

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU  
BILTHOVEN

Rapport nr. 650010 006

**Fijn stof in Nederland**  
**Een tussenbalans**

H.J.Th. Bloemen, L. van Bree, E. Buringh,  
P.H. Fischer, S. de Loos, M. Marra, P.J.A. Rombout

**Aug. 1998**

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijk Ordening en Milieubeheer in het kader van het project Luchtverontreiniging en Gezondheid, projectnummer 650010.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,  
telefoon: 030 - 274 91 11, fax: 030 - 274 29 71

**VERZENDLIJST**

- 1-3 Plv. Directeur Generaal, Directoraat Generaal Milieubeheer, Ministerie van VROM
- 4 Directeur Lucht en Energie, DGM, VROM
- 5 Drs M. Allessie, DLE, DGM
- 6 Ir A.P.M. Blom, DLE, DGM
- 7 Dr K. Krijgsheld, DLE, DGM
- 8 Ir J.A. Herremans, DLE, DGM
- 9 Dr C. van den Boogaard, HIM, VROM
- 10 J.J.L. Pieters, arts, HIGB, Ministerie van VWS
- 11 Drs. R.C.J. Smit, Ministerie van Verkeer en Waterstaat
- 12-13 Gezondheidsraad, Den Haag, Dr. W.F. Passchier (secretaris) en Drs. E.J. Schooten (secretaris commissie 'Gezondheidseffecten door luchtverontreiniging')
- 14 Commissie Onderzoek Luchtverontreiniging, secretaris Dr. J. van Ham
- 15 Dr R. van Aalst, EEA, ETC-AQ, Bilthoven
- 16 Dr F.X.R. van Leeuwen, WHO-ECEH, Bilthoven
- 17 Prof. dr R. van Grieken, MITAC, Universiteit van Antwerpen (B)
- 18 Dr. J. Pauwels, VITO, Mol (B)
- 19 Dr J.H. van Wijnen, GG&GD, Amsterdam
- 20 Dr B.G. Arends, Provincie Zuid Holland, Den Haag
- 21 Ir A. Wybenga, Provincie Zuid Holland, Den Haag
- 22 R. van de Werff, Provincie Zuid Holland, Den Haag
- 23 Prof. dr P. Sterk, Academisch Ziekenhuis Leiden
- 24 Dr H.M. ten Brink, ECN, Petten
- 25 Dr F. Römer, KEMA, Arnhem
- 26 Dr R. Bos, KU Nijmegen
- 27 Dr ir P. Scheepers, KU Nijmegen
- 28 Prof. dr ir B. Brunekreef, LU Wageningen
- 29 Dr ir H. Harssema, LU Wageningen
- 30 Dr ir G. Hoek, LU Wageningen
- 31 Ir S. van der Zee, LU Wageningen
- 32 Prof. Dr D. Postma, RU Groningen
- 33 Dr B. Rijcken, RU Groningen
- 34 Drs J.P. Schouten, RU Groningen
- 35 Dr J. Marijnissen, TU Delft
- 36 Dr H.P. Baars, TNO-MEP, Apeldoorn
- 37 Dr J. Berdowski, TNO-MEP, Apeldoorn
- 38 Prof. dr P. Bultjes, TNO-MEP, Apeldoorn
- 39 Drs L. van Deelen, TNO-MEP, Apeldoorn
- 40 Dr D. van den Hout, TNO-MEP, Apeldoorn
- 41 Dr M. Keuken, TNO-MEP, Apeldoorn
- 42 Ir. J. Arts, TNO-Voeding, Zeist
- 43 Astmafonds, Leusden, secretaris Wetenschappelijk onderzoek, M.M. Dirksen
- 44 NWO, werkgemeenschap "Milieu en Gezondheid", secretaris Dr. L. van Bree

- 45 Depot voor Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie  
46 Directie Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu  
47 Hoofd Voorlichting en Public Relations RIVM  
48 Prof. dr ir D. Kromhout, Sector Volksgezondheidsonderzoek  
49 Ir A. Dusseldorp, CCM  
50 Ir H. Kruize, CCM  
51 Drs A.E.M. de Hollander, CCM  
52 Ir D.J.M. Houthuys, CCM  
53 Dr ir J. Seidell, CCM  
54 Dr ir G. de Mik, Sector Stoffen en Risico's  
55 Dr W.H. Könemann, CSR  
56 Dr Ir E. Lebret, LBO  
57 Dr J.I. Freijer, LBO  
58 A.J.F. Boere, LEO  
59 Dr F.R. Cassee, LEO  
60 Dr ir E.H.J.M. Jansen, LEO  
61 Dr C.F. van Kreyll, LEO  
62 Dr A. Opperhuizen, LEO  
63 Dr M.J.M. Pruppers, LSO  
64 Ir F. Langeweg, Sector Milieuonderzoek  
65 Drs L.H.M. Kohsiek, Sector Milieuonderzoek  
66 Drs E.M. Paardekooper, LAE  
67 Drs J.P.M. Ros, LAE  
68 Ir W.L.M. Smeets, LAE  
69 Dr R. Thomas, LAE  
70 Ir L.G. Wesselink, LAE  
71 Ir H.S.M.A. Diederens, LLO  
72 Drs H.C. Eerens, LLO  
73 Drs P.R. den Hartog, LLO  
74 Dr L.H.J.M. Janssen, LLO  
75 Dr ir D. van Lith, LLO  
76 Dr A. van der Meulen, LLO  
77 Dr D. Onderlinden, LLO  
78 P. Swaan, LLO  
79 Drs K. van Velze, LLO  
80 Drs R.J.M. Maas, MNV  
81 Bibliotheek RIVM  
82 Bureau Rapportenregistratie RIVM  
83-103 Bureau Rapportenbeheer RIVM  
104-112 Auteurs  
113-150 Reserve-exemplaren

**INHOUD**

<b>Samenvatting</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>8</b>
<b>2. Fenomenologie van fijn stof</b>	<b>12</b>
2.1 <i>Inleiding</i>	12
2.1.1. Definitie fijn stof-fracties	12
2.1.2. Ruimte- en tijdschaal	13
2.2. <i>Observaties in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit</i>	14
2.2.1. Jaargemiddelden	14
2.3. <i>Relatie bronnen - luchtkwaliteit</i>	16
2.3.1. Broncategorie benadering	16
2.3.2. Modelberekeningen van fijn stof-parameters	17
2.3.3. Validatie van de model resultaten	23
2.4. <i>Samenvatting</i>	24
<b>3. Gezondheidsrisico van fijn stof</b>	<b>25</b>
3.1. <i>Inleiding</i>	25
3.2. <i>Epidemiologisch onderzoek</i>	26
3.2.1. Associaties met fijn stof	26
3.2.2. De rol van verkeer	27
3.3. <i>Toxicologisch onderzoek</i>	27
3.3.1. Plausibele werkingsmechanismen voor ernstige effecten	27
3.3.2. Belang van verschillende fijn stof-fracties en -componenten	28
3.4. <i>Gezondheidseffecten in Nederland geassocieerd met PM<sub>10</sub></i>	29
3.5. <i>Samenvatting</i>	30
<b>4. Prognoses voor fijn stof</b>	<b>32</b>
4.1. <i>Inleiding</i>	32
4.2. <i>Ontwikkeling fijn stof-concentraties in de tijd</i>	32
4.3. <i>Bijdrage van verkeer aan de fijn stof-concentraties</i>	34
4.4. <i>Bijdrage van de doelgroep industrie en energieopwekking</i>	37
4.5. <i>Reductiedoelstelling doelgroepen</i>	39

---

4.6. <i>Samenvatting</i>	39
<b>5. Conclusies</b>	<b>40</b>
5.1. <i>Fenomenologie van fijn stof</i>	40
5.2. <i>Gezondheidsrisico's van fijn stof</i>	41
5.3. <i>Prognoses voor fijn stof</i>	42
5.4. <i>Algemene conclusies</i>	42
<b>6. Referenties</b>	<b>44</b>
<b>7. Bijlagen</b>	<b>48</b>
A. Emissie-gegevens	48
B. CPB Scenario's	49

## SAMENVATTING

Dit rapport is een tussenbalans van de werkzaamheden uitgevoerd binnen het RIVM-project "luchtverontreiniging en gezondheid". De fijnstofproblematiek in Nederland wordt beschreven door het analyseren van de relaties tussen bronnen en concentraties in drie ruimtelijk onderscheiden gebieden - ruraal, urbaan en industrieel - van vier fijnstofparameters in 1993. De deeltjes zijn gekarakteriseerd naar grootte ( $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$ ) of chemische samenstelling (secundair aerosol,  $PM_{sec}$ , en koolstofhoudend aerosol,  $PM_{carb}$ ). Tevens is een kwantitatieve schatting gemaakt van het gezondheidsrisico in de Nederlandse bevolking geassocieerd met de heersende  $PM_{10}$ -concentraties. Verder worden de invloed van bestaand milieubeleid en van aanvullende milieumaatregelen op de ontwikkelingen van de concentraties ten opzichte van het referentiejaar 1993 van de vier fijn stof-parameters tot het jaar 2020 geëvalueerd.

De jaargemiddelde  $PM_{10}$ -concentratie in Nederland bedraagt ca.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Van zuid naar noord wordt een afnemende gradiënt waargenomen met iets hogere concentraties in de stedelijke gebieden. In de winter is de concentratie hoger dan in de zomer. De jaargemiddelde  $PM_{sec}$ -concentratie bedraagt ca.  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Metingen van de  $PM_{2,5}$ - en  $PM_{carb}$ -concentraties zijn niet beschikbaar. Met de in deze evaluatie toegepaste methode wordt op grond van de beschikbare emissiegegevens ca. 50, 60 en 75% van de gemeten  $PM_{10}$ -concentraties verklaard voor respectievelijk het rurale, urbane en industriële gebied. De gemodelleerde  $PM_{sec}$ -concentraties komen nagenoeg geheel overeen met de gemeten waarden. Belangrijke bronnen voor het verklaarde deel van  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , en  $PM_{sec}$  zijn verkeer en energie opwekking. Dit geldt voor zowel Nederland als Europa. Voor de  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$  concentraties in het industriële gebied is tevens de broncategorie "handel, diensten en overheid" van belang. De  $PM_{sec}$ -concentraties worden met name door Europese bronnen bepaald. De belangrijkste bron voor  $PM_{carb}$  is het Nederlandse weg- en scheepvaartverkeer.

De resultaten van epidemiologisch onderzoek duiden op het bestaan van consistente en coherente associaties tussen deeltjesvormige luchtverontreiniging en ernstige gezondheidseffecten in de algemene bevolking. In toxicologisch onderzoek zijn cardiovasculaire en respiratoire effecten waargenomen na kortdurende blootstelling aan deeltjes van 0,1 tot  $2,5 \mu\text{m}$  uit de buitenlucht, die tot ca.  $50\text{-}250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  waren geconcentreerd. Biologische werkingsmechanismen zijn gepostuleerd die een plausibele verklaring kunnen vormen voor de ernstige gezondheidseffecten, in het bijzonder bij personen met bestaande hart- of longaandoeningen. Het is nog onduidelijk welke van deze, of van tot nu toe onbekende mechanismen, een overheersende rol spelen bij het veroorzaken van de waargenomen effecten. De kennis van de gezondheidseffecten van fijn stof levert nog geen gedegen fundering voor een andere indicator dan  $PM_{10}$  voor het beschrijven van de ernst van de luchtverontreiniging.

Op basis van volume-ontwikkelingen zou in het zichtjaar 2020 een stijging van de  $PM_{10}$ -concentraties worden verwacht tot 41, 45 en  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in respectievelijk het rurale, urbane en industriële gebied. Echter, door de invloed van bestaand beleid wordt tot 2010 een daling van de  $PM_{10}$ -concentraties verwacht tot ca.  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Daarna lijken de concentraties niet verder af te nemen. Intensivering van het beleid ten aanzien van emissies door verkeer in Nederland - de zogenaamde aanvullende maatregelen - leidt tot een geringe verdere afname naar ca.  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2020. De berekeningen wijzen uit dat het bestaande beleid en de invoering van aanvullende maatregelen niet voldoende lijken te zijn om in Nederland maximale jaargemiddelde  $PM_{10}$ -concentraties van  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te realiseren.

## SUMMARY

This report reflects the interim state of affairs with respect to the risk assessment of air pollution from particulate matter (PM) carried out within the RIVM project "Air Pollution and Health". The issue of PM in the Netherlands was addressed by analysing the relations between sources and concentrations at three different spatial scales - rural, urban, and industrial - of four distinct PM parameters in 1993. Particulate matter was characterised according to particle size ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) or chemical composition (secondary aerosol,  $PM_{sec}$ , and carbonaceous aerosol,  $PM_{carb}$ ). The health risks in the Dutch population associated with the current  $PM_{10}$ -concentrations were quantitatively estimated. Furthermore, the impact of current policy and additional abatement measures on the time course of the concentrations of the four PM parameters were evaluated until the year 2020 compared to the reference year 1993.

Annual average  $PM_{10}$  concentrations in the Netherlands equal approximately  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . From south to north a decreasing gradient is observed, with somewhat elevated concentrations in urbanised areas. In wintertime the concentrations are higher than in summertime. The annual average  $PM_{sec}$  concentrations equal approximately  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Measurement data of  $PM_{2.5}$  or  $PM_{carb}$  concentrations were not available. Based on the available emission data the method applied in this evaluation predicted approximately 50, 60, and 75% of the measured  $PM_{10}$  concentrations in the rural, urban, and industrial area, respectively. Modelled  $PM_{sec}$  concentrations accorded well with the measurement data. Traffic and power generation in the Netherlands and in Europe were identified as major sources of the modelled  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , and  $PM_{sec}$  concentrations. With respect to the modelled  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  concentrations in the industrial area a significant contribution of the source category "trade, services, and state" was observed. Modelled  $PM_{sec}$  concentrations were mainly determined by European sources. The major source of  $PM_{carb}$  was road and waterway transportation in the Netherlands.

The results of epidemiologic studies show consistent and coherent associations between particulate air pollution and serious health effects in the general population. Toxicological research revealed cardiovascular and respiratory effects after short-term exposure to ambient particles of 0.1 to  $2.5 \mu\text{m}$  concentrated to approximately  $50\text{-}250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Biological mechanisms have been postulated, which might constitute a plausible explanation of the observed serious effects, especially among individuals with existing cardiac or pulmonary disorders. However, it remains unclear which of these or other unknown mechanisms predominantly give cause for the observed effects. The knowledge of health effects associated with PM does not provide a solid basis for an alternative for  $PM_{10}$  as an air quality indicator of the seriousness of the air pollution.

Based solely on expected trends in source number and strength, in the year 2020 the modelled  $PM_{10}$  concentrations would have increased to 41, 45, and  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in the rural, urban, and industrial area, respectively. Due to current Dutch and European abatement measures the  $PM_{10}$ -concentrations are expected to be reduced to approximately  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2010. Thereafter the  $PM_{10}$  concentrations appear not to decrease further. Additional policy measures with respect to traffic emissions in the Netherlands are expected to result in somewhat lower concentrations of approximately  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2020. Current policies and the introduction of additional abatement measures seem not to be sufficient for realising maximum annual average  $PM_{10}$  concentrations of  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in the Netherlands.

## 1. INLEIDING

Fijn stof is een algemene verzamelnaam voor stofvormige luchtverontreiniging en bestaat uit deeltjes van zodanige afmetingen dat ze ingeademd kunnen worden. Door de grote verscheidenheid in aard en samenstelling wordt fijn stof beschouwd als een "container" van een reeks van chemisch of fysisch te onderscheiden fracties. De concentraties fijn stof worden bepaald door emissies van deeltjes en gassen door uiteenlopende bronnen, atmosferisch transport en transformatie. Epidemiologische studies hebben consistente en coherente verbanden aangetoond tussen het optreden van gezondheidseffecten en de concentratie van deeltjesvormige luchtverontreiniging. In deze studies zijn ook associaties met de concentraties van een aantal luchtverontreinigende gassen waargenomen, met name ozon, stikstofdioxide, zwaveldioxide en koolmonoxide. De gezondheidseffecten kunnen veelal niet specifiek aan een van de componenten van het mengsel van luchtverontreinigende gassen en deeltjes worden toegeschreven. Vooralsnog wordt verondersteld dat blootstelling aan fijn stof tevens causaal geassocieerd is met gezondheidseffecten. Echter, het is nog niet duidelijk wat de biologische werkingsmechanismen zijn die de waargenomen effecten kunnen verklaren. Een aantal hypothesen voor een oorzakelijke relatie met blootstelling aan deeltjesvormige luchtverontreiniging is gepostuleerd en wordt wereldwijd onderzocht. De hypothese dat blootstelling aan het totale mengsel van gassen en deeltjes verantwoordelijk is voor de waargenomen gezondheidsrisico's wint terrein. Niettegenstaande het feit dat het "fijn stof-probleem" slechts voor een deel ontrafeld is, zijn de waargenomen gezondheidseffecten zodanig ernstig en is het aantal personen dat het betreft zodanig groot, dat het noodzakelijk is te onderzoeken op welke wijze de fijn stof-concentraties kunnen worden gereduceerd.

Ter onderbouwing van het milieubeleid voor fijn stof is het uit 1987 daterende "Criteriadocument Fijn Stof" (RIVM, 1987) in 1994 herzien. Dit heeft geresulteerd in het "Basisdocument Fijn Stof" (RIVM, 1994). Kort daarna heeft het RIVM een kwantitatieve schatting gemaakt van de gezondheidsrisico's voor de Nederlandse bevolking geassocieerd met concentraties van stof deeltjes met een diameter kleiner dan 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) (RIVM, 1995). Beide laatste rapporten zijn in de Gezondheidsraad besproken. Deze heeft daarover een advies uitgebracht, waarin wordt bevestigd dat bij de huidige  $\text{PM}_{10}$ -concentraties in Nederland ernstige gezondheidseffecten kunnen optreden (Gezondheidsraad, 1995). Tevens werd in dit advies gesteld dat de gegevens ontbreken om een niet-lineair verband tussen de  $\text{PM}_{10}$ -concentratie en de omvang van de gezondheidseffecten aan te nemen en dat er geen drempelwaarde kan worden aangegeven waaronder geen effecten zouden optreden. Daardoor bepaalt de gemiddelde  $\text{PM}_{10}$ -concentratie het grootste deel van de totale omvang van deze effecten en niet zozeer het optreden van episoden met verhoogde fijn stof-concentraties. Ook de Wereld Gezondheids Organisatie gaat in de herziening van de "Air Quality Guidelines for Europe" (WHO, 1987) zeer waarschijnlijk uit van een lineair verband en van de aanname dat geen concentratie is aan te geven, waaronder gezondheidseffecten van deeltjesvormige luchtverontreiniging niet meer op zullen treden.



Het beschikbaar komen van informatie dat ook bij de huidige relatief lage concentraties van fijn stof ernstige gezondheidseffecten worden waargenomen heeft ertoe geleid dat dit milieu-gezondheidsprobleem internationaal sterk in de belangstelling staat. In de Verenigde Staten wordt momenteel de normstelling met betrekking tot fijn stof herzien. Door de Engelse regering is zeer recent een nieuwe grenswaarde voor fijn stof vastgesteld (HMSO, 1997). Ook door de Europese Unie wordt, als dochterrichtlijn van de "Kaderrichtlijn Luchtkwaliteit", een nieuwe grenswaarde voor fijn stof voorbereid. Door de Nederlandse regering is fijn stof opgenomen in het kernprogramma prioritaire stoffen, omdat de huidige fijn stof-concentraties in Nederland aanleiding zouden kunnen geven tot gezondheidseffecten in de bevolking.

Op grond van de omvang en ernst van de gezondheidseffecten die geassocieerd zijn met de heersende concentraties van fijn stof in Nederland (RIVM, 1995), heeft het Ministerie van VROM het RIVM opdracht gegeven onderzoek uit te voeren ter onderbouwing van het beleid gericht op de vermindering van het gezondheidsrisico. Naast de activiteiten in dit project heeft VROM aan een aantal onderzoeksinstituten specifiek epidemiologisch en toxicologisch onderzoek opgedragen wat in samenwerking met en begeleid door het RIVM wordt uitgevoerd. De Landbouwniversiteit Wageningen (LUW) heeft in samenwerking met andere instituten, waaronder het RIVM, epidemiologisch onderzoek verricht naar het verband tussen blootstelling aan luchtverontreiniging in het winterhalfjaar en het voorkomen van gezondheidseffecten. In december 1993 is hierover een interim rapport verschenen en in 1996 is de eindrapportage aan de opdrachtgever aangeboden (Van der Zee et al., 1993 en 1996). De GG&GD Amsterdam en de LUW hebben de verbanden tussen luchtverontreiniging en dagelijkse sterfte in Nederland onderzocht. De resultaten van dit onderzoek komen binnenkort beschikbaar. Daarnaast wordt door TNO, de Katholieke Universiteit Nijmegen en het Academisch Ziekenhuis Leiden toxicologisch onderzoek gedaan naar de effecten van afzonderlijke componenten van het fijn stof uit de buitenlucht.

Bij de opzet van het RIVM fijn stof-onderzoeksproject is uitgegaan van de volgende vooronderstellingen (De Loos et al., 1995):

- Fijn stof is een indicator van blootstelling van de bevolking aan het mengsel van verontreinigende deeltjes en gassen in de buitenlucht;
- Fijn stof is, ten minste voor een substantieel deel, geassocieerd met (de veroorzaker van) ernstige gezondheidseffecten;
- Verlaging van de concentraties van fijn stof resulteert per saldo in vermindering van het risico voor de volksgezondheid.

In dit rapport wordt uitgegaan van de juistheid van deze vooronderstelling. De validiteit ervan wordt momenteel nader onderzocht.

Voor het formuleren van een adequaat fijn stof-beleid is het nodig kwantitatieve relaties vast te stellen waarmee de relaties tussen emissies van broncategorieën in Nederland en Europa, de concentraties van fijn stof in de buitenlucht en de gezondheidseffecten kunnen worden beschreven. Hiermee kunnen de resultaten van beleidsmaatregelen gericht op de vermindering van de uitstoot van fijn stof, verzurende componenten, of emissies door verkeer worden berekend. Tevens kunnen de bijdragen van Nederlands en Europees beleid worden aangegeven. Omdat niet bekend is welke fractie(s) van fijn stof causaal gerelateerd is (zijn) met gezondheidseffecten, kan niet met zekerheid worden aangegeven in welke mate het

gezondheidsrisico vermindert bij een zekere verlaging van de fijn stof-concentraties. Maatregelen gericht op verlaging van de fijn stof-concentraties zouden immers kunnen leiden tot een zodanige verandering in de samenstelling van het fijn stof, dat het risico meer of minder dan proportioneel vermindert met de verlaging van de fijn stof-concentratie.

Gegeven de onzekerheden omtrent de causale fractie(s), de omvang van het potentiële gezondheidsrisico en de verwachte hoge kosten van bestrijding van fijn stof, is het noodzakelijk beleid te ontwikkelen dat in de toekomst niet drastisch hoeft te worden bijgesteld. Om aan deze noodzaak te voldoen is besloten de relatie tussen broncategorieën en concentraties van fijn stof te beschrijven voor een aantal parameters van fijn stof. Deze zijn zodanig gekozen dat zij een fractie van het fijn stof beschrijven op basis van deeltjesgrootte of chemische samenstelling. Tevens kunnen deze fracties in verband worden gebracht met een aantal belangrijke broncategorieën. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in de mate waarin maatregelen bijdragen aan de verlaging van de concentraties van de gekozen fijn stof-parameters afzonderlijk. Indien bij bepaalde maatregelen de relatieve afnames van de concentraties ongeveer even groot zijn, is de kans groot dat eveneens de causale fractie(s) evenredig afnemen. Van een dergelijk beleid zal men in de toekomst vermoedelijk geen spijt krijgen ("no-regret policy"). Echter wanneer maatregelen resulteren in een grote verandering in de samenstelling van fijn stof, zou dit beleid met voorzichtigheid dienen te worden ingezet zolang informatie over de relevantie van de afzonderlijke parameters voor het gezondheidsrisico ontbreekt.

Dit rapport beschrijft de huidige en in de toekomst te verwachten fijn stof-concentraties en de daarmee geassocieerde gezondheidseffecten in Nederland in relatie tot Nederlandse en Europese bronnen. Hiervoor zijn de volgende parameters van fijn stof - PM ("particulate matter") - beschouwd:

- $PM_{10}$  de fractie van het fijn stof die bestaat uit deeltjes kleiner dan ca. 10  $\mu\text{m}$ ;
- $PM_{2,5}$  de fractie die bestaat uit deeltjes kleiner dan ca. 2,5  $\mu\text{m}$ ;
- $PM_{\text{sec}}$  de fractie die bestaat uit ammonium-, sulfaat- en nitraatzouten, welke uit de gassen ammoniak, zwaveldioxide en stikstofoxiden gevormd worden door chemische reacties in de atmosfeer - het zogenaamde secundair aerosol;
- $PM_{\text{carb}}$  de fractie die bestaat uit koolstofhoudende deeltjes, die ontstaan bij onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen - het zogenaamde *carbonaceous* aerosol.

In hoofdstuk 2 wordt het voorkomen van fijn stof in Nederland beschreven aan de hand van meetgegevens. Onderscheid wordt gemaakt in drie ruimtelijke schalen: het rurale, het urbane en het industriële gebied. Op basis van Nederlandse en Europese emissies van gassen en deeltjes per broncategorie wordt met verspreidingsmodellen de antropogene bijdrage aan de heersende concentraties van fijn stof berekend voor de vier genoemde fijn stof-parameters. In hoofdstuk 3 wordt de stand van de wetenschap aangegeven ten aanzien van het risico voor de volksgezondheid geassocieerd met blootstelling aan fijn stof. De in 1995 gerapporteerde kwantitatieve schatting van het risico (RIVM, 1995) wordt geactualiseerd. De plausibiliteit van de waargenomen gezondheidseffecten, hypothesen voor het biologisch werkingsmechanisme alsmede de relevantie van de vier fijn stof-parameters worden besproken. In hoofdstuk 4

worden de resultaten gegeven van modelberekeningen van het verloop in de tijd - tot 2020 - van de 4 fijn stof-parameters in afhankelijkheid van maatregelen zoals geformuleerd voor bestaand bestrijdingsbeleid en voor aanvullende maatregelen. Hierbij zijn de aanames ten aanzien van toekomstige economische ontwikkelingen ontleend aan een drietal scenario's die zijn ontwikkeld door het Centraal Planbureau (CPB, 1996). De bijdragen van binnenlandse en Europese broncategorieën aan de fijn stof-concentraties in Nederland worden geanalyseerd. Gebaseerd op deze verwachtingen wordt een schatting gemaakt van de mogelijke veranderingen van het gezondheidsrisico in de komende decennia. In hoofdstuk 5 wordt een aantal conclusies besproken.

## 2. FENOMENOLOGIE VAN FIJN STOF

### 2.1 Inleiding

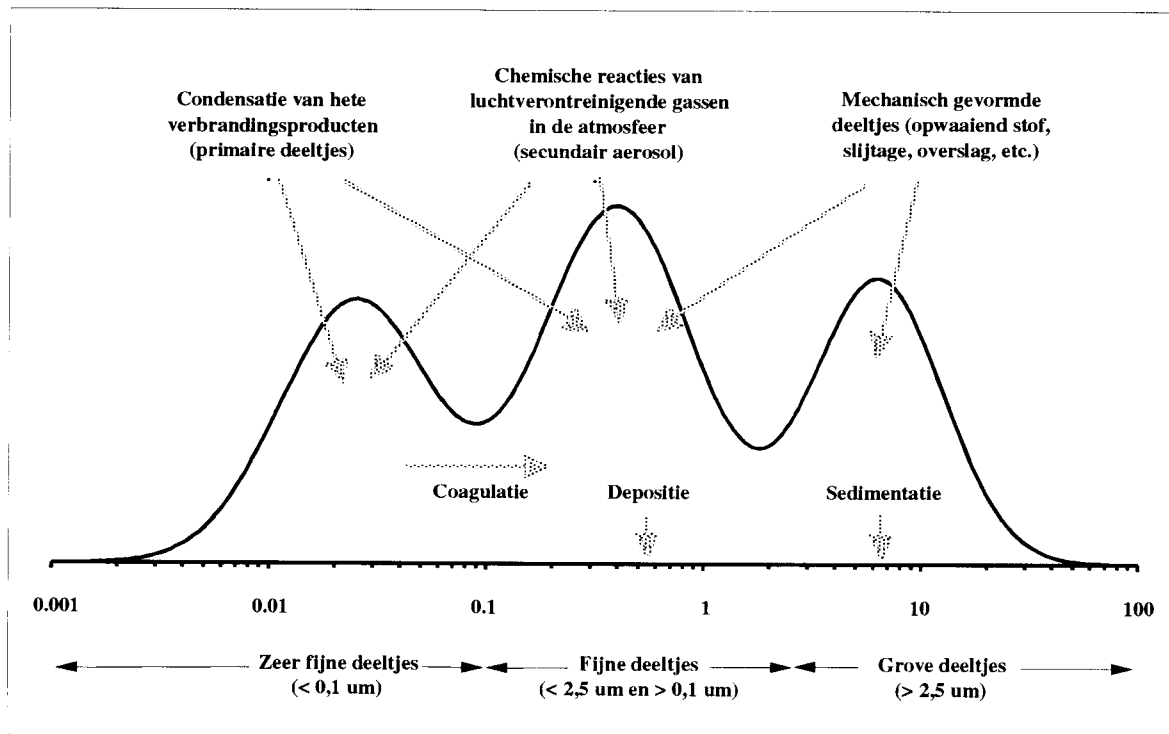
Door het grote aantal fysisch en chemisch verschillende componenten waaruit fijn stof kan bestaan, wordt het als een “container” van een reeks van verschillende fracties beschouwd. De onderscheiden fracties kunnen worden gekarakteriseerd door enerzijds de deeltjesgrootteverdeling en anderzijds de chemische samenstelling. In het algemeen varieert de concentratie stofvormige luchtverontreiniging in de tijd en van plaats tot plaats. In dit hoofdstuk wordt de fenomenologie van fijn stof in Nederland beschreven op verschillende ruimtelijke schalen, waarmee een beeld gevormd wordt van het voorkomen en van de herkomst van fijn stof in Nederland en de kwantitatieve bijdrage van verschillende bronnen aan de gemeten concentraties. De gegevens zijn gebaseerd op meetgegevens van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) in 1993, het eerste jaar waarvoor een volledige set meetgegevens beschikbaar was (Noordijk en De Leeuw, 1994), emissiegegevens (RIVM, 1996) en modelberekeningen (Bloemen et al., 1997).

#### 2.1.1. Definitie fijn stof-fracties

In deze evaluatie worden vier fijn stof-fracties onderscheiden: twee fysisch en twee chemisch gekarakteriseerde fracties. Het fysisch onderscheid is onder meer gerelateerd aan de deeltjesgrootteverdeling van fijn stof in de buitenlucht (Figuur 1), waarin als gevolg van verschillende fysische en chemische processen drie modaliteiten - zeer fijne, fijne en grove deeltjes - zijn te onderscheiden. De zeer fijne en fijne deeltjes ontstaan bij chemische reacties tussen gassen in de atmosfeer en bij processen waarbij hoge temperaturen optreden, zoals bij de verbranding van fossiele brandstoffen, waarbij de fijne deeltjes voornamelijk bestaan uit gecoaguleerde zeer fijne deeltjes. De grove deeltjes ontstaan voornamelijk door mechanisch processen, zoals slijtage en opwaaiing.

De twee fysisch gekarakteriseerde fijn stof-parameters zijn gedefinieerd als deeltjes kleiner dan  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) en als deeltjes kleiner dan  $2,5\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ). (Zie voor een uitgebreide beschrijving van de definities van en meetmethoden voor  $\text{PM}_{10}$  en  $\text{PM}_{2,5}$ : Chow, 1995 en EPA, 1996.)  $\text{PM}_{10}$  kan worden beschouwd als de inhaleerbare fractie van alle deeltjes.  $\text{PM}_{2,5}$  is de som van de fijne en de ultrafijne deeltjes. Het verschil tussen  $\text{PM}_{10}$  en  $\text{PM}_{2,5}$  beschrijft nagenoeg geheel de inhaleerbare grove deeltjes.

Chemisch is onderscheid gemaakt in secundair gevormd aerosol ( $\text{PM}_{\text{sec}}$ ) en primair geëmitteerd koolstofhoudend (“carbonaceous”) aerosol ( $\text{PM}_{\text{carb}}$ ).  $\text{PM}_{\text{sec}}$  bestaat uit deeltjes die ontstaan door chemische reacties in de atmosfeer, in dit onderzoek gedefinieerd als de som van de massa ammoniumnitraat en -sulfaat gevormd uit ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) en zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ). Aangenomen wordt dat deze fractie voor ca. 85 % tot de  $\text{PM}_{2,5}$  fractie behoort.  $\text{PM}_{\text{carb}}$  is het bij verbrandingsprocessen gevormde roetvormige aerosol inclusief deeltjesvormige niet-vluchtige organische verbindingen. Alle deeltjes in deze fractie maken deel uit van de  $\text{PM}_{2,5}$  fractie.



**Figuur 1 Vereenvoudigde weergave van de massa-deeltjesgrootteverdeling van deeltjes in de atmosfeer en van de belangrijkste processen van het ontstaan en verdwijnen van deeltjes.**

2.1.2. Ruimte- en tijdschaal

Voor primair geëmitteerde deeltjes is de concentratie in het algemeen nabij de bron hoger dan op enige afstand van de bron. Secundair gevormde deeltjes vertonen een veel vlakke gradient op de ruimtelijke schaal. Om de plaatsafhankelijke variatie te beschouwen zijn drie ruimtelijke schalen gedefinieerd: ruraal, urbaan en industrieel. Voor de beschrijving van fijn stof in het urbane gebied zijn de grotere steden van Nederland gebruikt, representatief voor het over Nederland verspreid liggende verstedelijkte gebied. Voor het industriële gebied is expliciet de regio Rijnmond gekozen, een sterk verstedelijkt gebied met veel industriële activiteiten. Het overige gebied van Nederland - ca. 90% van het oppervlak en ca. 60% van de populatie - wordt als ruraal beschouwd. Deze opdeling is typisch voor Nederland, internationaal gehanteerde normen zouden Nederland nagenoeg geheel als urbaan kenmerken. Als vierde ruimtelijke schaal werd de straat gedefinieerd. Echter, vanwege de grote onzekerheden in de modellering van de concentraties op deze schaal en de discrepantie tussen berekende en gemeten waarden, is deze ruimteschaal niet opgenomen in deze evaluatie.

Naast variaties op ruimtelijke schaal komen variaties in de tijd voor, zoals variaties over een dag en van seizoen tot seizoen en het optreden van episoden van verhoogde luchtverontreiniging. Omdat voor deze evaluatie de beschikbare methoden voor de modellering van fijn stof-concentraties voor een dag of episode nog onvoldoende betrouwbaar worden geacht, is bij de beschrijving van het voorkomen van fijn stof het jaar als tijdschaal gehanteerd.

## 2.2. Observaties in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit

### 2.2.1. Jaargemiddelden

Sinds 1992/1993 wordt in het LML de  $PM_{10}$ -concentratie gemeten op een aantal stations die gekarakteriseerd zijn als straat, urbaan of ruraal meetstation. Daarnaast worden op vijf rurale stations  $PM_{sec}$  gemeten. Verder worden op een aantal straat, urbane en rurale stations Zwarte Rook-metingen uitgevoerd. Met deze methode wordt de zwarting gemeten van een filter waarop het aerosol wordt opgevangen en omgerekend naar een arbitraire massaconcentratie-eenheid (AME). Zwarte Rook kan worden beschouwd als een proxy voor het roetachtige deel van  $PM_{carb}$ . De meetresultaten voor de genoemde parameters worden als daggemiddelde concentraties gegeven.

**Tabel 2-1 Jaargemiddelde en 98-percentiel waarden van de daggemiddelde  $PM_{10}$ -concentraties ( $\mu g/m^3$ ) gemeten in 1993 in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit op vier ruimtelijke schalen.**

	ruraal (N=9)	urbaan (N=2)	straat (N=3)	industrieel (N=1)
jaargemiddeld	40 (32-47)	41 (41-41)	41 (40-43)	41
98-percentiel	117 (99-137)	126 (125-127)	118 (104-129)	89

In Tabel 2-1 zijn de in 1993 gemeten  $PM_{10}$ -concentraties weergegeven, waarbij duidelijk is dat er slechts weinig verschil tussen de drie typen meetstations waargenomen is (Aben, 1994). Hierbij dient te worden opgemerkt dat het, uitgezonderd het rurale gebied, om een zeer beperkt aantal meetstations gaat. Het gemiddelde en de 98-percentiel waarden van de daggemiddelden in 1993 bedroegen respectievelijk 40-41  $\mu g/m^3$  en 115-130  $\mu g/m^3$  (Noordijk en De Leeuw, 1994). Schattingen van de jaargemiddelde concentraties gecorrigeerd voor ontbrekende meetresultaten zijn voor het urbane en het industriële gebied ca. 1  $\mu g/m^3$  hoger en onveranderd voor het rurale gebied (Bloemen et al., 1997). Deze gecorrigeerde waarden zijn in dit rapport gebruikt.

Het grootschalige karakter van secundair gevormd aerosol wordt bevestigd door de geringe variatie in de gemeten  $PM_{sec}$ -concentraties. De gemiddelde concentratie, exclusief geadsorbeerd water, bedroeg in 1993 ca. 13.5  $\mu g/m^3$ , variërend voor de 5 meetstations van 9.8 tot 15.2  $\mu g/m^3$ . Geschat wordt dat aan het aerosol zoals het wordt gemeten met het instrumentarium van het LML maximaal 2  $\mu g/m^3$  water geadsorbeerd is.

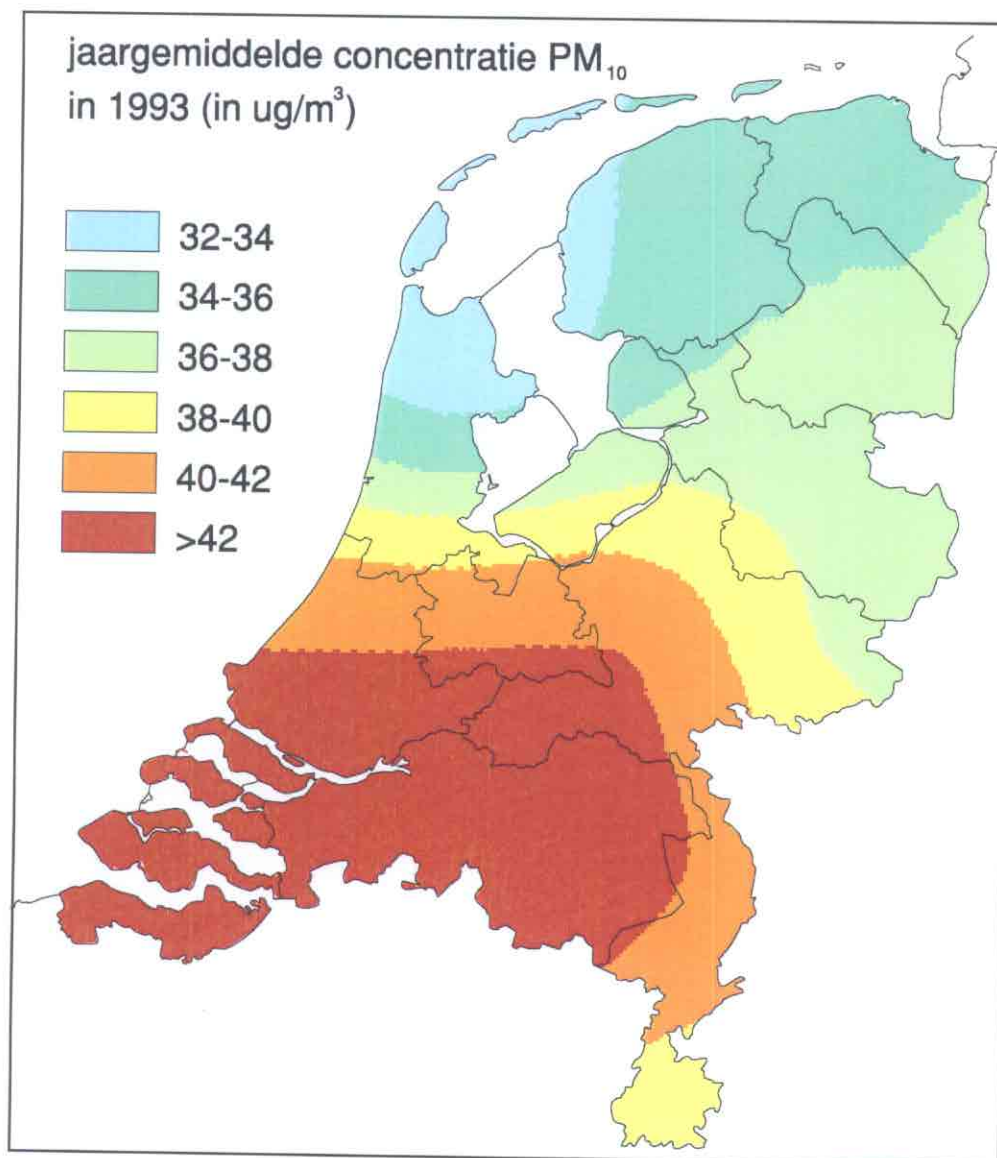
**Tabel 2-2 Jaargemiddelde en 98 percentiel van de daggemiddelde Zwarte Rook concentraties ( $\mu g/m^3$  AME<sup>1</sup>) gemeten in 1993 in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit**

	ruraal (N=12)	urbaan (N=1)	straat (N=3)
jaargemiddeld	11 (8-14)	14	32 (19-54)
98 percentiel	49 (39-54)	45	85 (61-126)

<sup>1</sup>) AME: arbitraire massaconcentratie-eenheid berekend uit de reflectie van het aerosol. Deze grootheid kan niet zonder meer worden vergeleken met de  $PM_{10}$ -concentratie.

In tegenstelling tot  $PM_{10}$ -meetgegevens laten de resultaten van de Zwarte Rookmetingen een groter verschil tussen de straat en het rurale en urbane gebied zien (Tabel 2-2). Het jaargemiddelde en het 98-percentiel van de daggemiddelden waren in de straat ongeveer een factor 2 hoger dan in het urbane en rurale gebied. Dit duidt op een verschil in samenstelling tussen het urbane en rurale aerosol.

De variaties van de concentraties in de tijd worden voor een aanzienlijk deel beïnvloed door de meteorologische condities; 85% van de variatie kan hiermee verklaard worden. Het resterende deel van de variantie wordt beschreven door een noord-zuid gradient, met de hoogste concentratie in het zuiden en door de aanwezigheid van stad of industrie (Van der Wal en Janssen, 1996). Figuur 2 toont de jaargemiddelde concentraties in Nederland geëxtrapoleerd op basis van de meetresultaten op de rurale stations.



**Figuur 2** Verdeling van de gemeten jaargemiddelde  $PM_{10}$ -concentraties over Nederland in 1993

Verhoogde concentraties komen vooral voor in de herfst en winter (november-maart). Deze worden deels veroorzaakt door hogere emissies ten tijde van koud en droog weer, o.a. vanwege de toegenomen energieopwekking en vanwege opwervend stof. Perioden met hogere concentraties komen incidenteel voor bij stagnerend koud en droog weer in de winterperiode, de zogenaamde wintersmog episoden.

Overschrijdingen van de huidige daggemiddelde grenswaarde van  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kwamen in 1993 voor op alle stations van het LML gedurende twee of meer dagen per jaar. Ook de jaargemiddelde grenswaarde van  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  werd overschreden, uitgezonderd op enkele rurale stations in het noorden van het land. De jaargemiddelde  $\text{PM}_{10}$  concentraties in 1994 en 1995 waren 1 à  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  lager en vertoonden een ruimtelijk en temporeel beeld vergelijkbaar met dat van 1993.

De  $\text{PM}_{2.5}$ -concentratie is slechts in een beperkt aantal onderzoeken gemeten (Bloemen et al., 1995; Bloemen en Van Putten, 1997). De verhouding  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  bedroeg daarbij gemiddeld ca. 0.6. Deze waarde komt overeen met de verhouding die is waargenomen in het noordoosten van de Verenigde Staten (Darlington et al., 1997).

## 2.3. Relatie bronnen - luchtkwaliteit

### 2.3.1. Broncategorie benadering

Voor het beschrijven van de relaties tussen bronnen en luchtkwaliteit zijn de bronnen in Nederland die direct of indirect bijdragen aan fijn stof ingedeeld in broncategorieën. Een aantal hiervan is tevens ingedeeld in bronsubcategorieën (Tabel 2-3). Voor de Europese bronnen is

**Tabel 2-3 Indeling Nederlandse broncategorieën en -subcategorieën die bijdragen aan fijn stof-concentraties.**

Broncategorie	Bronsubcategorie
Industrie	voedingsindustrie, raffinaderijen, chemische industrie, bouwmaterialen, keramische en glas industrie, ferro- en staal-industrie, cement-industrie, metallurgische industrie, overig
Energieopwekking	energiecentrales, diffuse bronnen
Verkeer	personenauto's (benzine, diesel, lpg), bestelautos's (benzine, diesel, lpg), vrachtauto's (diesel), bussen (diesel, gas), bandenslijtage, wegdekslijtage, spoorwegen, scheepvaart, overig
Landbouw	veeteelt, pluimveehouderij, drogerijen, grondbewerking, oogsten, overig <sup>1</sup>
Afvalverbranding	-
Handel, diensten, overheid	-
Bouw	-
Consumenten	-
Natuur	-

<sup>1</sup>) Van landbouw zijn alleen de subcategorieën veeteelt en overig in de evaluatie meegenomen. alleen een indeling in broncategorieën gehanteerd, te weten: industrie, energieopwekking,



verkeer, landbouw en handel, diensten en overheid. Op basis van emissiegegevens (RIVM, 1996) en de meteorologische condities in 1993 zijn met het Operationeel Prioritaire Stoffen (OPS) verspreidingsmodel (Van Jaarsveld, 1995) de bijdragen berekend van de broncategorieën aan de jaargemiddelde concentraties van de fijn stof-parameters  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{carb}$  en  $PM_{sec}$  voor de ruimteschalen ruraal, urbaan en industrieel (Bloemen et al., 1997). De gegevens uit de emissiebestanden zijn aangevuld en bijgesteld op grond van recente inzichten betreffende de emissies en emissiefactoren (Wesselink en Smeets, 1997). In bijlage A staan de emissiegegevens vermeld zoals ze in deze evaluatie zijn gebruikt.

### 2.3.2. Modelberekeningen van fijn stof-parameters

In Tabel 2-4 zijn de concentraties gegeven, zoals die zijn berekend voor de fijn stof-parameters in de drie ruimtelijke schalen uitgesplitst naar bijdragen van de Nederlandse en Europese emissies. De bijdragen van de Nederlandse bronnen aan de concentraties in de onderscheiden schalen verschilt aanzienlijk. In het urbane gebied en het industriële gebied is de absolute bijdrage van Nederlandse bronnen aan het verklaarde deel van de concentraties van  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  respectievelijk een factor 2 en 3 hoger dan in het rurale gebied. Voor  $PM_{carb}$  zijn deze waarden 3 en 4. De verschillen in de bijdragen aan de concentraties van  $PM_{sec}$  tussen de ruimtelijke gebieden zijn gering. Voor de drie ruimtelijke schalen zijn de bijdragen van Europese bronnen nagenoeg gelijk. Dit is in overstemming met het grootschalige karakter van de verspreiding van de emissies van Europese bronnen. De berekening van het niet door modelberekeningen verklaarde deel van de gemeten of geschatte concentraties is voor  $PM_{10}$  en  $PM_{sec}$  gebaseerd op observaties in het LML. Hierbij is voor de laatste een correctie aangebracht voor geadsorbeerd vocht van  $2 \mu g/m^3$ . Voor  $PM_{2.5}$  is een vaste verhouding met  $PM_{10}$  van 0.6 gehanteerd. Bij de evaluatie van het verschil tussen de resultaten van de modelberekeningen en de metingen spelen de onzekerheden in zowel de gehanteerde emissiegegevens als in de meetmethoden een belangrijke rol. Deze onzekerheden kunnen momenteel nog niet worden gekwantificeerd. Aangezien er voor  $PM_{carb}$  geen meetgegevens voorhanden zijn, kan er geen vergelijking met de modelberekeningen worden gemaakt.

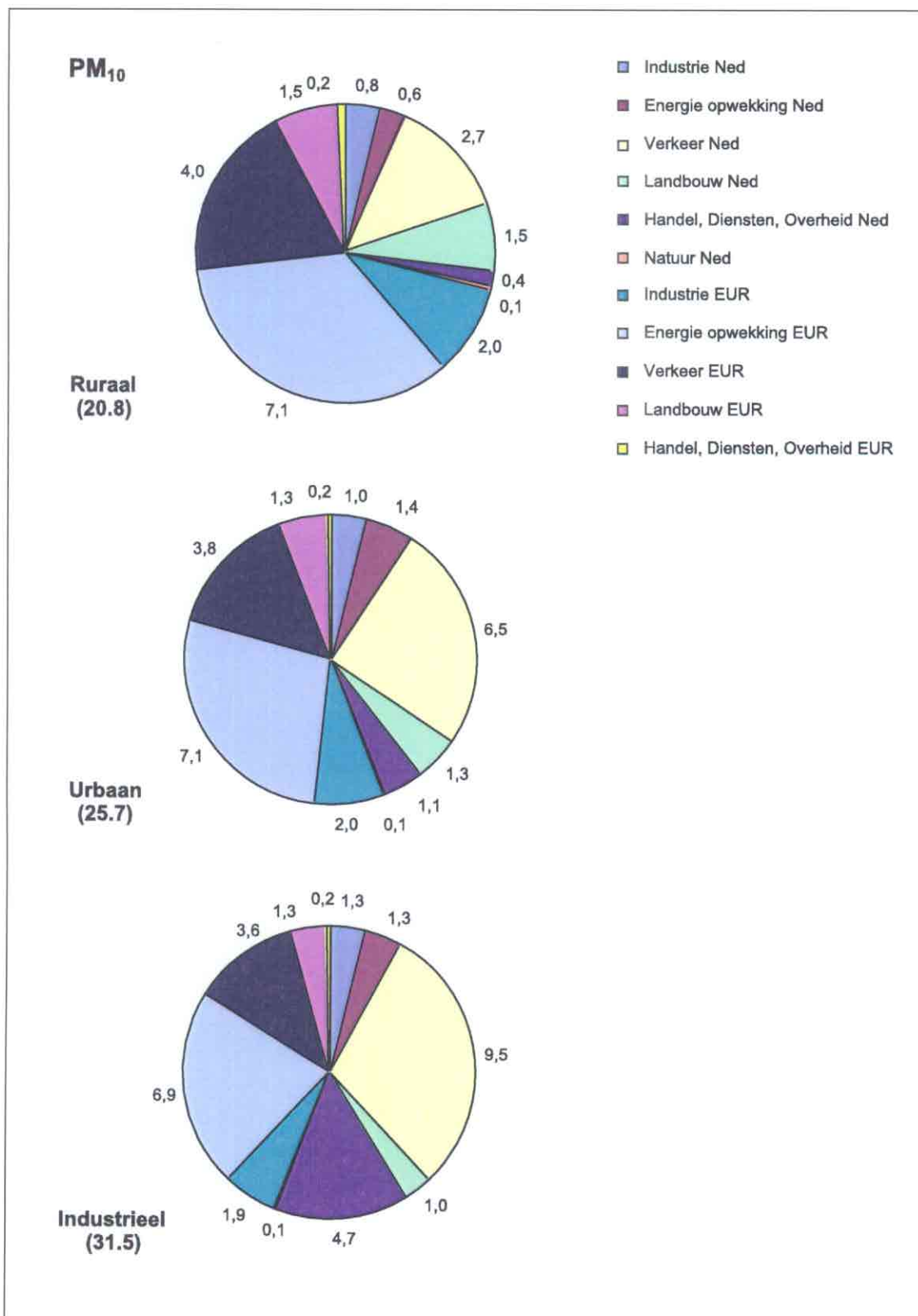
**Tabel 2-4 Bijdrage van Nederlandse (NL) en Europese (EU) bronnen aan de jaargemiddelde concentraties (Tot) van de vier fijn stof-parameters voor de onderscheiden ruimtelijke schalen ( $\mu g/m^3$ ) gebaseerd op modelberekeningen (NV: het niet door de berekeningen verklaarde deel van de gemeten concentraties).**

Parameter	Ruraal				Urbaan				Industrieel			
	NL	EU	Tot	NV	NL	EU	Tot	NV	NL	EU	Tot	NV
$PM_{10}$	6.1	14.7	20.8	19.2	11.3	14.4	25.7	16.3	17.7	13.8	31.5	10.5
$PM_{2.5}$	5.2	12.3	17.4	-	9.8	12.0	21.8	-	12.5	11.6	24.1	-
$PM_{sec}$	3.7	11.8	15.5	-	4.7	11.7	16.4	-	5.0	11.3	16.3	-
$PM_{carb}$	1.8	1.6	3.4	-	5.6	1.5	7.0	-	7.2	1.4	8.6	-

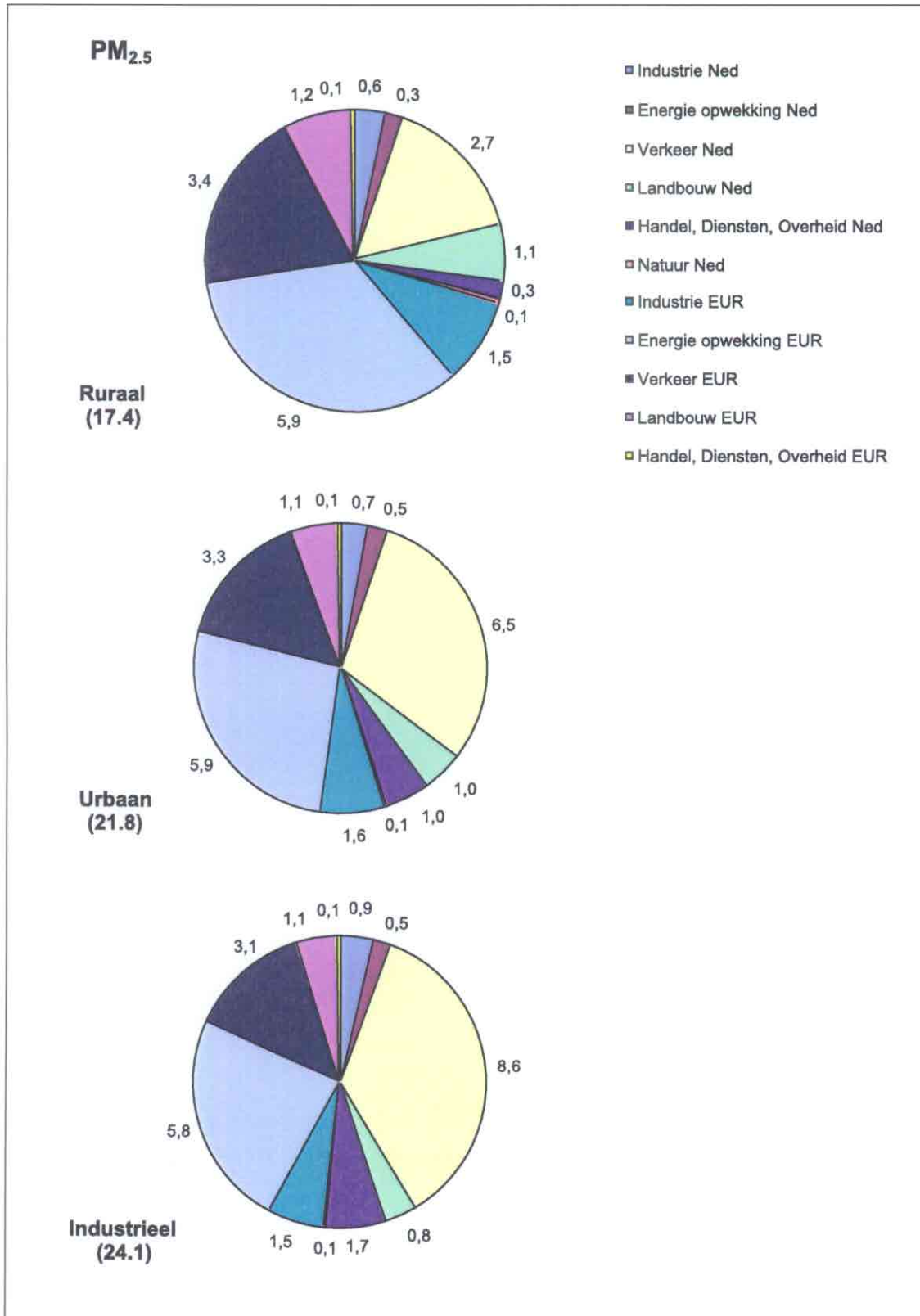
Het deel van de gemeten concentraties dat niet beschreven wordt door de berekende concentraties verschilt tussen de onderscheiden ruimtelijke schalen: ca. 50% voor het rurale gebied, ca. 60% voor het urbane gebied en ca. 75% voor het industriële gebied. Het relatief geringe verschil van de modelberekeningen met de berekende concentraties in het industriële gebied in vergelijking met het grotere verschil in het rurale gebied suggereert dat de (antropogene) emissies in het industriële gebied beter en vollediger in kaart gebracht zouden zijn dan die van de bronnen in het rurale gebied. Hierbij moet bedacht worden dat de voor het industriële gebied deze vergelijking is gebaseerd op de meetgegevens van 1 meetstation.

De berekende  $PM_{2.5}$  concentraties kunnen worden vergeleken met schattingen van de  $PM_{2.5}$  concentraties gebaseerd op  $PM_{10}$  metingen en de verhouding  $PM_{2.5}/PM_{10}$  van 0.6, verkregen uit een beperkt aantal metingen. Het verschil tussen deze geschatte waarden en de berekende concentraties voor de rurale, urbane en industriële schaal wordt hiermee berekend op respectievelijk 6.6, 3.4 en  $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ten gevolge van de onzekerheid in de verhouding  $PM_{2.5}/PM_{10}$  die bijdraagt aan de algehele onzekerheid in deze  $PM_{2.5}$  schattingen zijn deze verschillen minder nauwkeurig dan die berekend voor de  $PM_{10}$  concentraties. Bij vergelijking met de verschillen tussen de berekende en gemeten waarden van  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  voor de verschillende ruimteschalen blijkt dat het niet verklaarde deel van de concentraties vooral in het grovere deel ( $PM_{10}-PM_{2.5}$ ) moet worden gezocht en dan met name voor de rurale schaal. Een belangrijke bijdrage aan deze grove fractie wordt verondersteld geleverd te worden door met name natuurlijke bronnen en emissies door mechanische processen. Voor  $PM_{\text{sec}}$  worden geen verschillen verondersteld zoals vergelijking van berekeningen en metingen aangeeft (zie 2.3.3). Voor  $PM_{\text{carb}}$  zijn geen metingen voorhanden en dientengevolge kan geen vergelijking worden gemaakt tussen de gepresenteerde berekeningsresultaten en de optredende concentraties.

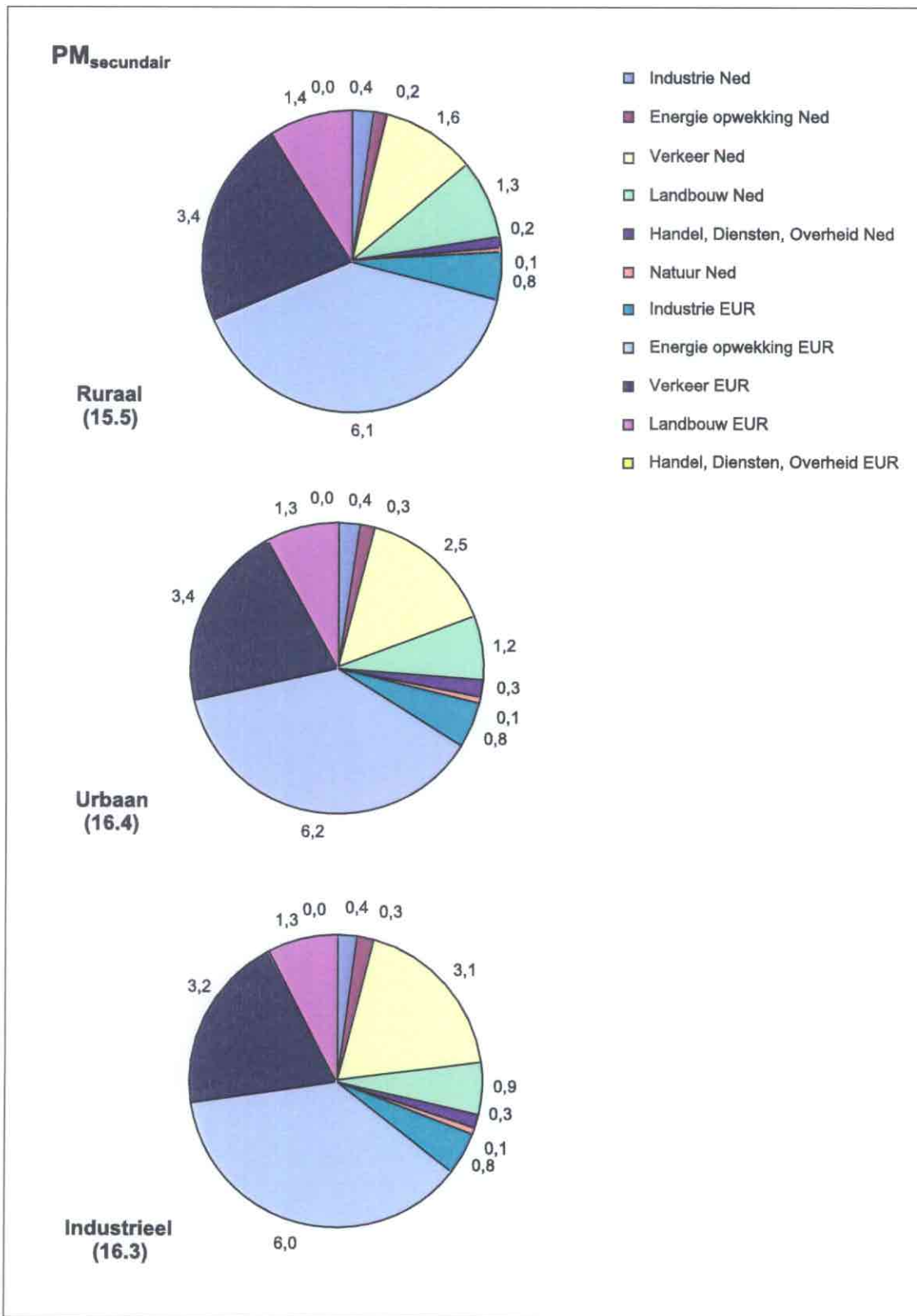
In Figuur 3A-D zijn de bronbijdragen aan het verklaarde deel van de concentraties van de vier fijn stof-parameters weergegeven voor het rurale, urbane en industriële gebied in 1993. In de rurale omgeving zijn voor de  $PM_{10}$  concentraties vooral de bronnen energieopwekking in de Europese landen (34%) en verkeer in Nederland (13%) en Europa (19%) van belang. Het urbane gebied toont een vergelijkbaar beeld met een grotere bijdrage van Nederlands verkeer (25%) en een kleinere bijdrage van verkeer en energieopwekking in Europa (resp. 15% en 28%). Voor de industriële omgeving is de bijdrage van Nederlands verkeer groter (30%) en de bijdragen van verkeer en energieopwekking in Europa minder (resp. 12% en 22%) dan in de urbane omgeving. Dit is in overeenstemming met de grotere afstand van de grenzen van Nederland naar het industriële gebied dan naar het urbane en rurale gebied die beide verspreid over geheel Nederland liggen. Naast deze bronnen is ook handel-diensten-overheid in Nederland hier van belang (15%). De emissies van deze bron zijn voor een aanzienlijk deel in het industriële gebied gesitueerd. Een van de bronnen die in mindere mate bijdraagt aan de  $PM_{10}$  concentraties is landbouw. De bijdragen van landbouw aan  $PM_{10}$  in de rurale (14%), urbane (10%) en industriële omgeving (7%) zijn gelijk verdeeld over Nederlandse en Europese bronnen. Een andere, minder relevante bron is de industrie (handel-diensten-overheid niet inbegrepen) in Europa die in de rurale, urbane en industriële omgeving respectievelijk 9, 8 en 6% bijdraagt aan de  $PM_{10}$  concentraties. De Nederlandse bronnen industrie en energie opwekking dragen ieder slechts 3 tot 5% bij aan de concentraties in de drie ruimtelijke schalen.



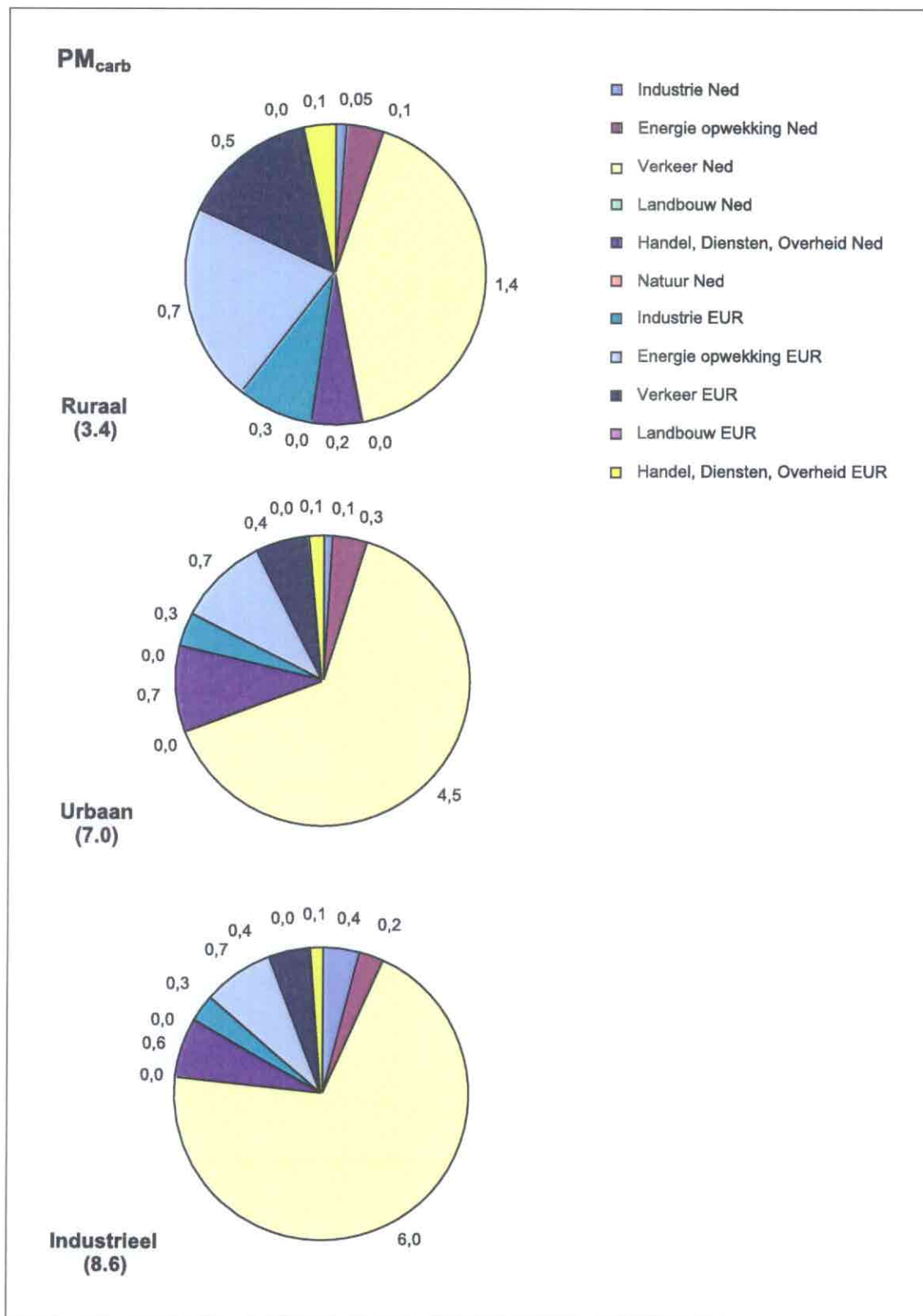
**Figuur 3A** Absolute bijdragen van bronnen aan de gemiddelde jaargemiddelde PM<sub>10</sub>-concentraties voor de drie ruimtelijke schalen (µg/m<sup>3</sup>).



**Figuur 3B.** Absolute bijdragen van bronnen aan de gemodelleerde jaargemiddelde PM<sub>2.5</sub>-concentraties voor de drie ruimtelijke schalen (µg/m<sup>3</sup>).



**Figuur 3C** Absolute bijdragen van bronnen aan de gemiddelde jaargemiddelde PM<sub>sec</sub>-concentraties voor de drie ruimtelijke schalen (µg/m<sup>3</sup>).



**Figuur 3D** Absolute bijdragen van bronnen aan de gemiddelde jaargemiddelde PM<sub>carb</sub>-concentraties voor de drie ruimtelijke schalen (µg/m<sup>3</sup>).

Voor  $PM_{2.5}$  is het beeld vergelijkbaar met dat van  $PM_{10}$  met een lichte verschuiving naar emissies door de bronnen verkeer en energieopwekking die vooral primair fijn stof emitteren en gasvormige precursors van secundaire deeltjes. De bijdragen van de verschillende bronnen aan het secundaire aerosol verschillen niet substantieel over de verschillende ruimteschalen. Het zijn dezelfde bronnen die een belangrijke bijdrage leveren aan  $PM_{sec}$  in alle ruimtelijke schalen als die aan  $PM_{10}$  in het rurale gebied, waarmee het grootschalige karakter van de  $PM_{sec}$  concentraties wordt onderstreept. Aanzienlijke verschillen bestaan tussen de bijdragen aan  $PM_{carb}$  in de ruimtelijke schalen. Van het rurale naar het urbane en industriële gebied neemt de bijdrage van het Nederlandse verkeer toe van 42% naar 64 en 70%. Het resterende deel van de  $PM_{carb}$ -concentraties wordt toegeschreven aan industrie en energieopwekking in Nederland en aan verkeer in Europa.

### 2.3.3. Validatie van de model resultaten

Vergelijking van de berekende concentraties met de meetgegevens (zie tabel 2-4) toont aan dat slechts een deel van de gemeten  $PM_{10}$ -concentraties verklaard kan worden met het OPS-verspreidingsmodel en de beschikbare emissiegegevens. De berekende  $PM_{sec}$ -concentraties komen goed overeen met de gemeten waarden. Voor de parameters  $PM_{2.5}$  en  $PM_{carb}$  zijn weinig of geen meetgegevens beschikbaar en kan dus geen validatie worden uitgevoerd. Het niet-verklaarde deel van de gemeten concentraties is gerelateerd aan een aantal factoren, waarvan de belangrijkste zijn:

- met de bijdragen van andere bronnen, met name natuurlijke bronnen, is onvoldoende rekening gehouden;
- emissies van bekende bronnen zijn onderschat (te lage emissiefactor of onvoldoende rekening gehouden met accidentele en incidentele emissies),
- discrepantie tussen het fijn stof dat wordt gemeten en dat wordt gemodelleerd waarbij met name de aannames betreffende de massa geadsorbeerde vocht en ander vluchtig materiaal een rol speelt;
- overschatting van de concentraties door de onzekerheden in de meetmethoden;
- onvoldoende kennis van de ruimtelijke variatie van de fijn stof-concentraties.

De bijdrage van elk van deze potentiële factoren is nog onvoldoende duidelijk. Vooralsnog wordt verondersteld dat het niet-verklaarde deel van de gemeten concentraties gerelateerd is aan de emissies van voor het beleid niet (direct) toegankelijke bronnen.

Het niet-verklaarde deel van de gemeten  $PM_{10}$ -concentraties varieert per ruimtelijke schaal van ca. 10 tot 19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Een deel van deze variatie kan mogelijk verklaard worden door onzekerheden in de beschikbare emissiegegevens, door de bijdragen van natuurlijke emissies als opwaaiend stof, zeezout-aerosol en plantaardig materiaal, door incidentele emissies als branden en bouw- en sloopactiviteiten, door accidentele emissies in de industrie en door specifieke agrarische emissies.

Geadsorbeerd vocht kan eveneens een relevante rol spelen, omdat vooral aan zouten, zoals  $PM_{sec}$  en zeezout vocht gebonden is dat mede de massa van  $PM_{10}$  bepaalt. Bij de berekening van de concentraties  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  en  $PM_{sec}$  is rekening gehouden met de maximale schatting van de geadsorbeerde massa-concentratie vocht van 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De onzekerheden in de metingen zijn niet exact te kwantificeren. Uit regelmatig uitgevoerde evaluaties van de meetmethoden die worden toegepast in het LML in nationaal en internationaal kader blijkt, dat de huidige meetmethoden voldoen aan internationaal aanvaarde criteria.

## 2.4. Samenvatting

De jaargemiddelde  $PM_{10}$  concentratie in Nederland bedraagt ca.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  met geringe verschillen tussen de rurale omgeving en de urbane en industriële omgevingen en is daarmee op veel plaatsen gelijk aan of iets hoger dan de jaargemiddelde grenswaarde van  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Het ruimtelijke beeld laat een geringe gradiënt zien van zuid (hoger) naar noord (lager) en een geringe verhoging in steden en in de industrieel belaste gebieden. In de tijd zijn er verschillen voor de seizoenen (winter hoger, zomer lager) en ten tijde van wintersmogepisoden en door opwaaiing van bodemstof tijdens koud en droog weer. Met verspreidingsmodellen en emissiegegevens wordt voor de drie ruimteschalen  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (ruraal),  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (urbaan), en  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (industriëel) berekend.

De jaargemiddelde  $PM_{2,5}$ -concentraties worden - op grond van een vaste verhouding met de  $PM_{10}$ -concentratie van 0,6 - geschat op  $24\text{-}26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Modelberekeningen voorspellen  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor het rurale gebied,  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor het urbane gebied en  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor het industriële gebied.

Voor  $PM_{\text{sec}}$  zijn beperkte meetgegevens beschikbaar. Gecorrigeerd voor het vochtgehalte bedraagt het jaargemiddelde ca.  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De gemeten  $PM_{\text{sec}}$ -concentraties kunnen goed beschreven worden met modelberekeningen en de beschikbare emissiegegevens.

Het verschil tussen de gemeten en gemodelleerde concentraties voor  $PM_{10}$  wordt gerekend tot bijdragen van natuurlijke bronnen, onbekende antropogene bronnen en van onjuist geschatte bekende antropogene bronnen en kan worden toegeschreven aan een aantal oorzaken. De belangrijkste hiervan zijn: (i) onbekende bijdragen van andere bronnen (met name de natuurlijke bronnen), (ii) onderschatting van bekende bronnen, (iii) de discrepantie in samenstelling van het fijn stof dat wordt gemeten en dat wordt gemodelleerd, (iv) onzekerheden in de resultaten van concentratiemetingen en (v) onbekendheid van de ruimtelijke variatie in de concentraties.

Belangrijke bronnen voor  $PM_{10}$  en voor  $PM_{2,5}$  zijn verkeer en energie opwekking, zowel in Nederland als Europa. Voor het industriële gebied speelt de broncategorie handel-diensten-overheid tevens een belangrijke rol. Voor  $PM_{\text{sec}}$  zijn met name de Europese bronnen relevant. Voor  $PM_{\text{carb}}$ , met name in het urbane en industriële gebied, is de bijdrage van het Nederlandse verkeer bepalend.

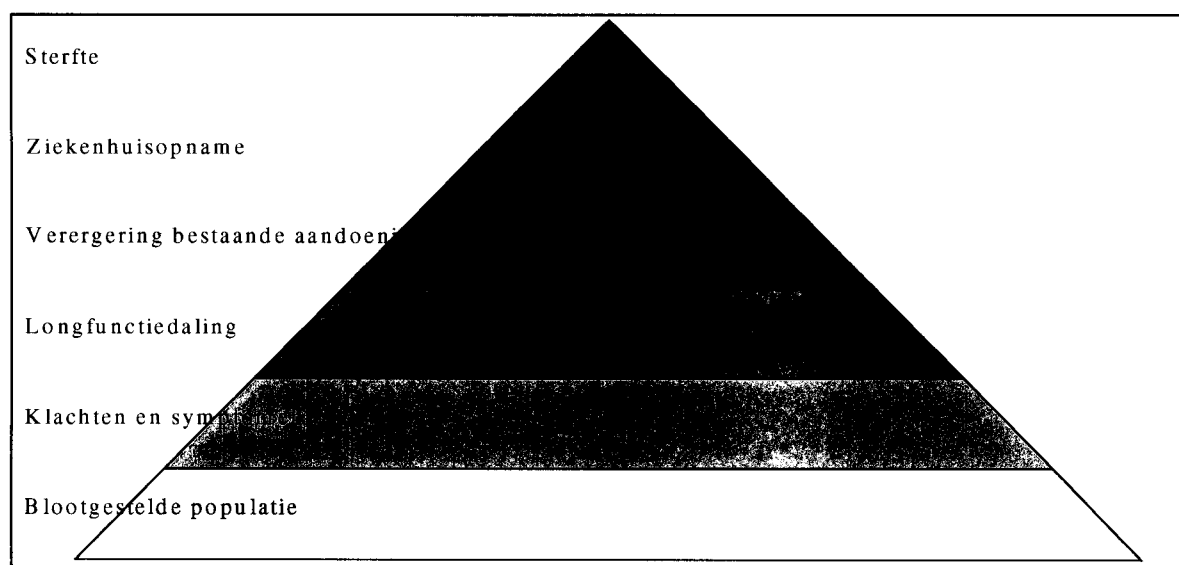


### 3. GEZONDHEIDSRISICO VAN FIJN STOF

#### 3.1. Inleiding

Epidemiologische studies in met name de Verenigde Staten en Europa hebben consistente verbanden aangetoond tussen het optreden van gezondheidseffecten en de concentratie van deeltjesvormige luchtverontreiniging (EPA, 1996; Vedal, 1997). In veel van deze studies, de zogenaamde tijdserie-studies, werden analyses uitgevoerd aan (lange) tijdreeksen van het dagelijkse voorkomen van een of meer gezondheidseffecten, zoals longfunctieveranderingen, ziekenhuisopnamen of sterfte, en de dagelijkse concentraties deeltjesvormige luchtverontreiniging. In een zeer beperkt aantal studies werden bevolkingsgroepen gedurende lange tijd gevolgd, waarbij de relaties tussen lange-termijn gemiddelde concentraties en gezondheidseffecten werden onderzocht.

De gezondheidsrisico's in de bevolking gebaseerd op de waargenomen associaties vertonen een coherent beeld (RIVM, 1995). In figuur 3 is dit beeld vereenvoudigd weergegeven. Minder ernstige effecten als klachten komen op relatief grote schaal voor in de algemene bevolking. Zeer ernstige effecten als ziekenhuisopnamen en sterfte, treden minder frequent op en worden vooral waargenomen bij personen met een reeds bestaande hart-of longaandoening.



**Figuur 4** Schematische weergave van de omvang van gezondheidsrisico's geassocieerd met fijn stof. De omvang van de effecten neemt af naarmate de ernst ervan toeneemt.

Hoewel de epidemiologische bevindingen over betreffende associaties met fijn stof consistent zijn, is de causaliteit van de blootstelling-effect relaties niet aangetoond. Evenmin is er inzicht in de effect-bepalende fracties of componenten van fijn stof. Inhalatie-toxicologisch onderzoek heeft aangetoond dat deeltjes met uiteenlopende chemische en fysische eigenschappen effecten in de luchtwegen kunnen veroorzaken. De hierbij toegepaste concentraties zijn veelal fors hoger dan die in de buitenlucht voorkomen. Sinds enkele jaren is het toxicologisch onderzoek erop gericht een verklaring te geven voor de in epidemiologisch onderzoek

waargenomen associaties. Hiertoe is een aantal hypothesen geformuleerd voor de biologische mechanismen van het optreden van met name ernstige cardio-respiratoire effecten en de mogelijk daarvoor verantwoordelijke fijn stof-fractionen of -componenten.

## 3.2. Epidemiologisch onderzoek

### 3.2.1. Associaties met fijn stof

De gepubliceerde resultaten van epidemiologisch onderzoek betreffen associaties met stofconcentraties, waarvoor niet overal en altijd dezelfde grootte is gebruikt als gevolg van verschillende meetmethoden. Onderlinge vergelijking van de uitkomsten wordt hierdoor bemoeilijkt. De kwantitatieve evaluatie van gezondheidsrisico's van fijn stof in dit rapport is gebaseerd op de resultaten van epidemiologische studies waarin associaties met fijn stofconcentraties gemeten met een  $PM_{10}$ -meetmethode zijn onderzocht.

De resultaten van tijdserie-studies duiden op het optreden van acute gezondheidseffecten bij personen met reeds bestaande aandoeningen aan hart of luchtwegen, waaronder CARA patiënten. Deze effecten omvatten onder andere een toename in dagelijkse aantallen zieken, ziekenhuisopnames en sterfte. De effecten zijn vaak het sterkst geassocieerd met de gemiddelde  $PM_{10}$ -concentratie op de voorafgaande 1 tot 7 dagen. Het weer is in tijdserie-studies een belangrijke versturende factor; het is een determinant voor het optreden van de gezondheidseffecten en tevens voor de niveaus van luchtverontreiniging (zowel deeltjes als gassen). Echter, na toepassing van verschillende methoden om te corrigeren voor de weersomstandigheden bleven de gezondheidseffecten significant geassocieerd met de concentraties van deeltjesvormige luchtverontreiniging (Pope en Kalkstein, 1996; Samet et al., 1997). De associaties werden waargenomen in klimatologisch en geografisch verschillende gebieden met uiteenlopende luchtkwaliteit en aard van overheersende bronnen van deeltjes. De gezondheidseffecten bleken veelal ook geassocieerd te zijn met de concentraties van gasvormige verontreinigingen als  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  en  $CO$  (Burnett et al., 1997; Delfino et al., 1997; Moolgavkar et al., 1995; Samet et al., 1997; Schwartz, 1994). Vanwege de sterke onderlinge correlaties tussen de concentraties van de onderscheiden componenten is het vaak niet mogelijk om de waargenomen associaties specifiek aan een van de componenten toe te schrijven.

Een beperkt aantal cohort-studies in stedelijke gebieden laten zien dat lange-termijn (jaar) gemiddelde concentraties deeltjesvormige luchtverontreiniging geassocieerd zijn met daling van longfunctie, toename van respiratoire symptomen en met hogere sterfte, vaak met hart- of luchtwegaandoeningen als doodsoorzaak (Abbey et al., 1995; Dockery et al., 1993; Pope et al., 1995). Omdat de gegevens uit cohort-studies slechts zeer beperkt zijn, is het niet mogelijk de effecten op lange termijn voor de Nederlandse bevolking betrouwbaar te kwantificeren.

Geen van de onderzoeken leidt tot de conclusie dat er een drempelwaarde in de  $PM_{10}$ -concentratie kan worden aangegeven waarbeneden geen effecten zouden optreden. Evenmin geven de resultaten aanleiding tot het hanteren van een ander dan een lineair verband tussen effect en  $PM_{10}$ -concentratie. In een beperkt aantal studies zijn tevens de associaties met de concentratie van de kleinere deeltjes ( $PM_{2,5}$ ) in het mengsel onderzocht (Burnett et al., 1997;

Lipfert en Wyzga, 1997; Schwartz, 1994; Schwartz et al., 1996). De resultaten geven geen aanwijzingen dat deze associaties anders zijn dan die met  $PM_{10}$ .

### 3.2.2. De rol van verkeer

De afgelopen jaren is in Europa, waaronder ook in Nederland, een aantal epidemiologische onderzoeken bij kinderen uitgevoerd naar mogelijke verbanden tussen de aanwezigheid van luchtwegklachten en luchtwegaandoeningen en langdurige (chronische) blootstelling aan luchtverontreiniging gerelateerd aan verkeer (Marra en Fischer, 1997). In een deel van de studies is als maat voor de blootstelling de verkeersdrukke in de woonomgeving of de nabijheid van drukke wegen gebruikt. In enkele onderzoeken is de luchtverontreiniging daadwerkelijk gemeten of gemodelleerd. De resultaten zijn in veel gevallen gebaseerd op gegevens uit door ouders of verzorgers ingevulde vragenlijsten. De resultaten van het merendeel van de onderzoeken suggereren een positief verband tussen (chronische) luchtwegklachten en/of -aandoeningen en verkeersdrukke, de nabijheid van verkeerswegen of verkeersgerelateerde luchtverontreiniging. Op grond van de resultaten van dergelijk onderzoek kunnen korte termijn effecten in relatie tot variaties in verkeersgerelateerde luchtverontreiniging niet worden afgeleid.

In Nederland is gedurende 3 winterperiodes in de jaren 1992-1995 door de Landbouwniversiteit Wageningen, de Rijksuniversiteit Groningen en het RIVM onderzoek verricht naar de relatie tussen blootstelling aan luchtverontreiniging in stedelijke en landelijke gebieden en de respiratoire gezondheid van kinderen (7-12 jaar) en volwassenen (50-70 jaar) (Van der Zee, 1997). Longfunctiedalingen waren marginaal gerelateerd aan verhoogde concentraties van  $PM_{10}$ . Significante relaties werden gevonden met luchtwegklachten voornamelijk bij personen met een chronische specifieke respiratoire aandoening (CARA). Er werden geen aanwijzingen gevonden dat de associaties tussen gezondheidseffecten en  $PM_{10}$ -concentraties in steden sterker zijn dan in landelijke gebieden. Er werden geen associaties gevonden met luchtverontreinigingscomponenten die primair door het verkeer worden uitgestoten zoals CO en NO.

## **3.3. Toxicologisch onderzoek**

### 3.3.1. Plausibele werkingsmechanismen voor ernstige effecten

Depositie van ingeademde deeltjes in de luchtwegen en de diepere long kan via verschillende mechanismen leiden tot gezondheidseffecten. De plaats waar de deeltjes gedeponneerd worden, alsmede de depositiekans zijn onder meer afhankelijk van de deeltjesgrootte. Depositie van de relatief grootste deeltjes (ca. 10  $\mu m$ ) vindt hoofdzakelijk plaats in de bovenste luchtwegen - de neus en het tracheo-bronchiolaire gebied - en kan leiden tot luchtwegvernauwing, symptomen als hoesten en veranderingen in ademfrequentie en -diepte. Ook kan inademing van deze deeltjes leiden tot een vertraagde klaring van deeltjes, virussen en bacteriën uit de luchtwegen. Bij individuen met CARA wordt verondersteld dat door een verhoogde depositiekans deze effecten versterkt kunnen optreden (Miller et al., 1995; Freijer et al., 1997).

Depositie van de kleinere deeltjes (< 2,5  $\mu m$ ) vindt met name in lagere luchtwegen en longen plaats. De klaring uit dit broncho-alveolaire gebied verloopt orden van grootte trager dan uit het tracheo-bronchiolaire gebied. Depositie van deeltjes kan hier leiden tot ontsteking en schade aan het gasuitwisselend weefsel. Bij individuen met gecompromiteerde longen en

luchtwegen, zoals bij CARA-patiënten, kunnen lokaal hogere deposities optreden.

In epidemiologisch onderzoek zijn associaties tussen relatief lage  $PM_{10}$ -concentraties en cardio-respiratoire effecten waargenomen. Indien een dergelijke relatie causaal is, dan zou  $PM_{10}$  zeer toxisch moeten zijn, in het bijzonder bij extra gevoelige individuen met reeds bestaande aandoeningen aan hart of longen. Uitgaande van de hiervoor genoemde primaire effecten en op grond van experimenteel onderzoek is een aantal verklaringen gepostuleerd voor het biologische mechanisme waarlangs deze ernstige effecten kunnen ontstaan:

- oedeemvorming en ernstige ontstekingsreacties in de luchtwegen en longen, gevolgd door (versterking van) longfunctiestoornissen bij personen met een luchtwegaandoening;
- verminderd gasuitwisselend vermogen door ontstekingsreacties in de diepe long gevolgd door zuurstof-tekort en hartfunctiestoornissen bij personen met een hart- of long-aandoening;
- verminderde bloedcirculatie bij personen met een hart- of longaandoening.

### 3.3.2. Belang van verschillende fijn stof-fracties en -componenten

De aard en omvang van de effecten van ingeademde deeltjes wordt mogelijk bepaald door hun fysische of chemische eigenschappen. De deeltjesgrootte is bepalend voor de depositieplaats en -efficiëntie en kan ook de mate van biologische respons bepalen. In het verleden is met name de relatie onderzocht tussen de geïnhaleerde massa deeltjes en de effecten. Echter, ook aspecten als aantal deeltjes en het totale deeltjesoppervlak kunnen bepalend zijn bij het ontstaan van de effecten. Van belang hierbij is, dat dezelfde geïnhaleerde massa aan kleine deeltjes een vele orden van grootte groter aantal deeltjes of deeltjesoppervlak bevat dan die van grotere deeltjes. Bij voorbeeld, bij sferische deeltjes met gelijke soortelijke massa is de massa van 1 deeltje met een diameter van  $10\ \mu\text{m}$  gelijk aan de massa van  $10^6$  deeltjes met een diameter van  $0,1\ \mu\text{m}$ .

Gegevens van een veldstudie met proefdieren uitgevoerd in São Paulo, Brazilië, laten zien dat blootstelling aan stedelijke luchtverontreiniging ernstige toxische effecten kan veroorzaken die mogelijk in verband gebracht kunnen worden met ziekte en sterfte (Saldiva et al., 1992; Lemos et al., 1994), zoals dat ook op soortgelijke locaties in epidemiologisch onderzoek is waargenomen (Saldiva et al., 1994).

Zeer recent zijn proefdieren met een cardiorespiratoire aandoening, welke lijkt op een aandoening die voorkomt bij mensen behorend tot de risicogroepen, gedurende enkele uren per dag en enkele dagen achtereen blootgesteld aan 10-25 maal geconcentreerd fijn stof van  $0,1$ - $2,5\ \mu\text{m}$  uit de buitenlucht in Boston en New York. Hieruit bleek dat een kortdurende blootstelling aan  $50$ - $250\ \mu\text{g}/\text{m}^3\ PM_{2,5}$  (excl. de deeltjes  $< 0,1\ \mu\text{m}$ ) leidde tot ontstekingsreacties in de longen, longfunctie dalingen, afwijkingen in het electrocardiogram (ECG), alsmede een toename in sterfte (Godleski et al., 1996, 1997; Gordon et al., 1997).

Een beperkt aantal toxicologische studies met op filters verzameld  $PM_{10}$  uit de buitenlucht of aan dieselroet heeft eerste aanwijzingen opgeleverd dat deze fractie na instillatie in de longen van proefdieren schadelijke effecten kan veroorzaken (Sagai et al., 1994; Li et al., 1996; Pritchard et al., 1996). Bij intratracheale toediening van suspensies van deze deeltjes in relatief hoge doses in de luchtwegen van proefdieren blijkt dat het gehalte aan geadsorbeerde

reactieve componenten als overgangsmetalen en organische verbindingen goed correleert met acute effecten als weefselschade, ontstekingsreacties en de vorming van zuurstofradicalen in de longen. Chelatie van de oplosbare metalen of extractie van organische verbindingen leidt tot een sterke reductie van de effecten. Kortdurend inhalatie onderzoek in proefdieren met roet en ammoniumnitraat (ca. 0,5  $\mu\text{m}$ ) laat eveneens een deel van bovengenoemde effecten zien (Arts et al., 1997; Cassee et al., 1997). Uit beperkt toxicologisch onderzoek lijken tevens aanwijzingen gekomen dat de fijne deeltjesfractie van  $\text{PM}_{10}$  verzameld uit de buitenlucht schadelijke effecten in luchtwegen kan veroorzaken en dat - op basis van dezelfde geïnstilleerde massa - deze fractie toxischer lijkt te zijn dan de grove fractie. Hierbij zou de reactiviteit en oplosbaarheid van bepaalde componenten een grote rol spelen (Dreher et al., 1996).

Enkele humaan-klinische studies laten zien dat acute blootstelling van gezonde personen aan verdunde dieseluitletgasen kan leiden tot luchtwegobstructie alsmede pulmonaire en systemische ontstekingsreacties (Salvi et al., 1997). Aangenomen wordt dat deze effecten niet uitsluitend door de dieselroet-deeltjes worden veroorzaakt, maar ook door de aanwezige gasvormige componenten in het mengsel (Rudell et al., 1996). De uit enkele proefdierstudies voortkomende gegevens over combinatie-effecten van gassen en deeltjes zijn nog te beperkt om betrouwbare uitspraken te doen over de verschillen in toxiciteit van fijn stof alleen en het totale mengsel van gassen en deeltjes (Jakab et al., 1993).

### **3.4. Gezondheidseffecten in Nederland geassocieerd met $\text{PM}_{10}$**

Een kwantitatieve schatting van de omvang van de gezondheidsrisico's in Nederland is gemaakt op basis van de eerder gemaakte schatting (RIVM, 1995) en van de daarin nog niet verwerkte resultaten van recent gepubliceerd epidemiologisch onderzoek (Dab et al., 1996; Ito et al., 1995; Ito en Thurston, 1996; Kinney et al., 1995; Ostro et al., 1996; Romieu et al., 1996; Schwartz J, 1994a, 1994b, 1994c, 1995, 1996; Schwartz en Morris, 1995; Schwartz et al., 1996; Spix en Wichmann, 1996; Styer et al., 1995; Verhoeff et al., 1996; Zmirou et al., 1996). In Tabel 3.1 zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven. Voor elk effect is het percentage van het totaal aantal gevallen dat toe te schrijven is aan een jaargemiddelde  $\text{PM}_{10}$ -concentratie van 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  weergegeven. Hieruit en uit het gemiddelde dagelijkse totaal aantal gevallen werd het aantal gevallen berekend wat kan worden toegeschreven aan de in 1993 in Nederland gemeten jaargemiddelde  $\text{PM}_{10}$ -concentratie van ca. 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Geschat wordt dat bij 8-15% van alle kinderen met respiratoire symptomen deze kunnen worden toegeschreven aan  $\text{PM}_{10}$ . Van de astma-aanvallen en het gebruik van bronchodilatoren bij kinderen wordt geschat dat 17 respectievelijk 20% kan worden toegeschreven aan  $\text{PM}_{10}$ . Het aantal kinderen met een vermindering van de longfunctie -  $\text{FEV}_{1}$ , het geforceerd uitademingsvolume in 1 seconde - van meer dan 10% bedroeg gemiddeld 1500 kinderen per dag. Dit gegeven werd berekend aan de hand van de uit epidemiologisch onderzoek verkregen relatie tussen  $\text{PM}_{10}$ -concentraties en longfunctiedaling en de hierin waargenomen variatie in respons bij de onderzochte kinderen.

Van alle ziekenhuisopnamen voor cardio-vasculaire en respiratoire aandoeningen kunnen respectievelijk 3 en 4% worden toegeschreven aan  $\text{PM}_{10}$  en 6% van de spoedopnamen voor respiratoire aandoeningen. Onder ouderen kunnen relatief meer (7%) opnamen voor respiratoire aandoeningen aan  $\text{PM}_{10}$  worden toegeschreven. De sterfte in Nederland kan voor

3% (ca. 4000 overlijdens per jaar) worden toegeschreven aan  $PM_{10}$ , waarbij de primaire doodsoorzaak voor het merendeel cardio-vasculair (2000) of respiratoir (560) is.

De berekeningen zijn gebaseerd op de beste schatting van de gemiddelde attributieve risico's. De nauwkeurigheid van deze schattingen is afhankelijk van de omvang van de studies waaruit ze zijn afgeleid. De range waarbinnen het gemiddelde zich bij een statistische waarschijnlijkheid van 95% zal bevinden, varieert van enkele 10-tallen procenten voor sterfte tot meer dan 100% voor longfunctiedaling bij kinderen. Deze statistische onzekerheid zijn niet in de huidige evaluatie betrokken, noch andere aspecten die van invloed zouden kunnen zijn op de nauwkeurigheid en validiteit van de schattingen, zoals verschillen in de onderzoekspopulatie en -locatie en gezondheidszorg in de verschillende onderzoeken en het toepassen van buitenlandse gegevens op de Nederlandse bevolking.

### 3.5. Samenvatting

De resultaten van epidemiologisch onderzoek duiden op het bestaan van consistente en coherente associaties tussen ernstige gezondheidseffecten en de concentratie deeltjesvormige luchtverontreiniging. Er is op dit moment onvoldoende inzicht in de causale relaties die hieraan ten grondslag liggen. Een aantal hypothesen is gepostuleerd voor plausibele werkingsmechanismen die kunnen leiden tot ernstige effecten bij met name personen met bestaande hart- of longaandoeningen en voor mogelijk verantwoordelijke fracties of componenten.

Het belang van afzonderlijke fracties van fijn stof is geëvalueerd op grond van de kennis over de depositie van deeltjes en resultaten van toxicologisch onderzoek. In inhalatie-toxicologisch onderzoek met geconcentreerde deeltjes van 0,1 tot 2,5  $\mu m$  (ca. 50-250  $\mu g/m^3$ ) uit de buitenlucht zijn cardiovasculaire en respiratoire effecten en extra sterfte waargenomen. Hoewel  $PM_{10}$  een belangrijke rol kan spelen bij effecten wordt aangenomen dat blootstelling aan het totale luchtverontreinigingsmengsel van gassen en deeltjes verantwoordelijk is voor de gezondheidsrisico's. Er wordt van uitgegaan dat deeltjesvormige luchtverontreiniging hierbij een belangrijke, maar niet exclusieve rol speelt.

Op grond van de resultaten van epidemiologisch onderzoek is een kwantitatieve schatting gemaakt van de gezondheidsrisico's in de Nederlandse bevolking gerelateerd aan de in 1993 gemeten  $PM_{10}$ -concentraties. Blootstelling van kinderen aan luchtverontreiniging bij een jaargemiddelde concentratie van  $PM_{10}$  van 40  $\mu g/m^3$  in Nederland is geassocieerd met effecten zoals luchtwegklachten, daling van longfunctie en verergering van astma. In ouderen, met name die met cardiovasculaire en respiratoire aandoeningen, is een dergelijk blootstelling geassocieerd met een toename in ziekenhuis-(spoed)opnamen en (vroegtijdige) sterfte.

**Tabel 3-1 Geschatte gezondheidseffecten in 1993 in de Nederlandse bevolking geassocieerd met een jaargemiddelde PM<sub>10</sub> concentratie van 40 µg/m<sup>3</sup>**

Bevolkingsgroep (aantal)	Gezondheidseffect	Gemiddeld dagelijks aantal gevallen	Attributief risico bij 40 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> (%)	Gemiddeld dagelijks aantal geassocieerd met PM <sub>10</sub>
<b>Kinderen 7-12 jaar (900.000)</b>	<b>Respiratoire symptomen</b>			
	bovenste luchtwegen	135.000	8	11.000
	onderste luchtwegen	18.000	15	2.700
	<b>Longfunctiedaling</b>			
	> 10 % Daling in FEV <sub>1</sub>	-	0,8	1.500 <sup>1</sup>
	<b>Verergering van astma</b>			
astma-aanvallen	3.600	17	600	
gebruik van bronchodilatoren	9.000	20	1.800	
<b>Ouderen &gt; 65 jaar (2.200.000)</b>	<b>Ziekenhuisopnamen</b>			
	cardio-vasculaire aandoeningen	300	3	10
	respiratoire aandoeningen	40	7	3
<b>Totale bevolking (15.600.000)</b>	<b>Ziekenhuisopnamen</b>			
	cardio-vasculaire aandoeningen	590	3	19
	respiratoire aandoeningen	300	4	12
	<b>Spoedopnamen</b>			
	respiratoire aandoeningen	120	6	8
	<b>Sterfte</b>			
	alle oorzaken	340	3	11
	cardio-vasculaire oorzaken	120	5	6
respiratoire oorzaken	16	10	2	

<sup>1</sup>) Gemiddelde longfunctieafname (%); aantallen zijn berekend op basis van de geschatte variatie in respons

## 4. PROGNOSES VOOR FIJN STOF

### 4.1. Inleiding

De ontwikkeling van de concentratie deeltjesvormige luchtverontreiniging in de komende decennia wordt bepaald door verandering van de emissies. Eventuele veranderingen van meteorologische omstandigheden worden verwaarloosbaar geacht. De emissies zullen toenemen doordat de omvang en aantal van de bronnen toeneemt - de volumeontwikkeling - en afnemen door maatregelen gericht op vermindering van de emissie per bron. In het kader van de "Nationale Milieuverkenning 4 1997-2020" (RIVM, 1997a) zijn drie scenario's ontwikkeld. Deze scenario's *Divided Europe* (DE), *European Coordination* (EC) en *Global Competition* (GC) verschillen onderling in veronderstellingen ten aanzien van de mondiale economische ontwikkeling, de (West-) Europese economische en politieke ontwikkelingen, de demografische en sociaal-culturele ontwikkelingen en de ontwikkelingen van de technologie. (Zie voor een korte beschrijving van de scenarios bijlage B). Voor de broncategorie Industrie zijn de scenario's gebaseerd op lokaal beleid. De broncategorie Verkeer heeft als basis het voorgenoemen EU-beleid, d.w.z. EU-afspraken op basis van het *AUTO-OIL I* programma. De aanvullende maatregelen betreft intensivering van Nederlands beleid ten aanzien van verkeer en bestaan onder meer uit verdergaande emissie-aanscherpingen, snelheidsreducties op autosnelwegen, het van kracht worden van de emissiewetgeving voor binnenschepen en CO<sub>2</sub>-emissionormering voor personenauto's.

In dit hoofdstuk worden schattingen gepresenteerd van de jaargemiddelde concentraties PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>sec</sub> en PM<sub>carb</sub> in de 2000, 2010 en 2020 in het rurale, urbane en industriële gebied. Hierbij wordt - rekening houdend met de volume-ontwikkeling - de invloed aangegeven van bestaand beleid en eventueel toekomstig extra beleid ten opzichte van de concentraties in 1993. Tevens worden de bijdragen van de emissies van de broncategorieën verkeer en industrie en energie-opwekking aan de concentraties afzonderlijk behandeld. In de tabellen in dit hoofdstuk worden de gemiddelden van de drie scenario's weergegeven; de scenario's worden niet afzonderlijk behandeld. Voor de gegevens van 1993 gelden de volgende aannames: de PM<sub>10</sub>-concentratie is gebaseerd op metingen van het LML; PM<sub>2.5</sub> is gebaseerd op modelberekeningen alsmede afgeleid van de PM<sub>10</sub> gegevens (60% van PM<sub>10</sub>); PM<sub>sec</sub> en PM<sub>carb</sub> zijn gebaseerd op modelberekeningen.

### 4.2. Ontwikkeling fijn stof-concentraties in de tijd

In tabel 4-1 staat weergegeven de reductie van de concentraties van de vier fijn stof-parameters voor de drie zichtjaren ten opzicht van het niveau van 1993 bij bestaand beleid en aanvullende maatregelen voor het rurale, urbane en industriële gebied. Het bestaande beleid leidt in 2000 tot reducties van ca. 10% voor PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>sec</sub> en ca. 25 % voor PM<sub>carb</sub>. De verminderde bijdrage van de Nederlandse bronnen is bepalend voor de totale reductie. Bestaand beleid zal leiden tot een verdere reductie van de concentraties PM<sub>10</sub> tot 2010. In dit jaar wordt de grootste daling in de concentraties gerealiseerd. In het rurale en urbane gebied



**Tabel 4-1 De relatieve reductie (%) van de jaargemiddelde concentraties fijn stof voor de zichtjaren 2000, 2010 en 2020 ten opzicht van het absolute niveau van 1993 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) door afnemende emissies van Nederlandse en Europese bronnen bij bestaand beleid. Voor 2020 is tevens het effect van aanvullende verkeersmaatregelen in Nederland (AM) aangegeven.**

<b>I Ruraal</b>										
Parameter	1993 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2000		2010		2020		2020 AM		
		(%)		(%)		(%)		(%)		
		NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	
PM <sub>10</sub>	40.0	4	3	6	5	5	3	7	3	
PM <sub>2.5</sub>	24.0	6	3	9	7	8	4	10	4	
PM <sub>sec</sub>	15.5	5	2	9	7	8	2	11	2	
PM <sub>carb</sub>	3.4	18	14	23	16	23	16	23	16	

<b>II Urbaan</b>										
Parameter	1993 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2000		2010		2020		2020 AM		
		(%)		(%)		(%)		(%)		
		NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	
PM <sub>10</sub>	42.0	7	2	9	5	9	3	11	3	
PM <sub>2.5</sub>	25.2	10	3	14	6	13	4	17	4	
PM <sub>sec</sub>	16.4	6	2	9	7	9	2	13	2	
PM <sub>carb</sub>	7.0	22	7	30	8	28	8	35	8	

<b>III Industrieel</b>										
Parameter	1993 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2000		2010		2020		2020 AM		
		(%)		(%)		(%)		(%)		
		NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	
PM <sub>10</sub>	42.0	5	2	5	5	5	3	15	3	
PM <sub>2.5</sub>	25.2	7	3	9	6	6	3	20	3	
PM <sub>sec</sub>	16.3	6	2	10	7	8	2	13	2	
PM <sub>carb</sub>	8.6	10	5	9	6	6	6	38	6	

wordt een afname van ca. 20% berekend. In het industriële gebied is de reductie in 2010 minder sterk (ca.15%). De grootste reducties worden berekend voor de PM<sub>carb</sub> concentraties.

In figuur 5 wordt het verloop van de PM10-concentratie weergegeven voor de drie ruimtelijke schalen op grond van volume-ontwikkeling en onder invloed van bestaand beleid en aanvullende maatregelen voor verkeer. In deze figuur zijn de uitersten voor de verschillende scenario's aangegeven. Het bestaande beleid leidt in 2010 tot een daling van 10-20% t.o.v. de volumeontwikkeling alleen. Na 2010 treedt een lichte stijging op in de concentraties van de fijn stof-parameters. Het bestaande beleid is dan niet meer toereikend om te voorkomen dat de concentraties als gevolg van de volumeontwikkeling weer gaan toenemen. Aanvullende

verkeersmaatregelen, die effectief zullen zijn na 2010, zorgen er voor dat de concentraties in het rurale en urbane gebied nagenoeg gelijk blijven aan de concentraties in 2010. In het industriële gebied leiden deze maatregelen tot een verdere daling van de concentraties.

### 4.3. Bijdrage van verkeer aan de fijn stof-concentraties

In tabel 4-2 zijn de Nederlandse en Europese verkeersbijdragen aan de fijn stof-parameters aangegeven voor 1993 en de volume-ontwikkeling onder invloed van bestaand beleid in 2000, 2010 en 2020. Voor 2020 is tevens de invloed van aanvullende maatregelen op de verkeersbijdrage aangegeven. Deze gegevens zijn ook in figuur 6 weergegeven. Weg- en scheepvaartverkeer is de belangrijkste primaire bron van PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>carb</sub> in het urbane en industriële gebied. De primaire verkeersbijdrage wordt op alle ruimteschalen hoofdzakelijk beïnvloed door

**Tabel 4-2 Absolute Nederlandse en Europese bijdrage (µg/m<sup>3</sup>) van de broncategorie verkeer aan de jaargemiddelde fijn stof-concentraties in 1993 en onder invloed van bestaand beleid in 2000, 2010 en 2020 en aanvullende maatregelen voor verkeer in Nederland (AM) in 2020.**

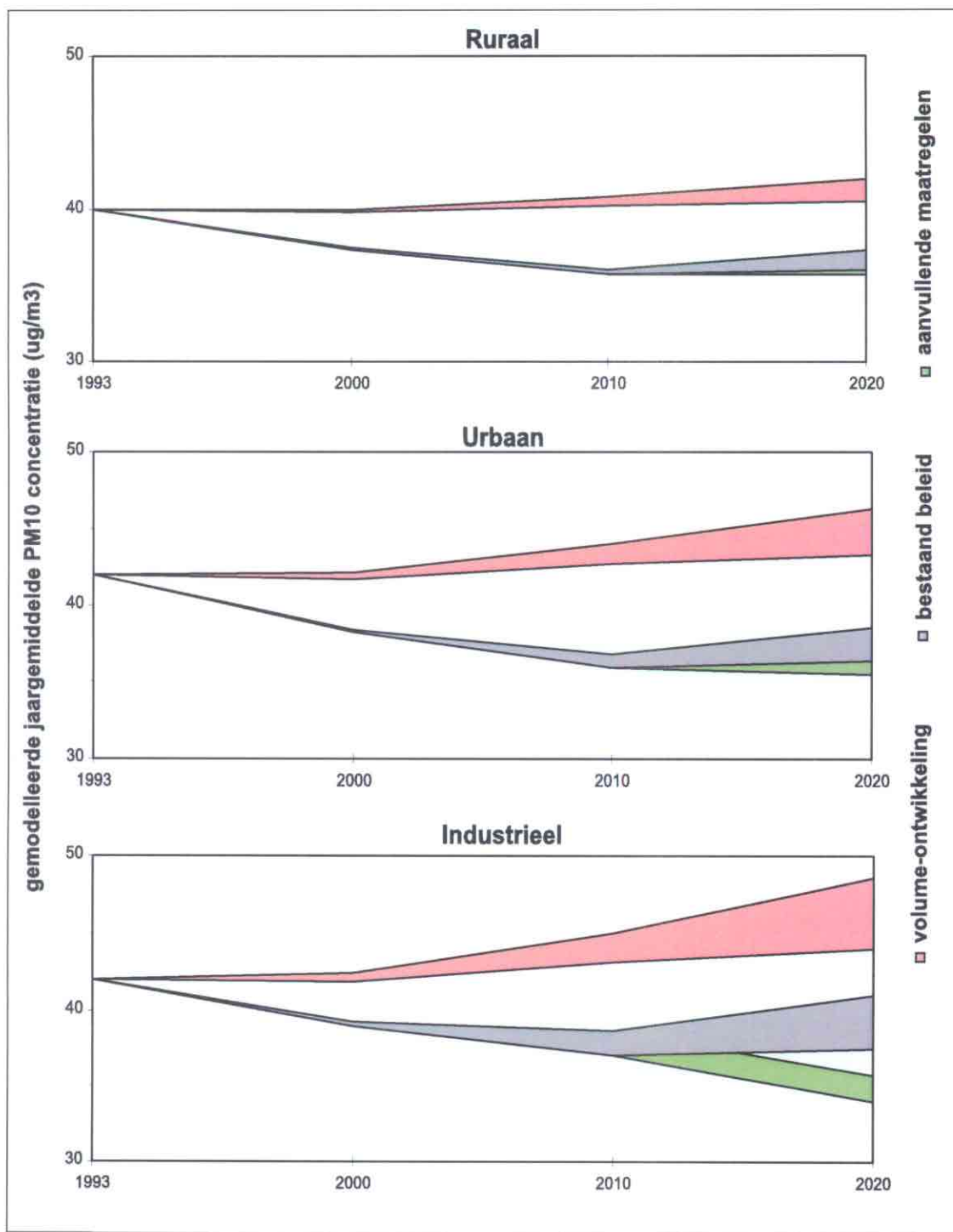
<b>I Ruraal</b>											
Parameter (µg/m <sup>3</sup> )	1993		2000		2010		2020		2020 AM		
	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	
PM <sub>10</sub>	2.7	4.0	1.9	3.7	1.6	3.7	1.8	4.0	1.3	4.0	
PM <sub>2.5</sub>	2.7	3.4	1.9	3.2	1.5	3.2	1.7	3.4	1.3	3.4	
PM <sub>sec</sub>	1.6	3.4	1.2	3.3	1.0	3.3	1.2	3.5	0.8	3.5	
PM <sub>carb</sub>	1.4	0.5	0.9	0.4	0.7	0.4	0.7	0.4	0.7	0.4	

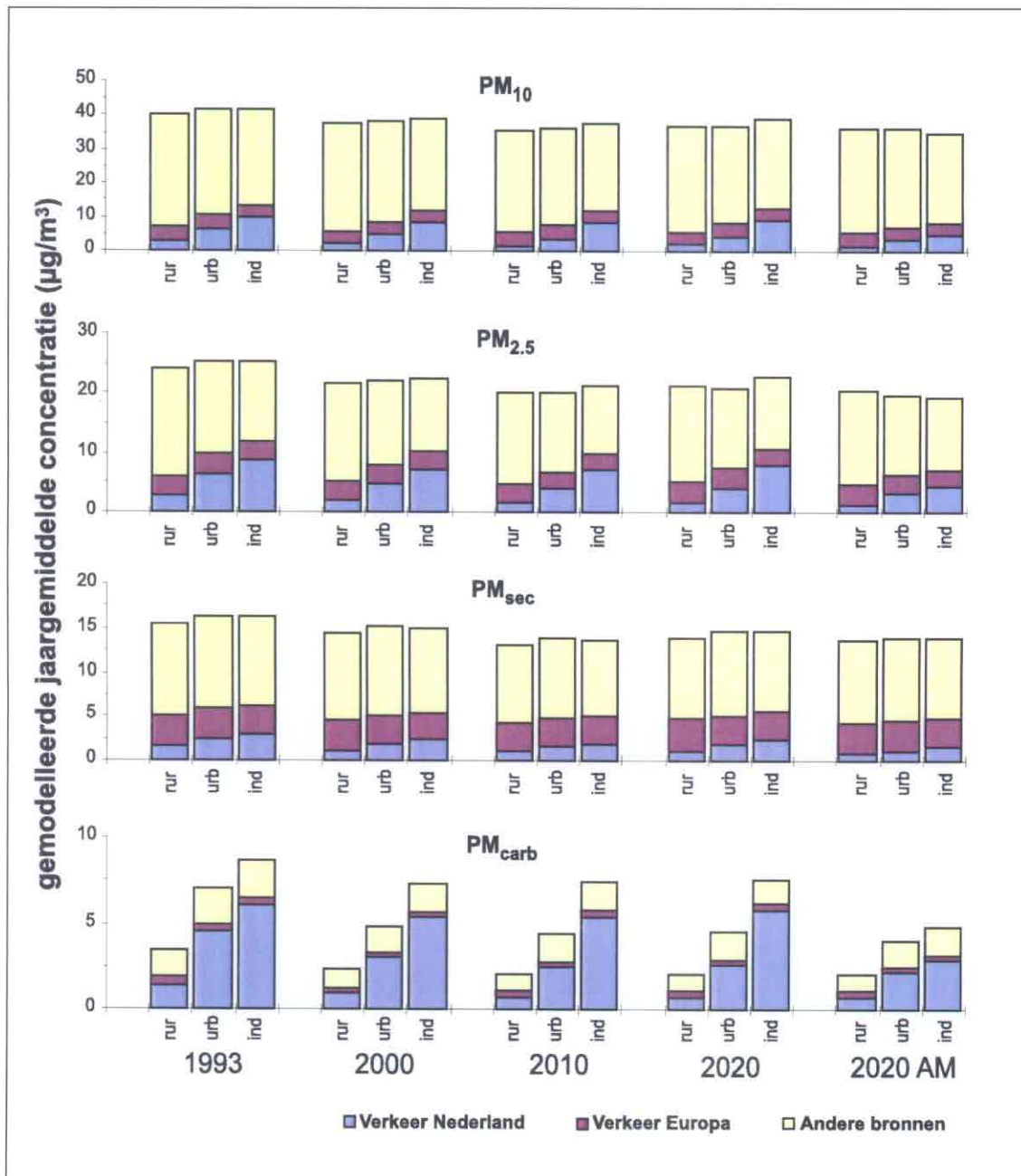
<b>II Urbaan</b>											
Parameter (µg/m <sup>3</sup> )	1993		2000		2010		2020		2020 AM		
	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	
PM <sub>10</sub>	6.5	3.8	4.6	3.6	3.8	3.6	4.5	3.8	3.2	3.8	
PM <sub>2.5</sub>	6.5	3.3	4.6	3.1	3.8	3.1	4.1	3.3	3.1	3.2	
PM <sub>sec</sub>	2.5	3.4	1.9	3.2	1.6	3.2	1.8	3.4	1.2	3.4	
PM <sub>carb</sub>	4.5	0.4	3.0	0.3	2.4	0.3	2.6	0.3	2.2	0.4	

<b>III Industrieel</b>											
Parameter (µg/m <sup>3</sup> )	1993		2000		2010		2020		2020 AM		
	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU	
PM <sub>10</sub>	9.5	3.6	8.2	3.4	8.1	3.4	8.8	3.6	4.7	3.6	
PM <sub>2.5</sub>	8.6	3.1	7.3	2.9	7.1	2.9	7.7	3.1	4.2	3.1	
PM <sub>sec</sub>	3.0	3.2	2.3	3.1	1.9	3.2	2.3	3.3	1.5	3.3	
PM <sub>carb</sub>	6.0	0.4	5.3	0.3	5.4	0.3	5.8	0.3	2.9	0.3	



**Figuur 5** Verloop van de jaargemiddelde PM<sub>10</sub>-concentraties in de drie ruimtelijke gebieden voor de zichtjaren 2000, 2010 en 2020, op basis van alleen volume-ontwikkelingen, rekening houdend met bestaand beleid en rekeninghoudend met aanvullende maatregelen voor verkeer. De bandbreedte geeft de spreiding van de verschillende scenario's aan.



**Figuur 6** Verwachte jaargemiddelde concentraties ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) van de vier fijn stof parameters in de komende 25 jaar in Nederland in het rurale (rur), urbane (urb) en industriële (ind) gebied bij bestaand beleid. De bijdrage van de broncategorie verkeer in Nederland en in de andere landen in Europa is afzonderlijk weergegeven. Voor 2020 is aangegeven wat het effect zal zijn van aanvullende maatregelen (2020AM).

ationale bronnen. Voor de industriële ruimteschaal is de nationale invloed verreweg het grootste. Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door het lokale karakter van de scheepvaart-emissies, die vooral in het industriële gebied leiden tot een hoge bijdrage aan de concentratie van  $PM_{carb}$  en  $PM_{2.5}$ . Op ruraal niveau dragen de Europese bronnen voor een belangrijk deel (ca. 60%) bij aan  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  en  $PM_{sec}$ . Dit verschil wordt voornamelijk veroorzaakt door het lokale karakter van de verkeersemissies, waardoor in het rurale gebied de invloed van Europese verkeersbronnen dominant is dan in het urbane of industriële gebied.

Bestaand beleid leidt tot een reductie van de totale verkeersbijdrage in 2000 van gemiddeld 15%. Deze reductie wordt vooral veroorzaakt door afnemende Nederlandse emissies voor verkeer. De fijn stof-parameters  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  en  $PM_{carb}$  worden door het bestaande beleid het sterkst gereduceerd. Bestaand beleid zorgt ervoor dat de totale verkeersbijdrage in 2010 in het rurale en urbane gebied het sterkst reduceert (15-45%). Op industrieel niveau zijn de reducties onder invloed van het bestaande beleid in 2010 minder sterk (10-20%). Deze geringe reductie wordt vooral veroorzaakt door het feit dat is gerekend met scheepvaart-emissies die niet afnemen in de tijd.

Na 2010 neemt bij bestaand beleid de totale bijdrage van de doelgroep verkeer door volume-ontwikkelingen in de drie ruimtelijke gebieden weer toe. Deze stijging van de verkeersbijdrage in het rurale en urbane gebied ten opzichte van 2010 wordt zowel door Nederlandse als Europese bronnen veroorzaakt. Echter de Nederlandse bijdrage in 2020 bij bestaand beleid is nog steeds lager dan de bijdrage in 1993. Voor de Europese bijdrage is dit niet het geval. Bij bestaand beleid wordt de Europese verkeersbijdrage in 2020 gelijk of zelfs meer dan de bijdrage in 1993. Onder invloed van de aanvullende maatregelen voor verkeer reduceren de Nederlandse bronnen tot ca. 50 % van het 1993-niveau.

In het algemeen geldt dat  $PM_{carb}$  zowel op Nederlands als op Europees niveau het meest gereduceerd wordt (25-50%). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het feit dat verkeer als de belangrijkste bron van  $PM_{carb}$  geldt. Door de lage concentraties van  $PM_{carb}$  dragen deze hoge reducties in het rurale en urbane gebied nauwelijks bij aan de absolute reductie van de PM-concentratie. De bijdrage van  $PM_{sec}$  is door het bestaande beleid en aanvullende maatregelen minder te beïnvloeden dan de andere fijn stof-parameters, voornamelijk vanwege de Europese verkeersbijdrage aan deze parameter.

#### **4.4. Bijdrage van de doelgroep industrie en energieopwekking**

In tabel 4-3 is de bijdrage weergegeven van de broncategorieën industrie, energieopwekking, en handel, dienst en overheid (HDO) in 1993, en onder invloed van bestaand beleid in 2000, 2010 en 2020. In 1993 werd de bijdrage van de doelgroepen industrie en energieopwekking voornamelijk bepaald door de grote Europese bijdrage (60-85%) aan deze doelgroepen. Voor  $PM_{sec}$  zijn de doelgroepen industrie en energieopwekking de belangrijkste bronnen. Voor de andere parameters zijn deze doelgroepen na de doelgroep verkeer de belangrijkste bron.

Bestaand beleid leidt tot een reductie van de totale bijdrage in 2000 van gemiddeld ca. 15% op alle ruimteschalen. Deze reductie wordt bereikt door ongeveer gelijk afnemende Nederlandse en Europese emissies. In 2010 leidt bestaand beleid ertoe dat de totale bijdrage van de broncategorieën gereduceerd worden tot ca. 75-80% van de 1993 niveaus op alle drie de

ruimteschalen. Hierbij valt op dat de Nederlandse bijdrage niet verder reduceert na 2000; de reductie in 2010 is volledig toe te schrijven aan een afname in de Europese emissies van deze broncategorieën. Na 2010 stijgt de Europese bijdrage met ongeveer 5%, maar blijft nog steeds ruim onder het 1993-niveau.

De Nederlandse bijdrage neemt volgens deze berekeningen na 2000 niet verder af. De bijdrage van de drie broncategorieën wordt voor alle zichtjaren bepaald door de Europese bijdrage. Deze bijdrage is ca. 90% voor  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  en  $PM_{sec}$  en ca. 55% voor  $PM_{carb}$ . De Europese bijdrage ligt voor alle ruimteschalen in dezelfde orde van grootte.

**Tabel 4-3 Absolute Nederlandse en Europese bijdrage ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) van de broncategorieën industrie, energieopwekking en handel, dienst en overheid aan de jaargemiddelde fijn stof-concentraties in 1993 en onder invloed van bestaand beleid in 2000, 2010 en 2020**

### I Ruraal

Parameter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1993		2000		2010		2020	
	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU
$PM_{10}$	1.5	9.1	0.9	8.4	0.9	7.4	0.9	7.8
$PM_{2.5}$	0.9	7.5	0.6	7.0	0.6	6.1	0.6	6.5
$PM_{sec}$	0.6	7.0	0.4	6.8	0.4	5.9	0.4	6.5
$PM_{carb}$	0.2	1.0	0.1	0.7	0.1	0.6	0.1	0.6

### II Urban

Parameter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1993		2000		2010		2020	
	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU
$PM_{10}$	2.6	9.1	1.8	8.4	1.7	7.4	1.7	7.8
$PM_{2.5}$	1.2	7.5	0.8	7.0	0.8	6.1	0.8	6.5
$PM_{sec}$	0.7	7.0	0.5	6.8	0.5	6.0	0.5	6.5
$PM_{carb}$	0.4	1.0	0.3	0.7	0.3	0.6	0.3	0.6

### III Industrieel

Parameter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1993		2000		2010		2020	
	NL	EU	NL	EU	NL	EU	NL	EU
$PM_{10}$	2.7	8.8	1.8	8.1	1.8	7.2	1.9	7.5
$PM_{2.5}$	1.4	7.2	1.0	6.7	1.0	5.9	1.0	6.3
$PM_{sec}$	0.7	6.8	0.5	6.6	0.5	5.8	0.5	6.4
$PM_{carb}$	0.6	0.9	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5

#### 4.5. Reductiedoelstelling doelgroepen

Voor het bereiken van een jaargemiddelde  $PM_{10}$  concentratie van  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is berekend dat naast het bestaande beleid en de aanvullende maatregelen, extra maatregelen noodzakelijk zijn die leiden tot een verdere emissiereductie van bijvoorbeeld 15% voor alle Nederlandse bronnen en 35% voor alle Europese bronnen. Om een  $PM_{10}$ -concentratie van  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te bereiken berekenden Wesselink en Bovekamp (RIVM, 1997) reductiepercentages voor de doelgroepen industrie (79%), energie (66%), HDO (95 %), raffinaderijen (65%), verkeer (78%) en buitenland (32 %). Deze reductiepercentages zijn vervolgens ingevoerd in de voor dit rapport gebruikte rekenmethode. De resultaten geven aan dat dan in het industriële, het urbane en het rurale gebied jaargemiddelde  $PM_{10}$ -concentraties van respectievelijk 25, 30 en  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  worden bereikt. Er dient opgemerkt te worden dat de reductiepercentages betrekking hebben op de emissies van 1995, terwijl in de gebruikte rekenmethode wordt uitgegaan van de emissies van 1993. Derhalve is de emissiereductie die heeft plaats gevonden tussen 1993 en 1995 is in deze rekenexercitie niet meegenomen.

#### 4.6. Samenvatting

Volume-ontwikkelingen alleen leiden in 2020 tot  $PM_{10}$ -concentraties in het rurale, urbane en industriële gebied van respectievelijk 41, 45 en  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Door bestaand beleid zullen de  $PM_{10}$ -concentraties in 2010 gedaald zijn tot ca.  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Zonder aanvullend beleid zet de dalende trend zich niet voort; in 2020 bedragen de concentraties ca.  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aanvullende maatregelen leiden tot een geringe verdere reductie tot ca.  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2020. Hierbij worden de sterkste reducties in het urbane en industriële gebied verwacht. Bestaand beleid en aanvullende Nederlandse verkeersmaatregelen zijn niet voldoende om  $PM_{10}$ -concentraties van maximaal  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te realiseren. Hiervoor is een extra inspanning noodzakelijk.

De bijdrage van verkeer wordt bij bestaand beleid tot 2010 gereduceerd. Na 2010 treedt er een lichte stijging op in de totale bijdrage, voornamelijk veroorzaakt door de Europese bijdrage. Onder invloed van aanvullende Nederlandse verkeersmaatregelen daalt de totale verkeersbijdrage na 2010 tot op of onder het niveau van 1993. Voornamelijk in het industriële gebied blijken scheepvaart-emissies een belangrijke bijdrage te leveren aan de concentraties van de fijn stof-parameters. De bijdrage van industrie, energieopwekking en HDO wordt bij bestaand beleid tot 2010 gereduceerd. Na 2010 treedt er een lichte stijging op in de totale bijdrage, voornamelijk veroorzaakt door de Europese bijdrage.

## 5. CONCLUSIES

Deze tussenbalans bevat de voorlopige resultaten van een uitgebreide analyse van de fijn stof-problematiek in Nederland gebaseerd op de meest recente kennis. Omdat de kennis nog onvolledig is, dienen de gepresenteerde conclusies met de nodige voorzichtigheid gehanteerd te worden.

### 5.1. Fenomenologie van fijn stof

De jaargemiddelde  $PM_{10}$ -concentratie in Nederland bedraagt ongeveer  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hierbij wordt een gering verschil waargenomen tussen het rurale en het urbane en industriële gebied. Op ongeveer 5-10 dagen per jaar is de  $PM_{10}$ -concentratie groter dan  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De observaties zijn gebaseerd op een aantal meetlocaties met een zodanig ruimtelijk oplossend vermogen dat mogelijk lokale verhogingen niet worden waargenomen. Berekeningen van de jaargemiddelde concentraties op grond van emissiegegevens met behulp van verspreidingsmodellen komen voor  $PM_{\text{sec}}$  overeen met de gemeten concentraties en maar ten dele voor  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$ .

Van de gemeten  $PM_{10}$  concentratie kan, afhankelijk van de ruimtelijke schaal, 50-75% worden verklaard op basis van de beschikbare emissieschattingen. Een aantal mogelijke oorzaken voor het verschil betreffen zowel de modelberekeningen als de meetresultaten, maar kunnen momenteel niet gekwantificeerd worden. De onzekerheden in de meet- en modelresultaten alsmede de onzekerheid in de aard van het niet verklaarde deel, maken dat de conclusies met voorzichtigheid moeten worden beschouwd. Vooral nog wordt het niet verklaarde deel van de concentraties beschouwd als niet door het beleid te beïnvloeden. Dit is een conservatieve benadering omdat mogelijk nog antropogene bronnen bijdragen aan dit ontbrekende deel en beleid dus mogelijk een groter effect heeft dan op grond van de gepresenteerde gegevens wordt geschat.

De bijdrage van alle Nederlandse bronnen aan de  $PM_{10}$ -concentraties bedraagt ca. 15% voor het rurale gebied, ca. 30% voor het urbane gebied en ca. 40% voor het industriële gebied. Europese bronnen dragen op alle ruimteschalen ca. 35% bij aan de  $PM_{10}$ -concentraties. De bronnen verkeer (Nederland en Europa) en energie-opwekking (Europa) dragen in belangrijke mate bij aan de  $PM_{10}$ -concentraties in Nederland, voornamelijk als  $PM_{\text{sec}}$ . De gemodelleerde  $PM_{\text{carb}}$ -concentraties worden voor 45 tot 75% bepaald door de emissies van het verkeer in Nederland. Daarnaast dragen voornamelijk het verkeer en de energie-opwekking in Europa bij aan de  $PM_{\text{carb}}$ -concentraties. De fractie  $PM_{2.5}$  wordt nagenoeg geheel bepaald door  $PM_{\text{carb}}$  en  $PM_{\text{sec}}$ .

Het aantal meetstations voor met name de urbane en industriële omgeving is beperkt en gevolgtrekkingen ten aanzien van de concentraties en bronbijdragen in dit gebied dienen omzichtig te worden gezien.



## 5.2. Gezondheidsrisico's van fijn stof

Epidemiologische onderzoeken in Europa en Amerika hebben consistente en coherente associaties aangetoond tussen een groot aantal, soms ernstige, gezondheidseffecten en  $PM_{10}$ -concentraties in de buitenlucht. In dergelijk onderzoek zijn tevens associaties met andere componenten van het luchtverontreinigingsmengsel waargenomen. Het is vaak niet mogelijk om de gezondheidseffecten aan een van de afzonderlijke componenten van het mengsel van gassen en deeltjes toe te schrijven. Verondersteld wordt dat fijn stof ook causaal gerelateerd is met de waargenomen effecten. Uitgaande van de epidemiologische onderzoeksresultaten is - met inachtneming van een aantal vooronderstellingen - voor Nederland de omvang van de gezondheidsrisico's geassocieerd met blootstelling aan  $PM_{10}$  geschat:

- Ca. 3 resp. 4% van alle ziekenhuisopnames voor cardiovasculaire en respiratoire aandoeningen (3 resp. 7% onder ouderen);
- Ca. 3% van de sterfte, grotendeels door een cardio-vasculaire of respiratoire oorzaak;
- Ca. 10% van de respiratoire symptomen bij kinderen;
- Ca. 15% van de astma-aanvallen en ca. 20% van het gebruik van bronchodilatoren bij astmatische kinderen.

Deze schattingen zijn gebaseerd op de beste schatting van het gemiddelde effect. Met statistische onzekerheden die voortvloeien uit de onnauwkeurigheden in de resultaten van de afzonderlijke onderzoeken is geen rekening gehouden, noch met verschillen in onderzoekslocatie met betrekking tot luchtverontreiniging, bevolkingssamenstelling, gezondheidszorg, e.d.

Uit toxicologisch onderzoek komen aanwijzingen dat relatief hoge doses deeltjes van verschillende aard schadelijke cardiovasculaire en respiratoire effecten zouden kunnen veroorzaken. Kleinere deeltjes lijken daarbij van groter belang en ook de chemische samenstelling van de deeltjes lijkt van invloed te zijn. Het ontbreekt vooralsnog aan inzicht in de biologische mechanismen die ten grondslag zouden kunnen liggen aan een causaal verband tussen blootstelling aan  $PM_{10}$  en de waargenomen gezondheidseffecten. Hoewel het plausibel is dat fijn stof een rol kan spelen bij het veroorzaken van de waargenomen effecten, is het niet duidelijk welke fractie of component van fijn stof daarvoor verantwoordelijk kan zijn.

Resultaten van epidemiologisch en toxicologisch onderzoek duiden op het bestaan van effecten die kunnen worden toegeschreven aan zowel de deeltjes als de gassen in het mengsel van luchtverontreiniging. Hoewel fijn stof een belangrijke factor kan zijn bij het veroorzaken van de effecten wordt steeds meer aangenomen dat blootstelling aan het totale luchtverontreinigingsmengsel van gassen, dampen en deeltjes verantwoordelijk is voor de gezondheidsrisico's.

### 5.3. Prognoses voor fijn stof

Bij de vergelijking van de berekende en de gemeten concentraties kunnen de onzekerheden in de emissieschattingen een rol spelen. Ten aanzien van de effecten van maatregelen werkt deze onzekerheid door in de evaluatie ervan in absolute zin. Verwacht wordt dat de effecten van maatregelen uitgedrukt als relatieve veranderingen minder afhangen van deze onzekerheden.

Door bestaand beleid zullen de  $PM_{10}$ -concentraties in 2010 gedaald zijn tot ca.  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De dalende trend zet zich daarna niet voort. Aanvullende maatregelen leiden tot een geringe verdere reductie tot ca.  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 2020. De bijdrage van verkeer wordt bij bestaand beleid tot 2010 gereduceerd. Na 2010 treedt er een lichte stijging op, voornamelijk door de Europese bijdrage.

Onder invloed van extra maatregelen daalt de totale verkeersbijdrage, voornamelijk door de afname van de emissies van verkeer in Nederland. De bijdrage van industrie, energieopwekking en HDO wordt bij bestaand beleid tot 2010 gereduceerd. Na 2010 treedt er een lichte stijging, voornamelijk vanwege de Europese bijdrage. Bestaand beleid en aanvullende maatregelen lijken niet voldoende om  $PM_{10}$ -concentraties van maximaal  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  te kunnen realiseren.

### 5.4. Algemene conclusies

De jaargemiddelde concentraties van  $PM_{10}$  in Nederland bedragen ca.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Er bestaat slechts een gering verschil in  $PM_{10}$ -concentraties tussen het rurale, urbane en industriële gebied. De samenstelling van fijn stof in de onderscheiden gebieden is echter wel verschillend. Op basis van de antropogene emissie van primair aerosol en van gassen waaruit secundair aerosol ontstaat wordt 50, 60 en 75% van de gemeten jaargemiddelde concentraties van  $PM_{10}$  berekend voor respectievelijk het rurale, urbane en industriële gebied.

De jaargemiddelde concentraties van  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  en  $PM_{\text{sec}}$  nemen tot 2010 af met ca. 15% ten opzichte van het referentiejaar 1993. In 2010 wordt voor het rurale, urbane en industriële gebied in Nederland een  $PM_{10}$  concentratie berekend van ca.  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Na 2010 wordt een geringe stijging verwacht. De fijn stof-concentraties zullen echter 10% onder het niveau van 1993 blijven. Voor de jaargemiddelde concentratie van  $PM_{\text{carb}}$  wordt voor het rurale en urbane gebied in 2000, 2010 en 2020 een afname van ca. 35% t.o.v. berekend. De trend in  $PM_{10}$  wordt vrijwel volledig bepaald door de reductie van emissies van gassen waaruit secundair aerosol ontstaat, én door de reductie van de emissie van primair aerosol door wegverkeer.

Op basis van de vooronderstelling dat het gezondheidsrisico door blootstelling van de bevolking aan buitenlucht proportioneel geassocieerd is met de  $PM_{10}$ -concentratie en dat er geen drempelwaarde zou bestaan waaronder gezondheidseffecten niet meer voorkomen, wordt een afname van het risico verwacht van ca. 10, 15 en 10% voor respectievelijk de jaren 2000, 2010 en 2020. De reductie van  $PM_{10}$  gaat gepaard met een ongeveer even grote procentuele reductie van een aantal andere, gezondheidsrelevant geachte, parameters van deeltjesvormige luchtverontreiniging zoals  $PM_{2.5}$  en  $PM_{\text{sec}}$ ; de reductie van  $PM_{\text{carb}}$  is zelfs meer dan proportioneel.

Op basis van deze evaluatie en met inachtneming van de onzekerheden in de prognoses wordt verondersteld dat de toxische potentie van fijn stof, voorzover dat gekarakteriseerd is door  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{sec}$  en  $PM_{carb}$ , ten hoogste even groot is als het hedendaagse fijn stof. Het bestaande emissiereductie-beleid voor  $PM_{10}$  zal op basis van deze beschouwing daarom naar verwachting leiden tot een reductie van het gezondheidsrisico ("no-regret"-beleid). Bekend is dat dit eveneens zal leiden tot verlaging van gezondheidsrelevante luchtverontreinigende gasen als ozon, stikstofdioxide en koolmonoxide en dat dit beleid derhalve tevens bijdraagt aan verminderde zure depositie en verminderde kooldioxide-emissies.

Ten aanzien van deeltjesvormige luchtverontreiniging kan vooralsnog geen uitspraak gedaan worden over de voor gezondheidsrisico's meest relevante fractie van fijn stof, door het ontbreken van kennis over een causale relatie. De resultaten van de huidige evaluatie impliceert dat er vooralsnog geen redenen zijn om een luchtkwaliteitsindicator gerelateerd aan gezondheidseffecten anders dan  $PM_{10}$  aan te bevelen.

## 6. REFERENTIES

- Abbey DE, Lebowitz MD, Millis PK, et al. (1995). Long-term ambient concentrations of particulates and development of chronic disease in a cohort of nonsmoking California residents. *Inhalation Toxicol.* 7:19-34.
- Aben J (ed.) (1994). Luchtkwaliteit Jaaroverzicht 1993. RIVM-rapportnr. 7221010 014.
- Annema JA, et al. (1994). Basisdocument Fijn stof. RIVM rapportnr. 710401 029.
- Bloemen, HJTh, Mennen M, Meulen A van der (1995). Characterization of episodic air pollution in cities (CHEAP). RIVM rapportnr. 723301 003.
- Bloemen, HJTh, Putten EM van (1997). Characterization of ambient particulate matter in the Netherlands. RIVM rapportnr. 650010 008 (in bewerking).
- Bloemen HJTh, Buringh E, Loos S de, Rombout PR (1997). Integrated Assessment of Particulate Matter in the Netherlands - Emissions, air quality and public health risk. RIVM rapportnr. 650010 001 (in bewerking).
- Burnett RT, Cakmak S, Brook JR, Krewski D (1997). The role of particle size and chemistry in the association between summertime ambient air pollution and hospitalization for cardio-respiratory diseases. *Environ. Health Perspect.*; 105:614-620.
- CPB (1996). Omgevingsscenario's Lange Termijn Verkenning 1995-2020. (Werkdocument 89). Centraal Planbureau, Den Haag.
- Chow JC (1995). Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles. *J. Air Waste Manage. Assoc.*; 45:320-382.
- Dab W, Medina S, Quénel P, et al. (1996). Short term respiratory health effects of ambient air pollution: results of the APHEA project in Paris. *J. Epidemiol. Comm. Health*; 50(Suppl 1): S42-46.
- Darlington TL, Kahlbaum DF, Heuss JM, Wolff GT (1997). Analysis of PM<sub>10</sub> trends in the United States from 1988 through 1995. *J. Air Waste Manage. Assoc.*; 47:1070-1078.
- Delfino RJ, Murphy-Moulton AM, et al. (1997). Effects of ozone and particulate air pollution on emergency room visits for respiratory illnesses in Montreal. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 155:568-576.
- Dockery DW, Pope CA III, Xu X, et al. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N. Engl. J. Med.*; 329:1753-1759.
- Dreher KL, Jaskot R, Richards J, et al. (1996). Acute pulmonary toxicity of size-fractionated ambient air particulate matter (abstract). *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 153:A15.
- EPA (1996). Air Quality Criteria for Particulate Matter. Document EPA/600/P-95/001aF. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, USA.
- Freijer JI, Cassee FR, Bree L van (1997). Modelling of particulate matter deposition in the human airways. RIVM rapportnr. 624029 001.
- Gezondheidsraad (1995). Commissie Gezondheidseffecten van Luchtverontreiniging. Deeltjesvormige luchtverontreiniging. Den Haag: Gezondheidsraad, 1995, publicatienr. 1995/14.

- Godleski JJ, Sioutas C, Katler M, Catalano P, Koutrakis P (1996). Death from inhalation of concentrated ambient air particles in animal models of pulmonary disease. Proc. 2nd Colloquium on Particulate Air Pollution and Health. Park City, May 1996, pp: 4/136-143.
- Godleski JJ, Sioutas C, Verrier RL, et al. (1997). Inhalation exposure of canines to concentrated ambient air particles (abstract). Am. J. Respir. Crit. Care Med.; 155(4):A246.
- Gordon T, Nadziejko C, Fang EP, et al. (1997). Adverse effects of ambient particulate matter in compromised animal models. Proc. Symposium on Environmental Health, Praag, Tsjechië, 1997 (in druk).
- Hartog PR den, Swaan P (1997). Analyse van extreme concentraties luchtverontreiniging. RIVM rapport (in bewerking).
- HMSO (1997). The United Kingdom national air quality strategy. Department of the Environment and the Scottish Office (UK).
- Ito K, Kinney PL, Thurston GD (1995). Variations in PM-10 concentrations within two metropolitan areas and their implications for health effects analyses. Inhalation Toxicol.; 7:735-45.
- Ito K, Thurston GD (1996). Daily PM10/mortality associations: an investigation of at-risk subpopulations. J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol.; 6:79-95.
- Jaarsveld JA van (1995). Modelling the long-term atmospheric behaviour of pollutants on various spatial scales. Proefschrift, Rijksuniversiteit Utrecht, ISBN 90-393-0959-7.
- Jakab GJ, Hemenway DR (1993). Inhalation coexposure to carbon black and acrolein suppresses alveolar macrophage phagocytosis and TNF- $\alpha$  release and modulates peritoneal macrophage phagocytosis. Inhalation Toxicol.; 5:275-289.
- Kinney PL, Ito K, Thurston GD (1995). A sensitivity analysis of mortality/PM10 associations in Los Angeles. Inhalation Toxicol.; 7:59-69.
- Lemos M, Lichtenfels AJFC, Amaro Jr E, et al. (1994). Quantitative pathology of nasal passages in rats exposed to urban levels of air pollution. Environ. Res.;66:87-95.
- Lipfert FW, Wyzga RE (1997). Daily mortality and size-fractionated particulate matter in six U.S. metropolitan areas: the implications of measurement and modeling uncertainties. J. Air Waste Manage. Assoc.; 47:517-523.
- Loos S de, et.al. (1995). RIVM, interne startnotitie "Fijn stof-onderzoek".
- Marra M, Fischer PH (1997). Environmental epidemiological studies of the associations between respiratory health and exposure to air pollution related to road traffic. RIVM-rapport (in bewerking).
- Miller FJ, Anjilvel S, Ménache MG, Asgharlan B, Gerrity TR (1995). Dosimetric issues relating to particle toxicity. Inhalation Toxicol.; 7:615-632.
- Moolgavkar SH, Luebeck EG, Hall TA, Anderson EL (1995). Air pollution and daily mortality in Philadelphia. Epidemiol.; 6:476-84.
- Noordijk H, Leeuw FAAM de, 1994, Stofvormige luchtverontreiniging. In: Luchtkwaliteit Jaaroverzicht 1993. Aben J. (ed). RIVM-rapportnr. 722101 014.
- Ostro B, Sanchez JM, Aranda C, Eskeland GS (1996). Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile. J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol.; 6:97-11

- Pope III CA, Kalkstein LS (1996). Synoptic weather modeling and estimates of the exposure-response relationship between daily mortality and particulate air pollution. *Environ. Health Perspect.*; 4:414-20.
- Pope III CA, Thun MJ, Namboodiri MM, et al. (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.
- Pritchard RJ, Ghio AJ, Lehman JR, et al. (1996). Oxidant generation and lung injury after particulate air pollution exposure increase with the concentrations of metals. *Inhalation Toxicol.*; 8:457-477.
- RIVM (1995). Kwantitatieve schatting van het gezondheidseffect voor de Nederlandse bevolking door blootstelling aan PM<sub>10</sub> ("fijn stof"). RIVM rapportnr. 623710 002.
- RIVM (1996). Emissie-databestand gebaseerd op RIM database.
- RIVM (1997a). Nationale Milieuverkenning 4 1997 - 2020. Samson H.D. Tjeenk Willink bv. Alphen aan den Rijn.
- RIVM (1997b). Achtergronden bij Nationale Milieuverkenning 4 1997 - 2020. Samson H.D. Tjeenk Willink bv. Alphen aan den Rijn.
- Romieu I, Meneses F, Ruiz S, et al. (1996). Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 154:300-307.
- Rudell B, Leden M-C, Hammerström U, et al. (1996). Effects on symptoms and lung function in humans experimentally exposed to diesel exhaust. *Occup. Environ. Med.*; 53:658-662.
- Sagai M, Saito H, Ichinose T, et al. (1994). Biological effects of diesel exhaust particles. I. In vitro production of superoxide and in vivo toxicity in mice. *Free Radical Biol. Med.*; 14:37-47.
- Saldiva PHN, King M, Delmonte VLC, et al. (1992). Respiratory alterations due to urban air pollution: an experimental study in rats. *Environ. Res.*; 57:19-33.
- Saldiva PHN, Lichtenfels AJFC, Paiva PSO, et al. (1994). Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environ. Res.*; 65:218-225.
- Salvi S, Blomberg A, Rudell B, et al. (1997). Acute inflammatory responses in the airways and peripheral blood following short-term exposure to diesel exhaust in healthy human volunteers. (manuscript aangeboden voor publicatie)
- Samet JM, Zeger SL, Kelsall JE, Xu J, Kalkstein LS (1997). Air pollution, weather, and mortality in Philadelphia 1973-1988. In: *Particulate Air Pollution and Daily Mortality: Analyses of the Effects of Weather and Multiple Pollutants (The Phase I.B Report of the Particle Epidemiology Evaluation Project)* pp 1-29. Health Effects Institute, Cambridge, MA, USA.
- Schwartz J (1994a). PM<sub>10</sub>, ozone, and hospital admissions for the elderly in Minneapolis-St. Paul, Minnesota. *Arch. Environ. Health*; 49:366-374.
- Schwartz J (1994b). Air pollution and hospital admissions for the elderly in Birmingham, Alabama. *Am. J. Epidemiol.*; 139:589-598.
- Schwartz J (1994c). Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 150:648-655.

- Schwartz J (1995). Short term fluctuations in air pollution and hospital admissions of the elderly for respiratory disease. *Thorax*; 50:531-538.
- Schwartz J (1996). Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiol.*; 7:20-28.
- Schwartz J, Dockery DW, Neas LM (1996). Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J. Air Waste Manage. Assoc.*; 46:927-939.
- Schwartz J, Dockery DW, Neas LM, et al. (1994). Acute effects of summer air pollution on respiratory symptom reporting in children. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*; 150:1234-1242.
- Schwartz J, Morris R (1995). Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Detroit, Michigan. *Am. J. Epidemiol.*; 142:23-35.
- Spix C, Wichmann HE (1996). Daily mortality and air pollution: findings from Köln, Germany. *J. Epidemiol. Comm. Health*; 50(Suppl 1): S52-58.
- Styer P, McMillan N, Gao F, Davis J, Sacks J (1995). The effects of airborne particulate matter on daily death counts. *Environ. Health Perspect.*; 103:490-497.
- Meulen A van der, et al. (1987) Criteriadocument "Fijn stof". RIVM rapportnr 738513006 Publicatiereeks Lucht, nr. 59
- Vedal S (1997). Ambient Particles and Health: Lines that Divide. *J. Air Waste Manage. Assoc.*; 47:551-581.
- Verhoeff AP, Hoek G, Schwartz J, Wijnen JH van(1996). Air pollution and daily mortality in Amsterdam. *Epidemiol.*; 7:225-30.
- Wal JT van der, Janssen LHJM (1996). Description and analysis of ambient fine particle concentration in the Netherlands. RIVM rapportnr. 723301 007.
- Wesselink LG, Smeets WLM (1997). Personal communications.
- Wesseling LG, Bovekamp A van den (1997). Emissiereductiepercentages voor prioritaire stoffen. Berekening van emissiereductiepercentages op grond van milieukwaliteitsdoelstellingen ten opzichte van de emissies in 1995. RIVM rapportnr 601503 009 (in bewerking).
- WHO (1987). Air quality guidelines for Europe. World Health Organisation, Regional Office for Europe. WHO regional publications. European series; no. 23.
- Zee S van der, Brunekreef B, Hoek G (1993). Interimrapportage "Blootstelling aan en effecten van wintersmog op de menselijke gezondheid in stedelijke gebieden in Nederland, een panelstudie". Landbouwwuniversiteit Wageningen.
- Zee S van der, Hoek G, Roemer W, et al. (1996). Eindrapportage "Blootstelling aan en effecten van wintersmog op de menselijke gezondheid in stedelijke gebieden in Nederland, een panelstudie". Landbouwwuniversiteit Wageningen, Rapportnr. 64199201 / 260408.
- Zmirou D, Barumamdzadeh T, Balducci F, et al. (1996). Short term effects of air pollution on mortality in the city of Lyon, France, 1985-90. *J. Epidemiol. Comm. Health*; 50(Suppl 1): S47-51.

## 7. BIJLAGEN

**Bijlage A: Emissies per categorie voor Nederland en overige landen in Europa in 1993 (ton/jaar).**

Categorie	Subcategorie	PM <sub>10</sub> prim	PM <sub>2.5</sub> prim	NH <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>carb</sub>
<b>Nederland:</b>							
Industrie	Voedingsmiddelen en tabaksindustrie	2453	827	329	4224	353	0
	Olie raffinerijen	6166	3	9	30006	77335	3
	Chemische industrie	3301	2487	4101	33911	14328	2487
	Bouwmaterialen, keramiek en glasindustrie	1005	886	582	6595	5272	0
	IJzer en staalindustrie	6894	5048	209	10166	13797	0
	Cement industrie	350	264	0	2184	624	0
	Metallurgische industrie	133	78	12	826	353	0
	Overig	1259	630	557	20435	6864	0
Energie	Energiecentrales	713	478	0	69471	25634	478
	Diffusie bronnen	7526	1254	0	25274	1412	1254
Verkeer	Personenauto's benzine	1512	1512	0	114100	1837	1512
	Personenauto's diesel	3164	3160	0	13001	3648	3160
	Personenauto's LPG	176	176	0	15734	0	176
	Bestelauto's benzine	72	72	0	6019	59	72
	Bestelauto's diesel	1888	1888	0	10662	2626	1888
	Bestelauto's LPG	8	8	0	1312	0	8
	Vrachtwagens	4222	4220	0	123272	7589	4220
	Bussen	844	844	0	11192	730	844
	Bandenslijtage	620	56	0	0	0	0
	Wegslijtage	688	138	0	0	0	0
	Spoorwegen	12	12	0	1866	113	12
	Scheepvaart	3805	3810	0	52909	13165	3810
	Overig	3544	3544	0	40874	2596	3544
Landbouw	Veeteelt	2112	0	213440	0	0	0
	Pluimveeteelt	0	0	0	0	0	0
	Drogerijen	0	0	0	0	0	0
	Landbewerking	0	0	0	0	0	0
	Oogsten	0	0	0	0	0	0
	Overig	0	0	0	11808	495	0
Overige	Afvalverbranding	441	259	0	6076	2471	259
	Handel, dienst en overheid	1429	270	0	12813	2021	0
	Bouwindustrie en sloop	0	0	0	827	2138	0
	Consumenten	1578	1580	8412	0	0	1580
Natuur	Uitwisseling met de bodem	0	0	0	18920	0	0
<b>Europa:</b>							
Industrie		3547800	1958386	0	1427054	2589989	725328
Energie		4623178	2459808	0	9335665	31460314	2459808
Verkeer		586570	394200	0	13023107	1126718	394200
Landbouw		33996	15697	8523550	0	0	0
Overige		212237	130348	0	0	0	129613



## **Bijlage B: CPB Scenario's**

### **Inleiding**

Voor het maken van verkenningen zijn door het Centraal Planbureau voor een periode van ca. 25 jaar drie toekomstbeelden - scenario's - ontwikkeld (CPB, 1996). Deze scenario's Divided Europe (DE), European Coordination (EC) en Global Competition (GC) verschillen in veronderstellingen ten aanzien van de mondiale economische ontwikkeling, de (West-) Europese economische en politieke ontwikkelingen, de demografische en sociaal-culturele ontwikkelingen en de ontwikkelingen van de technologie. Samengevat is in EC en GC een hoge groei van de wereldhandel verondersteld, in DE een lage. In EC is een effectieve overheidscoördinatie verondersteld, terwijl in GC sprake is van een goede werking van het marktmechanisme. In DE werken noch het marktmechanisme noch de overheidscoördinatie in Europa goed. Voor alle scenario's geldt dat de integratie van de Europese Unie (EU) voortgaat in flexibele vorm, dat de EU verder uitbreidt en dat de Euro tot stand komt. De wijze waarop deze ontwikkelingen plaats vinden, verschilt echter per scenario. De economische groei in Nederland ligt hoger dan in de rest van de EU, voornamelijk vanwege de grotere bevolkingsgroei. De hoogste groei op mondiaal economisch gebied vindt plaats in Azië, exclusief Japan. Een meer uitgebreide beschrijving van de scenario's is te vinden in het achtergronddocument behorend bij de Nationale Milieuverkenning (RIVM, 1997b)

### **Cijfermateriaal scenario's**

Op dit moment zijn voor de Pentagonparameters  $PM_{10}$  en secundair aerosol (in de vorm van de precursorgassen  $SO_2$ ,  $NO_x$  en  $NH_3$ ) gegevens beschikbaar. Cijfermateriaal voor  $PM_{2.5}$  en carbonaceous aerosol worden uit  $PM_{10}$  afgeleid. Het tot stand komen van de verschillende scenario's voor de drie zichtjaren 2000, 2010 en 2020 is voor de Pentagonparameters verschillend op Nederlands en Europees niveau. De maatregelen die genomen worden, zijn gebaseerd op volume en technische maatregelen. Door alleen volume-ontwikkelingen in de scenario's door te voeren is het mogelijk te berekenen welke invloed de technische maatregelen hebben op de emissie- en concentratietrends. Naast deze berekeningen zijn er voor de doelgroep verkeer voor het jaar 2020 extra maatregelen (zowel volume als technisch) doorgerekend.

#### *PM<sub>10</sub>*

Het referentiejaar voor de emissies van  $PM_{10}$  in Nederland is 1993. De emissiecijfers zijn afkomstig uit de Emissieregistratie. De cijfers voor 2000/2010/2020 worden berekend op basis van vastgesteld beleid (EC, DE, GC). Voor de doelgroep industrie houdt dit in dat de scenario's gebaseerd zijn op lokaal beleid, de vergunningen. Voor de doelgroep verkeer zijn de scenario's gebaseerd op de afspraken zoals die gemaakt zijn in het kader van het AUTO-OIL programma van de EU. De aanvullende maatregelen voor de doelgroep verkeer bestaan onder andere uit verdergaande emissie-aanscheringen, snelheidsreductie op autosnelwegen en het van kracht worden van de emissiewetgeving voor binnenschepen en  $CO_2$ -emissienormering voor personenauto's. Deze maatregelen hebben voor implementatie een

aantal jaar nodig, vandaar dat deze maatregelen pas vanaf 2010 gaan gelden. Het referentie jaar voor de emissies van  $PM_{10}$  in Europa is 1990. De emissiecijfers zijn, in opdracht van RIVM, berekend door TNO (TNO, in prep. 1997). Er gelden voor  $PM_{10}$  een aantal aannames en vooronderstellingen. Ten eerste zijn in de emissieberekening verschillen tussen landen in productie- en bestrijdingstechnologie niet meegenomen. Verder is er onderscheid gemaakt tussen West- en Oost Europa. Impliciet wordt voor de andere West Europese landen uitgegaan van dezelfde ontwikkelingen in sectoren en dezelfde maatregelen ter vermindering van de fijn stof-emissies als in Nederland. De emissieontwikkeling in Oost Europa is ingeschat op basis van (1) de verwachte afname in het verbruik van vaste/vloeibare brandstoffen (volgens "European energy to 2020", EU, 1996) en (2) te verwachten emissiereducties bij aanpassing van proces- en bestrijdingstechnologie aan de West-Duitse stand van de techniek in 1990. De penetratie van nieuwe technologie in Oost-Europa is zeer voorzichtig ingeschat.

#### *Precursorgassen voor secundair aerosol*

Het referentiejaar voor de emissies van  $SO_2$ ,  $NO_x$  en  $NH_3$  in Nederland is 1993. De emissiecijfers zijn afkomstig uit de Emissieregistratie. Het Nederlandse verzuringsbeleid heeft model gestaan voor de maatregelen van de scenario's. Het referentiejaar van de gassen voor Europa is 1990. De cijfers voor deze gassen zijn gebaseerd op de officiële door landen aan de UN/ECE gerapporteerde gegevens in het kader van de "Convention on Long Range Transboundary Air Pollution" (UN/ECE, nov 1996). Voor  $SO_2$  en  $NO_x$  is verondersteld dat het buitenland de in UN/ECE "Current Reduction Plans" scenario (CRP) aangekondigde emissiedoelstellingen zal halen. De emissies in 2000 en 2010 zijn voor alle drie de scenario's gelijk. Het CRP-scenario geeft geen emissies voor 2020, deze zijn afgeleid van de Nederlandse emissieontwikkeling voor  $SO_2$  en  $NO_x$  voor de periode 2010-2020. Voor  $NH_3$  wordt een onderscheid gemaakt in de bijdrage van België en de rest van Europa. De emissie van  $NH_3$  in 2000 is voor het Vlaamse gewest gebaseerd op het Vlaamse milieumaatschappij (VLM) 'trendscenario'. De emissie voor 2010 is gebaseerd op het VLM 'beleidsscenario'; de VLM geeft geen cijfers voor 2020. Als gevolg van de inkrimping van de veestapel wordt een emissiereductie van ca. 20% verwacht. Het Waalse gewest verwacht stabilisatie in 2010 op het niveau van 1994 en in 2020 ca. 20% reductie door inkrimping van de veestapel. De emissies in de rest van Europa zijn voor 2010 gebaseerd op het CRP-scenario van de UN/ECE. Voor landen die geen doelen hebben gerapporteerd zijn de emissies van  $NH_3$  gebaseerd op een "reference scenario" opgesteld door IIASA (EU/DG XI, okt 1996). Emissies voor 2000 zijn geschat door lineaire interpolatie en die voor 2020 zijn gelijk gesteld aan die van 2010.