., Raizenne M., Speizer F.E. (1996) Health effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms. *Environ Health Perspect*, 104, 500-505.
- Dockery, D.W., Pope C.A. III (1994) Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annu Rev Public Health*, 15, 107-132.
- Donaldson K. & Stone V. (2003) Current hypotheses on the mechanisms of toxicity of ultrafine particles, *Ann Ist Super Sanita*; 39(3): 405-10.
- EEA (2004) Air pollution and climate change policies in Europe: exploring linkages and the added value of an integrated approach, Technical report No 5/2004.
- EMA (2005) Air Pollution at street level in European cities, Europees Milieu Agentschap.
- EU (1994) Richtlijn 1994/66/EG van de Raad van 15 december 1994 tot wijziging van Richtlijn 88/609/EEG inzake beperking van de emissies van bepaalde verontreinigende stoffen in de lucht door grote stookinstallaties, *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, L 337.
- EU (1996) Richtlijn 1996/61/EG van de Raad van 24 september 1996 inzake geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging, *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, L 257.
- EU (1998a) Richtlijn 1998/69/EG van het Europees Parlement en de Raad van 13 oktober 1998 met betrekking tot maatregelen tegen luchtverontreiniging door emissies van motorvoertuigen en tot wijziging van Richtlijn 70/220/EEG van de Raad, *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, L350.
- EU (1998b) Richtlijn 1998/70/EG van het Europees Parlement en de Raad van 13 oktober 1998 betreffende de kwaliteit van benzine en van dieselbrandstof en tot wijziging van Richtlijn 93/12/EEG van de Raad, *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, L350.
- EU (1999) Richtlijn 1999/30/EG van de Raad van 22 april 1999 betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht, *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, L163/41.
- EU (2001) Richtlijn 2001/80/EG van de Raad van van 23 oktober 2001 inzake de beperking van de emissies van bepaalde verontreinigende stoffen in de lucht door grote stookinstallaties, *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, L 309/1.
- EU (2001) Richtlijn 2001/81/EG van de Raad van 23 oktober 2001 inzake nationale emissieplafonds voor bepaalde luchtverontreinigende stoffen, *Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen*, L 309/22.
- EU (2006) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on ambient air quality an cleaner air for Europe.

European Commission (1995 en 1999) DGXII: ExternE, Externalities of Energy Vol 1-8, EC, 1995 and EC, 1999.

Fierens F. (2006) Berekening van NO<sub>2</sub> achtergrondconcentraties in België met het beEUROS-model (15x15 km resolutie), VMM - IRCEL.

Filleul L., Rondeau V., Vandentorren S., Le Moual N., Cantagrel A., Annesi-Maesano I., Charpin D., Declercq C., Neukirch F., Paris C., Vervloet D., Brochard P., Tessier J.F., Kauffmann F., and Baldi I. (2005) Twenty five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *Occ. Environ. Med.*, 62, 453-60.

Hedley AJ, Wong C-M, Thach TQ, Ma S, Lam T-H, Anderson HR. (2002). Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet*, 360, 1646-52.

Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P. and van den Brandt. P.A. (2002) Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet* 360, 1203-1209.

Interreg II Aerosol (1998-2001) particules atmospherique polluantes sur le littoral Franco-Flamand de la Mer du Nord: Leur Transport transfrontalier et leur impact sur l'environnement., [http://mren.univ-littoral.fr/Versionfrancaise/INTERREGFLANDRE/html/page00/le\\_projet\\_interreg\\_ii\\_aerosol.htm](http://mren.univ-littoral.fr/Versionfrancaise/INTERREGFLANDRE/html/page00/le_projet_interreg_ii_aerosol.htm).

IPCC (1997) The Regional Impacts of Climate Change, An assessment of vulnerability, Cambridge University Press.

Jerrett M., Burnett R.T., Ma R., Pope C.A. III., Krewski D., Newbold K.B., Thurston G., Shi Y., Finkelstein N., Calle E.E. and Thun M. (2005). Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology*, 16(6), 727-736.

Koelemeijer R.B.A., C.D. Homan C.D. & Matthijsen J. (2006), Comparison of spatial and temporal variations of aerosol optical thickness and particulate matter over Europe *Atmospheric Environment* 40 (2006) 5304–5315.

Krewski D., Burnett R., Goldberg M.S., Hoover K., Siemiatycki J., Jerrett M., Abrahamowicz M., White W. en 22 anderen (2000) Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality. Health Effects Institute, July, 2000.

Macnee W. & Donaldson K. (1999) Particulate air pollution: injurious and protective mechanisms in the lungs, In: Holgate ST, Samet JM, Koren HS, Maynard RL (Ed.), *Air pollution and health*, San Diego: Academic Press, 653-72.

Nemmar A, Hoet PH, Vanquickenborne B, Dinsdale D, Thomeer M, Hoylaerts MF, Vanbilloen H, Mortelmans L, Nemery B. (2002) Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans, *Circulation*, 29, 411-4.

Pope C.A. III, Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D. (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *JAMA*, 287(9), 1132-1141.

Pope C.A. III, Thun M.J., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E., Heath C.W. Jr. (1995) Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults, *Am. J. Respir Crit Care Med*, 151, 669-674.

Pope CA III (1996). Particulate pollution and health: a review of the Utah valley experience. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 6(1), 23-34.

Pope CA III, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Godleski JJ. (2004) Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*, 109(1), 71-7.

RIVM (2001a) Milieubalans 2001. Het Nederlandse milieu verklaard, Bilthoven - Nederland, (<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/251701053.pdf>).

RIVM (2001b) Composition and Origin of Airborne Particulate Matter in the Netherlands. H. Visser et al., augustus 2001.

Roemer W, Hoek G, Brunekreef B (1993). Effect of ambient winter air pollution on respiratory health of children with chronic respiratory symptoms., *Am Rev Respir Dis*, 147, 118-124.

Teewisse S. & Vanhove F. (2004) Immissieproblematiek ten gevolge van verkeer: knelpunten en maatregelen. TNO rapport in opdracht van AMINAL, R 2004/393.

Teeuwisse S., Vanhove F. & Fierens F. (2006) Ontwikkeling van een model ter bepaling van de verkeersimpact op de luchtkwaliteit in straten, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Overheid Departement Leefmilieu, Natuur en Energie Afdeling Lucht, Hinder, Milieu & Gezondheid – Dienst Lucht, Brussel.

Torfs R. et al. (2006) Onderzoek en inventarisatie van diffuse bronnen van fijn stof en de daarop aanwezige micro-polluenten, Voorstellen voor reductiemaatregelen, VITO eindrapport 2006/IMS/R/139, studie in opdracht van AMINAL.

Torfs R., Schoeters G., Hoet P. (2004) Risico's van inhaleerbaar stof. Tijdschr. voor Geneeskunde, 60 (13), 915-926.

Torfs R., Hurley F., Miller B. and Rabl A. (2007) A set of concentration-response functions for health impact assessment and externalities assessment. Final report for the Integrated Project NEEDS (New Energy Externalities Development for Sustainability).

VMM (2010), Chemkar PM10 'hotspots': Chemische karakterisatie van fijn stof in Vlaanderen, 2008-2009.

WGO (2004) Health aspects of air pollution. Results from the WHO project "a systematic review of health aspects of air pollution in Europe". World Health Organisation, Regional Office for Europe, Copenhagen.

Wild M., Gilgen H., Roesch A., Ohmura A., Long CN., Dutto EG., Forgan B., Kallis A., Russak V., Tsetkov A. (2005) From dimming to brightening: decadal changes in solar radiation at earth's surface. Science, 308, 847-850.

Winiwarter W. (2006) Emissions of primary biological particles (PBAB's) in Europe – quantitative estimates based on atmospheric measurements. workshop on 'Contribution of natural sources to PM levels in Europe, JRC Ispra.

## Begrippen

**Aerodynamische diameter:** de aerodynamische diameter van een stofdeeltje is gelijk aan de diameter van een bolvormig deeltje, met een soortelijke massa van  $1 \text{ g/cm}^3$  dat in de omgevingslucht hetzelfde gedrag vertoont als dat stofdeeltje.

**Aerosol:** gas met daarin fijne vaste stofdeeltjes en/of vloeistofdruppels.

**Biogeen aerosol:** aerosol van biologische oorsprong. Concreet gaat het over virussen, bacteriën, endotoxines, (delen van) pollen en (schimmel)sporen.

**Blootstelling:** mate waarin de mens of het ecosysteem in contact komt met verontreiniging of verontreinigende stoffen opneemt.

**Diffuse verontreiniging:** verontreiniging afkomstig uit niet-gelocaliseerde bronnen, meestal sterk, homogeen ruimtelijk verspreid door transport via lucht en water.

**Emissie:** uitstoot of lozing van stoffen, golven of andere verschijnselen door bronnen, meestal uitgedrukt als een hoeveelheid per tijdseenheid.

**Euro x:** term die ontstaan is begin de jaren '90 om aan te geven om welke milieugerelateerde voertuigengeneratie het gaat. Een Euro 3 voertuig is recenter dan een Euro 1 en voldoet aan strengere Europese emissielimieten.

**Externe kosten:** schadekosten verbonden aan negatieve neveneffecten van maatschappelijke activiteiten. Deze worden meestal niet (volledig) via het prijsmechanisme in rekening gebracht en bijgevolg afgewenteld op de maatschappij, andere landen of toekomstige generaties.

**Grenswaarde:** waarde die wettelijk niet overschreden mag worden. Een overschrijding van deze waarde moet aanleiding geven tot het treffen van maatregelen.

**Milieuschadepost:** externe milieukost; schadepost ten gevolge van ongewenste neveneffecten van maatschappelijke activiteiten op het milieu.

**NEM-richtlijn:** Europese Richtlijn Nationale Emissiemaxima (2001, 2001/81/EG) met als doel de luchtmissies van verzurende, vermestende en ozonvormende stoffen te beperken. In die richtlijn worden aan de EU-15 lidstaten maximale emissieplafonds opgelegd voor de 4 gasvormige polluenten  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , NMVOS en  $\text{NH}_3$ . Die zijn strenger dan de emissiemaxima van het Göteborg-protocol.

**Niet-accidentele sterfte:** de verzamelnaam voor alle sterftegevallen, uitgezonderd ongelukken, zelfmoorden en moorden.

Percentiel: rangorde die een meetwaarde inneemt wanneer alle meetwaarden geklasseerd zijn volgens grootte van klein naar groot bv. de 98-percentiel duidt aan dat 98 % van alle meetwaarden kleiner zijn dan of gelijk aan deze waarde. De 50-percentiel is gelijk aan de mediaanwaarde.

PM<sub>10</sub>: fractie van de stofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 µm.

PM<sub>10-2,5</sub>: fractie van de stofdeeltjes met een aerodynamische diameter tussen 2,5 en 10 µm.

PM<sub>2,5</sub>: fractie van de stofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 µm.

Primair stof: stof dat rechtstreeks uitgestoten wordt in de atmosfeer door verschillende bronnen.

Protocol van Göteborg (1999): 8e protocol van de UNECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP), waarin voor de bestrijding van verzuring, vermisting en troposferische ozonreducties tegen 2010 vastgelegd werden van de nationale emissies van SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en NMVOS.

Richtlijn (Europese): besluit dat bindend is voor de lidstaten wat betreft een in de richtlijn uitgedrukt te bereiken resultaat. De lidstaten zijn vrij de vorm en middelen te bepalen nodig om aan de richtlijn te voldoen. Bij niet naleving kan de Commissie een procedure inzetten krachtens art. 226 (ex. art. 169).

Rookgas: uitstoot van gassen en stof na verbranding.

Secundair stof: zwevend stof dat ontstaat in de atmosfeer door chemische reacties uit gasvormige componenten.

Stofprecursor: emissie die bijdraagt aan de vorming van stof in de lucht. Dit is enerzijds primair stof en anderzijds zijn dit gassen die bijdragen tot de vorming van secundair stof.

Verloren gezonde levensjaren (DALY's): aantal gezonde levensjaren die een populatie verliest door ziekte. Het is de optelsom van de jaren verloren door sterfte aan de betreffende ziekte (verloren levensjaar) en de jaren geleefd met de ziekte, rekening houdend met de ernst ervan (ziektejaarequivalenten).

Zwarte rook: fijn verdeeld zwart stof waarvan de deeltjes voldoende kleine afmetingen hebben om zich in suspensie in de lucht te bevinden. Ze zijn voornamelijk samengesteld uit verbrandingsresten.

## Afkortingen

ACS: American Cancer Society

a.d.: aerodynamische diameter

BS: black smoke of zwarte rook

CAFE: clean air for Europe

COPD: chronic obstructive pulmonary disease, of chronisch aspecifieke respiratoire aandoeningen (CARA)

DALY: disability adjusted life year

EEA: European Environment Agency

EC: Europese Commissie

EiL: emissie-inventaris Lucht

EU: Europese Unie

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

IPPC: Integrated Pollution Prevention and Control

KTD: kortetermijndoelstelling

LRTAP: long range transboundary air pollution

LTD: langetermijndoelstelling

MLTD: middellangetermijndoelstelling

NEM: nationale emissie maxima

PAK: polycyclische aromatische koolwaterstoffen

PM: Particulate matter

PM<sub>10</sub>: stofdeeltjes met a.d. kleiner dan 10 µm

PM<sub>2,5</sub>: stofdeeltjes met a.d. kleiner dan 2,5 µm

P<sub>50</sub>: 50ste percentiel

P<sub>98</sub>: 98ste percentiel

UN-ECE: united nations economic commission for Europe

VLAREM: Vlaams Reglement Milieuvergunningen

VITO: Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek

VMM: Vlaamse Milieumaatschappij

VS: Verenigde Staten

WGO: Wereldgezondheidsorganisatie

## **Eenheden**

g: gram

Nm<sup>3</sup>: norm kubiek meter (kubieke meter onder standaardvoorwaarden van druk)

m: meter