

**Beperkte verspreiding**

(Contract n°31501 )

**Afstemmen van  
milieumeetnetten  
en –meetstrategieën op het  
biomonitoringsprogramma**

**Eindrapport**

G. Koppen, F. Lefebvre, A. Colles, K. Van de Vel, J. Vliegen, L. Regniers,  
F. Geyskens, F. Boonen, L. Verbeke, E. Goelen, G. Schoeters

**Studie uitgevoerd in opdracht van Departement Leefmilieu, Natuur & Energie (LNE), dienst  
Milieu & Gezondheid**

**Referentienummer: DTG/OL200200238/3186/M&G**

**2007/TOX/R/017**

Maart 2007





# INHOUD

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SAMENVATTING</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>SITUERING VAN DE OPDRACHT</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>1 DOELSTELLING</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>2 AANPAK</b> .....   | <b>10</b> |
| <b>3 STUDIEPOPULATIE</b> .....  | <b>12</b> |
| 3.1 REKRUTERING .....   | 12        |
| 3.2 DEELNEMERS AAN DE DEELCAMPAGNE DOSIMETRIE VAN VLUCHTIGE ORGANISCHE STOFFEN (VOS) 13   |           |
| 3.3 LOKALISATIE VAN DEELNEMERS EN HUN SCHOLEN .....   | 13        |
| 3.4 KARAKTERISTIEKEN VAN DE JONGEREN .....  | 15        |
| <b>4 MATERIAAL EN METHODEN</b> .....  | <b>18</b> |
| 4.1 METINGEN IN DE MENS.....  | 18        |
| 4.1.1 <i>Bloed- en urinemetingen en gegevens uit de dataset van de Vlaamse humane biomonitoringscampagne</i> .....                          | 18        |
| 4.1.2 <i>Vluchtige organische Stoffen (VOS) gemeten via dosimetrie bij jongeren uit twee Vlaamse regio's</i> .....                          | 19        |
| 4.2 MODELLEREN VAN EMISSIEDRUKKEN EN CONCENTRATIES (IMMISSIES).....   | 20        |
| 4.2.1 <i>Berekening emissiedrukken a.d.h.v. emissiegegevens van huis-houdens, bedrijven, landbouw, verkeer, handel &amp; diensten</i> ..... | 24        |
| 4.2.2 <i>Berekening van concentraties (immissies) met het AURORA lucht-kwaliteitsmodel</i> ....   | 28        |
| 4.2.3 <i>Voor- en nadelen van emissiedrukgegevens vs. concentratie-berekeningen</i> .....   | 31        |
| 4.2.4 <i>Berekening van individuele emissiedrukken of concentraties</i> .....   | 32        |
| 4.3 VERGELIJKING VAN DE GEMODELLEERDE CONCENTRATIES .....   | 33        |
| 4.3.1 <i>Vergelijking gemodelleerde meteorologische gegevens met meetwaarden</i> .....  | 33        |
| 4.3.2 <i>Vergelijking gemodelleerde concentraties met meetwaarden</i> .....   | 35        |
| 4.4 CORRELATIE VAN BIOMERKERS VS. MILIEUGEGEVENS .....  | 35        |
| 4.4.1 <i>Relatie modelberekeningen – biomerkergegevens</i> .....  | 36        |
| 4.4.2 <i>Relatie milieumeetgegevens – biomerkergegevens</i> .....   | 38        |
| 4.4.3 <i>Invloedsfactoren van de individuele blootstellings- en effectmetingen (biomerkers)</i> ....  | 40        |
| <b>5 RESULTATEN</b> .....   | <b>42</b> |
| 5.1 BIOMERKERMETINGEN .....   | 42        |
| 5.1.1 <i>Bloed-, urinemetingen en gezondheidsgegevens van de jongeren</i> .....   | 42        |
| 5.1.2 <i>Dosimeterbepalingen bij 179 jongeren</i> .....   | 43        |
| 5.2 BEREKENDE EMISSIEDRUKKEN EN CONCENTRATIES .....   | 44        |
| 5.2.1 <i>Berekende emissiedrukken</i> .....   | 44        |
| 5.2.2 <i>Meteoparameters</i> .....  | 57        |
| 5.2.3 <i>Berekende concentraties</i> .....  | 58        |
| 5.2.4 <i>Individuele emissiedrukken en concentraties van de deelnemers</i> .....  | 66        |
| 5.3 VERGELIJKING GEMODELLEERDE VS. GEMETEN LUCHTKWALITEIT.....  | 71        |
| 5.3.1 <i>Afwijking van gemodelleerde vs. gemeten gegevens op basis van uurlijkse waarden</i> .71  |           |
| 5.3.2 <i>Correlatie tussen gemodelleerde en gemeten gegevens op basis van daggemiddelden</i><br>78  |           |
| 5.3.3 <i>Besluit van de concentratieberekeningen</i> .....  | 83        |
| 5.4 CORRELATIE MILIEUGEGEVENS VS. BIOMERKERMETINGEN .....   | 85        |
| 5.4.1 <i>Correlatie tussen gemodelleerde concentraties van één pollutant en het gehalte gemeten in bloed of urine van jongeren</i> .....    | 85        |
| 5.4.2 <i>Gemodelleerde concentraties aan luchtpolluenten vs. geïntegreerde blootstelling- of effectmetingen bij jongeren</i> .....          | 91        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 5.4.3      | Correlatie tussen concentraties gemeten door VMM en biomerkers gemeten bij jongeren.....                                   | 98         |
| <b>6</b>   | <b>AANBEVELINGEN EN SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK.....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>7</b>   | <b>GEBRUIKTE BEGRIPPEN EN AFKORTINGEN.....</b>   | <b>102</b> |
| 7.1        | GEBRUIKTE BEGRIPPEN .....  | 102        |
| 7.2        | AFKORTINGEN.....   | 103        |
| <b>8</b>   | <b>REFERENTIES .....</b>   | <b>104</b> |
| <b>9</b>   | <b>BIJLAGEN.....</b>   | <b>108</b> |
| BIJLAGE 1: | GEOGRAFISCHE SPREIDING VAN DE EMISSIEGEGEVENS .....  | 108        |
|            | <i>Sector bevolking.....</i>   | <i>108</i> |
|            | <i>Sectoren industrie, energie, crematoria, aanverwante petroleumsector, afvalverwerking en individuele bedrijven.....</i> | <i>108</i> |
|            | <i>Sector landbouw.....</i>  | <i>108</i> |
|            | <i>Sector verkeer en vervoer .....</i>   | <i>112</i> |
|            | <i>Sector handel en diensten.....</i>  | <i>113</i> |
| BIJLAGE 2: | OMREKENINGSINFORMATIE PM <sub>2,5</sub> .....  | 115        |
| BIJLAGE 3: | BEREKENING B(A)P-EMISSIES UIT PAK-EMISSIES MET GEBRUIK OMREKENINGSFACTOREN..   | 118        |
|            | <i>Sector Bevolking.....</i>   | <i>119</i> |
|            | <i>Sectoren 2 – 12 Industrie en Energie .....</i>  | <i>119</i> |
|            | <i>Sectoren Brandstofverbruik in de landbouw en glastuinbouw.....</i>  | <i>120</i> |
|            | <i>Sectoren Visserij, Wegverkeer, Luchtvaart, Scheepvaart en Spoorverkeer.....</i>   | <i>120</i> |
|            | <i>Sector Afvalverwerking .....</i>  | <i>120</i> |
|            | <i>Sector Gebouwenverwarming bij handel en diensten .....</i>  | <i>120</i> |
| BIJLAGE 4: | VISUALISATIE GEMETEN BIOMERKERWAARDEN BIJ DE ADOLESCENTEN.....   | 123        |
| BIJLAGE 5: | OVERZICHT VAN DE GEBIEDSVERSCHILLEN VOOR DE BLOOTSTELLINGSMERKERS.....   | 133        |
| BIJLAGE 6: | CORRELATIES TUSSEN DE VERSCHILLENDE STOFFEN GEMETEN OP DE DOSIMETER VAN NIET-ROKENDE JONGEREN.....                         | 162<br>134 |



## SAMENVATTING

Het huidige rapport bestudeert het verband tussen gebiedsdekkende gemodelleerde atmosferische milieudata en biomonitoringsdata. Er werd uitgegaan van: (i) Individuele blootstellings- of effectmerkers (biomerkers) gemeten bij 14-15 jarige jongeren die gerekruteerd werden tijdens de Vlaamse humane biomonitoringscampagne van september 2002 tot juli 2003. De jongeren werden gerekruteerd in acht regio's verspreid over Vlaanderen. (ii) Emissiedrukken (per 500x500 m roosterveld) of pollutantconcentraties (per 4x4 km roosterveld) van luchtpolluenten gemodelleerd met het AURORA luchtkwaliteitsmodel, dat gebruikt maakt van emissies, meteogegevens, chemische omzettingen en landgebruikdata (= pollutantconcentraties geaggregeerd per roosterveld). (iii) Daarnaast werden individuele gegevens over voedingsgewoonten, binnenhuismilieu, de woon- en schoolomgeving, geslacht, rookgedrag,...verzameld tijdens de biomonitoringscampagne.

De belangrijkste doelstelling van het project was het **linken** van de individuele biomerkmeteringen met de op het roosterveld geaggregeerde luchtkwaliteitsgegevens (rekening houdend met de individuele persoonlijke invloedsparameters).

De onderzochte relaties worden verder besproken. Door berekening van de associaties tussen de luchtkwaliteit en biomonitoringsgegevens werd nagegaan in welke mate de variabiliteit van de biomerkers door regionale emissiedrukken of atmosferische concentraties verklaard konden worden. Ook werden associaties berekend tussen de waargenomen concentraties van de VMM-meetposten en de gemeten biomerkers

Hierna wordt kort ingegaan op de opeenvolgende taken uitgevoerd tijdens het project.

### ***Berekening van emissiedrukken en modellering van concentraties***

De emissiedrukken werden berekend op basis van gekende emissies van de Vlaamse Emissie-inventaris Lucht en de Europese EMEP database (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe). De concentraties van de pollutanten werden gemodelleerd met het AURORA (Air quality modelling in Urban Regions using Optimal Resolution Approach) luchtkwaliteitsmodel.

Het AURORA-model werd gebruikt voor modellering van geheel Vlaanderen voor het hele jaar 2002, de tweede helft van 2003 en de eerste helft van 2004. Het AURORA-model bestaat uit 2 componenten: een regionale component met variabele resolutie en een straatmodule voor stedelijke omgevingen, in deze studie werd enkel de regionale component gebruikt. Voor de start van het project werd het model enkel gebruikt voor modelering over periodes van enkele weken. Daarom was het noodzakelijk het gebruik van het model te automatiseren. Om de rekentijd te reduceren werd het model ook aangepast voor een migratie van een Windows omgeving naar een Linux computeromgeving. Hierdoor kon 50% sneller doorgerekend worden. Het AURORA-model berekent concentratievelden op 12,5 meter boven het aardoppervlak<sup>1</sup> voor elk uur van de simulatieperiode op een resolutie van 4 km.

Kort samengevat kunnen de resultaten van emissiedrukberekening en concentratieberekening als volgt weergegeven worden:

---

<sup>1</sup> De gemiddelde concentratie voor de eerste 50 m komen goed overeen met metingen op 1,5- 2 m menshoogte. Bij bepaalde meteorologische situaties (stabiele meteo tijdens nachten zonder bewolking en bij koud vriesweer) kunnen er verschillen optreden over deze eerste 50 m laag.

| Stof  | Voornaamste (in rekening gebrachte) emissiebron              | Regio's met hoogste berekende emissiedrukken of gemodelleerde concentraties                             |
|---|--|---|
| NO <sub>x</sub>                                 | wegverkeer   | Belangrijkste verkeersassen + klassieke elektriciteitscentrales (Kluisbergen, Ruien, Genk, Zwijndrecht) |
| NO <sub>2</sub>                                 | wegverkeer   | Wegen en stedelijke gebieden  |
| Benzeen   | Wegverkeer<br>(indicator van niet-methaan vluchtige stoffen) | Belangrijkste verkeersassen + stedelijke gebieden   |
| VOS <sub>tot</sub>                              | Wegverkeer + chemische industrie                             | Antwerpse haven   |
| Ozon  | (secundaire vorming)   | Landelijke gebieden   |
| Primair PM <sub>10</sub> ,<br>PM <sub>2.5</sub> | verkeer  | Gentse kanaalzone + Antwerpse haven, W-Vlaanderen, fruitstreek (voor primaire conc's)                   |
| Cd  | basismetalaalindustrie                                       | Gentse kanaalzone, havengebied Antwerpen, Hoboken, Beerse, Albertkanaalzone                             |
| Pb  | basismetalaalindustrie                                       | Gentse kanaalzone   |
| B(a)P   | Beperkte emissiegegevens, ontstaan bij verbrandingsprocessen |   |

### **Vergelijking van gemodelleerde waarden met gemeten luchtkwaliteitsgegevens**

We evalueerden de berekende concentratievelden door vergelijking met meetwaarden van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Meetwaarden hebben het voordeel een continue tijdsreeks aan data op te leveren.

Modellen leveren gebiedsdekkende data, maar niet alle emissies zijn gekend (diffuse emissies, ongekende bronnen) of in rekening gebracht (historische emissies). De karakterisatie van de emissies is met grote onzekerheden verbonden voor pollutanten met lange atmosferische residentietijden (fijn stof, benzeen, benzo-a-pyreen, ...). Voor deze stoffen is de kennis van de emissies uit de omliggende regio's bepalend voor een goede simulatie (vb. geïndustrialiseerde regio's Noord-Frankrijk, Maas-Samber vallei, Ruhrgebied). Om dit probleem te verminderen bij de cadmium, lood en benzo-a-pyreenberekeningen werd een tool ontwikkeld om de 50-km resolutie basis emissiegegevens van de buurlanden met behulp van CORINE landgebruiksgegevens te brengen op de resolutie van het model, tzt. 4 km. Dit heeft een aanzienlijke verbetering teweeggebracht. Nadeel van deze aanpak is wel dat om discontinuïteitsproblemen te vermijden aan de randen van Vlaanderen, de emissies in Vlaanderen van Cd, Pb en B(a)P ook op deze manier zijn berekend en dat geen gebruik is gemaakt van de EIL-emissiegegevens waardoor er een fout kan ontstaan in de exacte locatie van de emissies. Dit bemoeilijkt de vergelijking van de berekende concentraties met meetwaarden omdat deel van de meetstations specifiek werden gelokaliseerd om industriële hotspots te monitoren.

Voor de vergelijking tussen model en meetwaarden is voor elk meetstation voor de periode 2003-2004 de afwijking en correlatiecoëfficiënt tussen de gemeten en de voor de roostercel gemodelleerde uurlijkse tijdsreeks berekend. De resolutie van modellering op 4x4 km roostercellen legt beperkingen op. Hele sterke lokale gradiënten in de buurt van industriële hotspots en belangrijke verkeersaders worden niet berekend maar zijn wel "zichtbaar" in de concentratievelden. Ondanks dit konden we concluderen dat: Het AURORA-model in staat is variaties in tijd en ruimte over geheel Vlaanderen redelijk goed voor te stellen.

Indien een ranking wordt opgesteld welke gemodelleerde concentraties het best in overeenstemming waren met de meetstationgegevens, dan is dit met enig voorbehoud als volgt (van goed naar minder goed):

ozon ~NO<sub>2</sub> ~ benzeen > benzo(a)pyreen ~ lood ~ cadmium

### **Relatie luchtkwaliteitsgegevens vs. biomerkmeteringen**

Na toepassing van het model zijn specifieke post-processing tools ontwikkeld voor de berekening van persoonsgebonden gemiddelde concentraties. Hierbij hielden we rekening met de thuis -en schoollocaties en een tijdsverdeling tussen beide. De uitmiddelingsperiode van de concentraties was pollutantafhankelijk, gaande van 2 dagen voor benzeen tot een één jaar voor astmasymptomen.



Uit de berekeningen bleek, dat de jaargemiddelde berekende NO<sub>2</sub>- en ozon –concentraties voor alle jongeren in de buurt lagen van de EU-grenswaarde van 40 µg/m<sup>3</sup>. De berekende concentraties aan benzeen, lood en cadmium waren duidelijk lager dan de EU-grenswaarden. Het berekende jaargemiddelde van primair PM<sub>10</sub> (gemiddeld 13.8 µg/m<sup>3</sup> voor alle jongeren) lag in de buurt van de jaargemiddelde grenswaarde van 20 µg/m<sup>3</sup> voor totaal PM<sub>10</sub>.

Onderstaande tabel geeft een schematisch overzicht van de relaties die onderzocht werden (aangeduid met een kruisje) en relaties die significant waren (aangeduid in het geel), indien alle invloedsfactoren in rekening werden gebracht. In principe werden twee reeksen van correlatieberekeningen uitgevoerd. (i) Deze waarbij één pollutant gelinkt werd met de meting van deze stof (of een metaboliet ervan) in het bloed of urine. (ii) En anderzijds verschillende pollutanten die gelinkt werden met een 'integrerende' blootstellings- of effectbiomarker.

|                                     | (a) biomerkers gerelateerd met 1 bepaalde pollutant |             |             |                      |                        |                   |              | (b) biomerkers gerelateerd met meerdere pollutanten |                        |                      |                    |  |
|-------------------------------------|---|-------------|-------------|----------------------|------------------------|-------------------|--------------|---|------------------------|----------------------|--------------------|--|
|                                     | Pb in bloed   | Cd in bloed | Cd in urine | 1-OH pyreen in urine | T,μmucon zuur in urine | Benzeen dosimeter | % DNA-schade | Huidig astma  | Doctor diagnosed astma | Ooit astma symptomen | Luchtweg-infecties |  |
| <b>Concentraties 4x4 km</b>         |   |             |             |                      |                        |                   |              |   |                        |                      |                    |  |
| Benzeen                             |   |             |             |                      | X                      | X                 | X            | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| NO <sub>2</sub>                     |   |             |             |                      |                        |                   | X            | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| PM <sub>2.5</sub> prim              |   |             |             |                      |                        |                   | X            | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| PM <sub>10</sub> prim               |   |             |             |                      |                        |                   | X            | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| Cd                                  |   | X           | X           |                      |                        |                   | X            | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| Pb                                  | X   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| B(a)P                               |   |             |             | X                    |                        |                   | X            | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| Ozon                                |   |             |             |                      |                        |                   | X            | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| <b>Emissies 500x500m</b>            |   |             |             |                      |                        |                   |              |   |                        |                      |                    |  |
| Benzeen                             |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| NO <sub>2</sub>                     |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| PM <sub>2.5</sub>                   |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| PM <sub>10</sub>                    |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| Cd                                  |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| Pb                                  |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| B(a)P                               |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| CO                                  |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| SO <sub>2</sub>                     |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| NH <sub>3</sub>                     |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| VOS <sub>tot</sub>                  |   |             |             |                      |                        |                   |              | X   | X                      | X                    | X                  |  |
| <b>VMM-meetstation concentratie</b> |   |             |             |                      |                        |                   |              |   |                        |                      |                    |  |
| Ozon                                |   |             |             |                      |                        |                   | X            |   |                        |                      |                    |  |
| Cd                                  |   | X           | X           |                      |                        |                   | X            |   |                        |                      |                    |  |
| Pb                                  | X   |             |             |                      |                        |                   |              |   |                        |                      |                    |  |

**(i) Gemodelleerde concentraties van één stof vs. metingen van de stof in bloed/urine**

*Metalen gemeten in bloed of urine*

**Lood in bloed** was zwak gecorreleerd met gemodelleerde loodconcentraties voor de periode van 30 dagen voorafgaand aan het bloedonderzoek ( $r^2=0.004$ , bèta= 0.1% bij toename van Pb met 1 ng/m<sup>3</sup>,  $p=0.01$ ). Het geslacht van de jongeren was de sterkst bepalende factor ( $r^2=0.056$ ,  $p<0.001$ ) voor de bloedloodconcentratie (jongens gemiddeld 34.5% hogere waarden dan meisjes). Wilhelm et al. (2005) rapporteerde eveneens een associatie tussen Pb-gehalten in de lucht (berekening met Lagrange dispersiemodel dat gebruik maakt van luchtkwaliteitsmetingen) en bloed-Pb-gehalten bij 238 Duitse kinderen tussen 5.5 en 7.7 jaar oud.

**Cd in urine** van de 1387 niet-rokende 14-15 jarige jongeren bedroeg gemiddeld 20 µg/g creatinine. Voor elk van deze jongeren werd een jaargemiddelde Cd-concentratie berekend voor een combinatie van gemodelleerde concentraties in de roostercellen van hun woonplaats en hun school. Deze bedroeg gemiddeld 0.37 ng/m<sup>3</sup>. Er werd een positieve associatie vastgesteld tussen deze gemodelleerde jaargemiddelde cadmiumconcentratie en cadmium in de urine ( $r^2=0.017$ ,  $\beta=27.9$  % bij toename van Cd met 1 ng/m<sup>3</sup>,  $p<0.001$ ). Deze relatie werd berekend via een multivariate regressie, waarin ook BMI en leeftijd van de jongeren, consumptie van groenten die Cd kunnen bevatten, het ferritinegehalte in het bloed en de opleiding van de ouders, significante invloedsfactoren waren voor het gehalte Cd in de urine. Cd in het bloed was echter niet geassocieerd met gemodelleerde cadmiumconcentraties gemiddeld over 75 dagen voorafgaand aan het bloedonderzoek van de jongeren.

#### *Korte termijn urinaire merkers van benzeen- en PAK-blootstelling*

Noch 1-OH pyreen (metabooliet van pyreen) , noch tt'-muconzuur (metabooliet van benzeen) correleerde met 7-dagen of 2-dagen gemiddelde gemodelleerde concentraties van respectievelijk B(a)P of benzeen. Polluentconcentraties gemodelleerd over 2 dagen zijn uiteraard minder betrouwbaar dan maand- of jaargemiddelde concentraties. Dat er geen correlatie werd gevonden tussen de **PAK's-metabooliet** en de luchtconcentratie aan PAK's, zou echter vooral kunnen te maken hebben met het feit dat PAK's-blootstelling voornamelijk via andere wegen dan de lucht gaat (Cornelis et al., 2006), of dat pyreen (dat in het lichaam afgebroken wordt tot 1-OH pyreen, wat hier gemeten werd) en B(a)P (wat gemodelleerd werd) niet steeds in dezelfde verhouding in het PAK's mengsel voorkomen. Daarenboven zijn er niet voldoende gerapporteerde emissies voor PAK's, waarop uiteindelijk de modellering van B(a)P gebaseerd wordt.

**Benzeen**, is één van de stoffen die het best gemodelleerd wordt, gezien de emissies goed gekend zijn. Hier zou het voor de hand liggen te besluiten, dat door modellering met een resolutie van 4x4 km, niet alle ruimtelijke nuances in benzeen-pieken 'gecovered' kunnen worden. Echter bij 161 van de 1387 niet-rokende jongeren werd benzeen ook gemeten op de persoonlijke dosimeter. De gemodelleerde benzeenconcentratie was sterk gecorreleerd met (indoor + outdoor) benzeen dosimetrie ( $r^2=0.14$ ,  $\beta=76.3$  % bij toename van benzeen met 1µg/m<sup>3</sup>,  $p<0.001$ ). tt'-muconzuur was niet gecorreleerd met de dosimeterwaarden, wat zou kunnen wijzen op het feit dat een spot urinaire meting (en niet 24-uur collectie van urine) van de metabooliet misschien te veel momentane (uurlijkse) pieken of dalen in persoonlijke blootstelling weergeeft en niet voldoende accumulerend is om iets te vertellen over (de misschien relevantere) blootstelling tijdens meerdere dagen.

#### ***(ii) Gemodelleerde concentraties van verschillende luchtpolluenten vs. geïntegreerde blootstelling of effectmetingen bij de jongeren***

Eén van de belangrijkste problemen bij het nagaan van gezondheidseffecten t.g.v. luchtpolluenten, is het vinden van een goede luchtkwaliteitsparameter (Ihortst et al., 2004). Luchtpolluenten als NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, partikels (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), benzeen,...komen vaak samen voor. In het huidige rapport werd geopteerd om voornamelijk de invloed van de afzonderlijke polluenten te bekijken in 'single pollutant modellen'. Hierbij wordt elke polluent afzonderlijk, samen met verschillende invloedsfactoren, gerelateerd aan de 'integrerende' blootstelling- of effectmerker. De gemodelleerde polluenten waren immers vaak sterk gecorreleerd met elkaar, wat ervoor zorgt dat als ze samen in het model gestopt worden, ze elkaar 'opheffen'. Er dient bijkomend opgemerkt dat de gemodelleerde polluenten misschien niet (alleen) de oorzaak kunnen zijn van de gemeten 'schade' maar dat zij eventueel een proxy zijn voor andere stoffen of stressoren in het luchtmengsel.

#### *Korte termijn DNA schade gemeten in het bloed*

De komeettest geeft korte termijn verlies aan DNA-integriteit veroorzaakt door natuurlijke processen van DNA-schade en -herstel, of door exogene factoren als ziekte, tabak, stress, polluenten. In die zin kan de komeettest gezien worden als een geïntegreerde blootstellingsmerker, m.a.w. een 'milieudrukparameter' voor blootstelling aan polluenten. Gezien de polluenten sterk correleerden,

werd beslist ze eerst één voor één in het statistisch model te brengen ('single pollutant' model) samen met de invloedsfactoren (geslacht en opleidingsniveau van ouders).

Zowel **benzeen** ( $r^2 = 0.06$ ,  $p < 0.001$ ), **benzo(a)pyreen** ( $r^2 = 0.09$ ,  $p < 0.001$ ), **PM<sub>10</sub>prim** ( $r^2 = 0.04$ ,  $p < 0.001$ ), en **PM<sub>2.5</sub>prim** ( $r^2 = 0.06$ ,  $p < 0.001$ ) waren **positief geassocieerd met het %DNA-schade** gemeten met de komeetest. Dit betekent dat de komeetest bij de 390 niet-rokende jongeren een beeld gaf van de milieudruk van verschillende polluenten.

**Ozon was negatief geassocieerd met de komeetest resultaten** ( $r^2 = 0.05$ ,  $p < 0.001$ ), wat in principe logisch lijkt, gezien de parameters als benzeen, benzo(a)pyreen en partikels sterk negatief geassocieerd waren met ozon. Het is echter in tegenstelling met eerdere bevindingen, waarbij de komeetestresultaten van 200 Vlaamse jongeren positief geassocieerd waren met ozonwaarden gemeten in het dichtstbijzijnde meetstation (Koppen et al., 2007). Tovalin et al. (2006) stelde ook een positieve relatie vast tussen DNA-schade (gemeten met komeetest bij outdoor werkers) en PM<sub>2.5</sub>- en ozon- blootstelling in Mexico city. Mogelijks zijn deze tegenstrijdige resultaten te wijten aan verschillen in ozonniveaus, lokale geografische en/of seizoensvariaties in pollutienmengselsamenstelling geassocieerd met het voorkomen van ozon (bv. van sterkere 'effectors' dan ozon in het mengsel).

#### *Correlatie van gemodelleerde jaarconcentraties en/of jaaremmissiedrukken en luchtwegklachten bij jongeren*

De gemodelleerde concentraties en de emissiedrukken van de meeste luchtpolluenten werden gerelateerd aan luchtwegklachten (astma vastgesteld door de arts, ooit astmaklachten en luchtweginfecties). Daarvoor werden jaargemiddelden van deze stoffen berekend. In principe zou het interessant zijn om lange termijn gemiddelden van bv 5 jaar te linken met astma (Schikowski et al., 2005), gezien het stabielere pollutieconcentraties kan geven. De relaties werden enkel onderzocht bij niet-rokende jongeren.

De correlatie tussen jaargemiddelde concentraties van NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, primair PM<sub>2.5</sub> en 10, Cd, Pb, B(a)P, benzeen en luchtwegklachten (huidig astma, doctor diagnosed astma, ooit astmasymptomen en luchtweginfecties) werd nagegaan via enkelvoudige logistische regressie.

Rekening houdend met familiaal astma, ernstige luchtweginfectie gedurende eerste twee levensjaren van de adolescent, en opleidingsniveau van de ouders werd er een positief hoog significant verband ( $p < 0.001$ ) voor **'ooit astmasymptomen' en doctor diagnosed astma** met de **gemodelleerde jaarconcentraties van benzeen en NO<sub>2</sub>**. Bij een toename van blootstelling aan benzeen met 1 µg/m<sup>3</sup> was de odds ('kans') op het optreden van astmasymptomen ca. 4 maal hoger OR = 4.34 (95% CI=1.74-10.8). Bij een toename van NO<sub>2</sub> concentratie met 10 µg/m<sup>3</sup> nam de odds op het voorkomen van astmasymptomen toe met iets meer dan éénderde (OR= 1.39 (1.17-1.64)). Analoog werd het verband tussen luchtwegklachten en berekende emissiedrukken<sup>2</sup> van benzeen, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, B(a)P, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub> berekend. Opnieuw waren **benzeen-** en **NO<sub>x</sub>-emissiedrukken** gerelateerd met **'ooit astmasymptomen'**, zij het iets minder significant dan bij gebruik van gemodelleerde benzeenconcentraties (OR's van resp. 3.2 (1.30-7.89) en 1.006 (1.002-1.01) per g/m<sup>2</sup>/j toename in emissiedruk).

Een relatie tussen fijn stof en astmasymptomen werd niet gevonden. Dit zou kunnen te maken hebben met een aanname van een te grote berekende bijdrage van stof vanuit de landbouw. Er is ook enkel primair stof gemodelleerd, waarvan niet gekend is of dat de meest toxische component is van het secundair stof aanwezig in de lucht.

De relatie tussen luchtwegklachten en benzeen werd eerder gerapporteerd. Hirsch et al. (1999) vond een toename van prevalentie van ochtend-hoesten en bronchitis bij hogere blootstelling aan

<sup>2</sup> De correlatie met emissiedrukken was het sterkste indien een gemiddelde werd genomen van de emissiedrukken van alle de naburige roosterzellen rondom de woonplaats.

benzeen, (resp. OR= 1.15 (1.04-1.27) en 1.11 (1.03-1.19), bij toename van benzeen met 1 µg/m<sup>3</sup>). Dit werd onderzocht bij een groep van 5421 Duitse kinderen (< 11 jaar) uit de stad Dresden. Dezelfde vaststelling werd gedaan voor NO<sub>2</sub> en CO. Nicolai et al. (2003) rapporteerde dat 'huidig astma' geassocieerd werd met (door een verkeersmodel) berekende roet- en benzeenwaarden (OR=2.05 (1.23-3.41), bij vergelijking van het hoogste tertiel blootgesteld vs. de anderen). Kortetermijn (acute) ozonblootstelling wordt soms geassocieerd met verhogingen van astma-opnames of astma-aanvallen (Koren, 1995; Burnett et al., 2001). Een metaanalyse uitgevoerd door Anderson et al. (2004) gebaseerd op (slechts) drie studies naar respiratoire ziekenhuisadmissies van 0-14j, 15-64j en >64j groepen, tonen een niet significant verband met ozon (Anderson et al., 2004). In de huidige studie werd een negatief verband gevonden tussen jaargemiddelde ozonconcentraties en 'ooit astmasymptomen'. Ook Hirsch et al. (1999) rapporteerde een negatief verband tussen jaargemiddelde ozonwaarden en ochtendlijk hoesten (OR= 0.80 (0.65-0.98)) en bronchitis (OR=0.83 (0.73-0.96)) bij kinderen (telkens voor toename van ozon met 10 µg/m<sup>3</sup>).

### **Besluit**

Vlaamse jongeren zijn in hun leefomgeving aan relatief hoge jaargemiddelde concentraties van NO<sub>2</sub>, ozon en fijn stof blootgesteld (in buurt van EU grenswaarden). Via het linken met biomerkingen van de Humane biomonitoringscampagne (2002-2006) kon een associatie aangetoond worden tussen de luchtpolluenten en het optreden van herstelbare DNA schade (milieudrukparameter) en astmasymptomen bij 14-15 jarige jongeren.

## SITUERING VAN DE OPDRACHT

België behoort tot de meest verstedelijkte landen van de hele wereld. Het telt 15 stedelijke gebieden met ten minste 80.000 inwoners, samen goed voor zo'n 53% van de totale bevolking. Die stedelijke gebieden bevinden zich vooral in het noordelijke landsgedeelte (<http://www.diplomatie.be/nl/belgium/belgiumdetail.asp?textID=1596>). Vlaanderen is een dicht bevolkt gebied (gem. 439 inwoners/km<sup>2</sup> in 2005) met een hoge industrialisatiegraad en een dicht wegnnet. Al deze factoren veroorzaken een grote druk op het leefmilieu en op de bevolking. Vooral luchtkwaliteit is een belangrijk item in Vlaanderen. Overschrijdingen van ozon en fijn stof (PM<sub>10</sub>) drempels zorgen ervoor dat aandacht gaat naar dit milieucompartment.

**Milieumonitoring** in de lucht wordt voornamelijk uitgevoerd door de Vlaamse Milieumaatschappij. Dit meetnet voldoet aan minimumeisen betreffende dichtheid en representativiteit opgelegd door de EU (kaderrichtlijn Lucht (96/62/EG)). De bekomen gegevens zijn belangrijk om een idee te geven over de mogelijke blootstelling van de bevolking. De eigenlijke blootstelling is echter vooral afhankelijk van de hoeveelheid vervuilende stoffen die effectief door de mens worden opgenomen. Bovendien zijn milieumeetnetten ontworpen voor en bovendien pas financieel en praktisch haalbaar indien vooral plaatsen met hoge milieudruk, de zogenaamde 'hotspots' (industriegebieden, specifieke bedrijven, enz.), worden gemonitord. Overal meten is dus onmogelijk, **modellering** kan een oplossing aanbieden om de gebiedsdekking van de meetgegevens te vervolledigen. Ook **humane biomonitoring** (meten in de mens) is aanvullend op bestaande meetnetten. Het geeft informatie over de eigenlijke blootstelling (via blootstellingsmerkers) en gezondheidseffect (via gezondheidseffectmerkers) in de leefomgeving van de mens (aanbevelingen uit de Maatschappelijke Beleidsnota Milieu en Gezondheid, ad hoc commissie Milieu en Gezondheid, 1999). Biomonitoring maakt deel uit van 'exposure assessment' van de bevolking en wordt langzaam geïntegreerd in de klassieke 'exposure assessment' die uitgaat van compartiment gemeten/gemodelleerde waarden en deze integreert in blootstellingsmodellen (zie "Evaluatie van de blootstelling aan PAK's – Inventarisatiestudie (2004-2006)" uitgevoerd door VITO-UGent in opdracht van Departement Leefmilieu, Natuur & Energie (LNE), dienst Milieu & Gezondheid).

Om de gehalten aan vervuilende stoffen in de mens en mogelijk gerelateerde gezondheidseffecten te meten, werd het Vlaams Humaan Biomonitoringsprogramma opgestart in 2001 (<http://www.milieu-en-gezondheid.be/>). Het programma moet gezien worden als een **bewakingsprogramma** dat cross-sectioneel de vervuiling en de vroegtijdige gezondheidseffecten ervan meet in de bevolking. In het ideaal geval moet het humaan biomonitoringsprogramma aangeven "what to worry about, and what not to worry about" (Stokstad, 2004). Het doel van de campagnes, waarvan de eerste grote Vlaamse meetcyclus liep van 2002 tot 2006 (en die wordt verdergezet na 2007), is op systematische wijze vaststellen: (i) of er in Vlaanderen meetbare signalen zijn van milieuvervuiling in de mens; (ii) of deze signalen verschillen tussen inwoners van verschillende gebieden; (iii) of de waarden essentieel verschillen tussen leeftijdsgroepen van de bevolking, (iii) of er een relatie bestaat tussen de blootstelling aan vervuilende stoffen en het optreden van vroegtijdige gezondheidseffecten. Uit de verkregen gegevens worden (Vlaamse) referentiewaarden berekend voor gehalten van vervuilende stoffen in de mens. Deze waarden kunnen dienst doen als referentie voor het nagaan van lokale verhogingen, bij vergelijking met buitenlandse waarden en bij het nagaan van trends na herhaalde metingen in de tijd.

Metingen in mens en in het milieu zijn beide belangrijk en krijgen elk een meerwaarde als ze **gecombineerd** worden. De Amerikaanse Environmental Health Commission (Pew, 2000) gaf aan dat er een 'environmental health gap' was tussen milieudata en ziektegegevens. Informatie over blootstelling (exposure) is hierbij de essentiële link tussen milieu (hazard data) en gezondheid (health outcome). Verschillende types analyses kunnen uitgevoerd worden om milieumetingen, blootstellingsmetingen en gezondheidsdata te linken. Bij elke oefening waarbij deze data gelinkt worden, kan niet voor 100% uitgesloten worden dat er 'bias' is, gezien meestal niet alle invloedsfactoren gemeten of gekend zijn (Mather et al., 2004).

Volgens Mather et al. (2004) zijn er essentieel 3 groepen van studies naar het verband tussen milieu-blootstelling-gezondheid:

(a) In eerste instantie kunnen *geografische spreiding en tijdstrends* bekeken worden. Tijdstrends kunnen interessant zijn om na te gaan of de evolutie van de waarden gemeten in de milieumeetnetten, evt. vroeger, gelijktijdig of misschien zelfs met enige vertraging in de mens 'zichtbaar' zijn. Daarnaast kan ook spatiale analyse gedaan worden m.b.v. GIS tools, waarbij de verschillende gegevens op eenzelfde geografische 'noemer' (bv. gemeente) t.o.v. elkaar gevisualiseerd worden. Dit zijn eenvoudige, maar interessante oefeningen om verdergaand onderzoek te initiëren. (b) Daarnaast is *ecologische analyse* mogelijk, waarbij (geaggregeerde) gegevens t.o.v. elkaar geplaatst worden en waarbij rekening gehouden wordt met invloedsfactoren: bv. geaggregeerde blootstellingsdata geplaatst t.o.v. geaggregeerde ziektegegevens. De gebruikte statistische methoden gaan van eenvoudige berekening van correlatiecoëfficiënten tot het gebruik van Bayesiaanse technieken, waarbij bv. aan een frequentie van voorkomen van een ziekte in een stad, een verdeling toegekend wordt i.p.v. het gebruiken van één (misschien toevallig hoge/lage) waarde (Louie and Kolaczyk, 2002)). (c) Een andere groep zijn de *epidemiologische studies*, waar individuen opgevolgd worden in case-control of cohort studies.

Het huidige rapport bestudeert de link tussen data van de humane biomonitoringsstudie bij 14-15 jarige jongeren en de gemodelleerde milieukwaliteitsgegevens voor één schooljaar. Deze oefening kan gesitueerd worden bij de **ecologische analyses**, waarbij uitgegaan werd van: (i) individuele blootstellings- of effectmerkers (biomerkers), (ii) gemodelleerde pollutentconcentraties op basis van emissies, meteo, chemische omzettingen en landgebruikdata voor een roostereenheid van 4x4 km (dus geen individuele pollutentconcentraties), (iii) individuele gegevens over voedingsgewoonten, binnenhuismilieu, de woon- en schoolomgeving, geslacht, rookgedrag,...

# 1 DOELSTELLING

Het project had tot **doel** om na te gaan in welke mate resultaten van **biomerkmelingen** bij de mens kunnen **verklaard** worden vanuit **buitenluchtkwaliteitsgegevens**.

Hiervoor diende nagegaan te worden in welke mate de gemeten blootstellings- en effectmerkers in de mens geassocieerd zijn met de luchtkwaliteit in Vlaanderen. Afhankelijk van de halfwaardetijd van de pollutant en/of merker in het menselijk lichaam moeten hiervoor luchtkwaliteitsgegevens van de moment van het bloed/urine onderzoek of gegevens uit het verleden worden gebruikt. Meer specifiek, diende onderzocht te worden of de regionale verschillen in biomerkers kunnen verklaard worden door regionale verschillen in luchtkwaliteit<sup>3</sup>. Hiertoe werden gemodelleerde luchtkwaliteitsgegevens (emissiegegevens en concentraties voor bepaalde pollutanten) en ook enkele luchtkwaliteitsmetingen (van meetstations) gecorreleerd met meetresultaten van 14-15 jarige deelnemers aan de Vlaamse humane biomonitoringscampagne (2002-2006).

De vragen die we wilden beantwoorden waren:

1. Zijn gemodelleerde waarden in overeenstemming met werkelijk gemeten waarden bij de gebruikte resolutie van 4x4 km?
2. Correleren gemodelleerde gegevens met biomerkerwaarden?
3. Zijn gemodelleerde emissiedrukken ook bruikbaar voor correlatie met biomerkerwaarden?
4. Correleren werkelijk gemeten waarden van meetstations met biomerkerwaarden?

Op basis van bovenstaande doelstelling werd nagedacht over de mate waarin de meetnetten elkaar beter kunnen aanvullen en welke aanbevelingen gemaakt kunnen worden om ze beter op elkaar af te stemmen. Dit laatste zal besproken worden in hoofdstuk 6 (aanbevelingen).

---

<sup>3</sup> Hierbij dient opgemerkt dat niet voor alle pollutanten de inademing van vervuilde lucht de belangrijkste opnameroute is. Benzene wordt wel voor 99 % opgenomen via inademing (WHO, 1993) maar cadmium wordt grotendeels opgenomen via voeding.

## 2 AANPAK

De relatie buitenluchtkwaliteit vs. biomerkermeting gaat uit van twee gegevenssets: buitenluchtkwaliteitsmetingen en metingen in de mens. Meetstations geven theoretisch de beste informatie over de buitenluchtkwaliteit, gezien ze een integratie zijn van alle, zowel geleide als diffuse bronnen van de pollutanten. In het ideale geval, zou elke persoon 'toegewezen' kunnen worden aan een meetstation. Echter het Vlaamse meetnet is niet gebiedsdekkend<sup>4</sup> en vaak zijn meetstations opgesteld in de buurt van bronnen en geven ze dus niet weer waaraan de gemiddelde populatie blootgesteld is. In dit project werd getracht na te gaan of het mogelijk was om gemodelleerde milieudrukgegevens (emissies of concentraties) te gebruiken om de relatie luchtkwaliteit en 'meting in de mens' te maken. In een subpopulatie van 72 jongeren die in een straal van 2 km bij een meetstation woonden, werden de biomerkerwaarden ook gerelateerd aan de werkelijk gemeten luchtkwaliteitsmetingen.

Meer specifiek waren er drie belangrijke taken uit te voeren binnen dit project:

### a. Modelleren

In een eerste deel werden via luchtkwaliteitsmodellering, emissiegegevens van wegverkeer, industrie, verwarming,...omgerekend naar emissiedrukken (ton/km<sup>2</sup>/jaar) van Pb, B(a)P, benzeen en stof (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) per oppervlakte-eenheid van 500m x 500m. Vervolgens werden ze via het AURORA model omgerekend naar uurlijkse concentraties (µg/m<sup>3</sup>) per roostereenheid van 4x4 km. Dit alles werd uitgevoerd voor het grootste deel van de periode 2002 t.e.m. 2004.

### b. Vergelijken

De berekende concentratiewaarden konden vergeleken worden met bestaande metingen uit meetstations. De afwijking en de correlatie van de berekende vs. de milieumeetgegevens werd bepaald. Hiervoor werden gegevens van bestaande meetstations van de VMM gebruikt.

### c. Correleren

Elke adolescent-deelnemer aan de biomonitoringscampagne werd gelokaliseerd via GPS-code. Op die manier kon de jongere 'geplaatst' worden in de roostervlakken/roostercellen waarin de emissiedrukken of concentraties van de milieuparameters werden berekend. Voor elke jongere beschikten we zelfs over twee GPS-codes, één van het thuisadres en één van de school. Er werd een theoretische procentuele verblijftijd berekend in elk van beide locaties/roostercellen (rekening houdend met weekends en schoolvakanties). De emissiedruk of concentratie van beide roostercellen werd volgens de procentuele verblijftijd omgerekend naar een gecombineerde individuele emissiedruk of concentratie per jongere.

Vervolgens werd de correlatie berekend van de individuele emissiedruk of concentratie per jongere, versus de persoonlijke biomerkermeting. Meer in detail werden volgende correlaties bepaald:

---

<sup>4</sup> Aantal meetstations is sterk pollutent afhankelijk. Tabel 21 geeft een overzicht van het aantal stations per pollutant in 2002 en 2003.



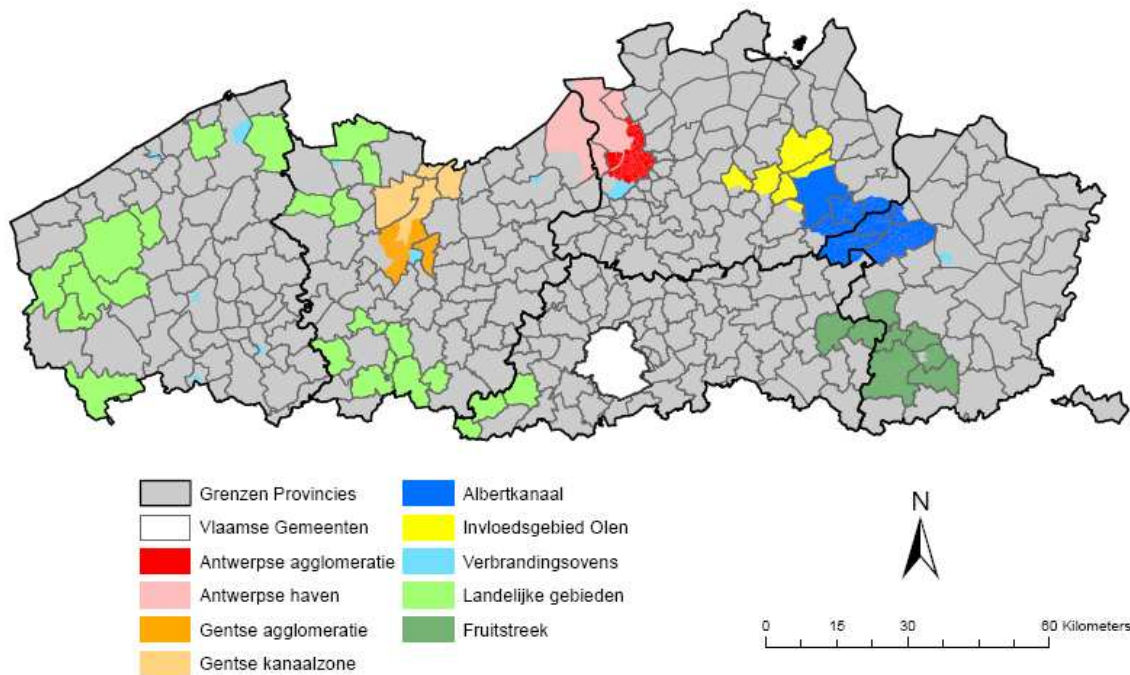
Tabel 1: Overzicht van de onderzochte correlaties tussen de individuele emissiedruk of de concentratie en de persoonlijke biomerkermeting.

|                                      | Biomerkermeting van één stof |            |            |                     |                         | 'Geïntegreerde' biomerkermeting |              |              |                        |            |                    |
|--------------------------------------|------------------------------|------------|------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|------------------------|------------|--------------------|
|                                      | Pb (bloed)                   | Cd (bloed) | Cd (urine) | 1-OH pyreen (urine) | T, t' muconzuur (urine) | Benzeen dosimeter               | % DNA-schade | Huidig astma | Doctor diagnosed astma | Ooit astma | Luchtweg-infecties |
| <b>Concentraties (4x4 km)</b>        |                              |            |            |                     |                         |                                 |              |              |                        |            |                    |
| Benzeen                              |                              |            |            |                     | X                       | X                               | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| NO <sub>2</sub>                      |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| PM <sub>2.5_prim</sub>               |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| PM <sub>10_prim</sub>                |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| Cd                                   |                              | X          | X          |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| Pb                                   | X                            |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| B(a)P                                |                              |            |            | X                   |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| Ozon                                 |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| <b>Emissies (500x500 m)</b>          |                              |            |            |                     |                         |                                 |              |              |                        |            |                    |
| Benzeen                              |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| NO <sub>x</sub>                      |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| PM <sub>2.5</sub>                    |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| PM <sub>10</sub>                     |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| Cd                                   |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| Pb                                   |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| B(a)P                                |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| CO                                   |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| SO <sub>2</sub>                      |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| NH <sub>3</sub>                      |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| VOS <sub>tot</sub>                   |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            | X            | X                      | X          | X                  |
| <b>VMM meetstation concentraties</b> |                              |            |            |                     |                         |                                 |              |              |                        |            |                    |
| Ozon                                 |                              |            |            |                     |                         |                                 | X            |              |                        |            |                    |
| Cd                                   |                              | X          | X          |                     |                         |                                 | X            |              |                        |            |                    |
| Pb                                   | X                            |            |            |                     |                         |                                 |              |              |                        |            |                    |

### 3 STUDIEPOPULATIE

#### 3.1 Rekrutering

Het Vlaams humaan biomonitoringsprogramma moet gezien worden als een bewakingsprogramma dat de vervuiling en de vroegtijdige gezondheidseffecten ervan meet in de bevolking en eventuele regionale verschillen nagaat ([www.milieu-en-gezondheid.be](http://www.milieu-en-gezondheid.be)). Vanaf oktober 2003 tot juli 2004 werden meer dan 1600 jongeren gerekruteerd in acht Vlaamse aandachtsgebieden (200 per gebied). Volgende gebieden werden aangeduid als preferentiële aandachtsgebieden voor onderzoek naar de relatie tussen gezondheid en milieu door middel van een biomonitoringonderzoek: (1) Antwerpse agglomeratie, (2) Gentse agglomeratie, (3) Havenzones: Antwerps havengebied + Gentse kanaalzone, (4) Landelijke gemeenten van O-en W-Vlaanderen, (5) Limburgse fruitstreek rond Sint-Truiden, (6) Omgeving van 8 verbrandingsovens verspreid over Vlaanderen, (7) regio Olen, (8) Albertkanaalzone: Geel-Beringen.



*Figuur 1: Afgebakende aandachtsgebieden waar deelnemers aan het Vlaams Humaan Biomonitoringsprogramma (2002-2006) gerekruteerd werden.*

De **voorwaarden voor deelname** aan de adolescentenmeetcampagne waren: geboren zijn in het jaar 1988 of 1989; in het derde jaar secundair onderwijs zitten (ASO, TSO, KSO en BSO richtingen); tenminste 5 jaar wonen in één van de acht aandachtsgebieden; schriftelijke toestemming verlenen voor deelname door de ouders én de jongere.

Het comité voor medische ethiek van de Universiteit Antwerpen verleende haar toestemming voor de studie. De jongeren werden gerekruteerd via de school. Op basis van een lijst van middelbare scholen in Vlaanderen werd een steekproef getrokken van scholen gelegen in elk van de aandachtsgebieden. In elk schooltrimester werden er scholen in de verschillende gebieden geselecteerd. Tabel 2 geeft het aantal adolescenten gerekruteerd per maand. Bij 1600 van de 1717 gerekruteerde jongeren, werden ook alle biomarkermetingen uitgevoerd. Zij vormen de studiepopulatie uit dit document.

Tabel 2: Aantal jongeren gerekruteerd vanaf oktober 2003 tot en met juli 2004. Bij 1600 van deze jongeren werden alle biomerkmelingen uitgevoerd en zij vormen de studiepopulatie beschreven in dit rapport.

| Maand         | Jaartal | Aantal toestemmingen adolescenten |
|---------------|---------|-----------------------------------|
| oktober       | 2003    | 74                                |
| november      | 2003    | 210                               |
| december      | 2003    | 41                                |
| januari       | 2004    | 177                               |
| februari      | 2004    | 204                               |
| maart         | 2004    | 306                               |
| april         | 2004    | 180                               |
| mei           | 2004    | 338                               |
| juni          | 2004    | 71                                |
| juli          | 2004    | 116                               |
| <b>TOTAAL</b> |         | <b>1717</b>                       |

### 3.2 Deelnemers aan de deelcampagne dosimetrie van vluchtige organische stoffen (VOS)

Vanaf februari tot juni 2004 zegden 179 leerlingen uit de landelijke regio (N=103) en uit de Antwerpse agglomeratie (N=66) toe om, naast de gebruikelijke metingen, ook een dosimeter te dragen gedurende 2 dagen voorafgaand aan het onderzoek. De persoonlijke dosimeter capteert vluchtige organische stoffen uit de leefomgeving van de jongere. De metertjes werden met medewerking van de scholen verdeeld. In onderstaande tabel wordt een overzicht weergegeven van het aantal deelnemers. De veldwerkers verzamelden de dosimeters en vragenlijsten op de dag van het onderzoek en ze werden bewaard bij 4°C tot analyse.

Tabel 3: Aantal deelnemers met dosimeter per school

| School               | Plaats     | Aandachtsgebied        | Datum   | Aantal deelnemers |
|----------------------|------------|------------------------|---------|-------------------|
| St Vincentius        | Eeklo      | Landelijk              | Week 7  | 31                |
| St Eduardus          | Antwerpen  | Antwerpse agglomeratie | Week 10 | 19                |
| Pius X               | Antwerpen  | Antwerpse agglomeratie | Week 17 | 39                |
| St Aloysiuscollege   | Diksmuide  | Landelijk              | Week 18 | 35                |
| Sito V               | Antwerpen  | Antwerpse agglomeratie | Week 19 | 13                |
| St. Ursula           | Wilrijk    | Antwerpse agglomeratie | Week 20 | 12                |
| St. Bernarduscollege | Oudenaarde | Landelijk              | Week 22 | 37                |

### 3.3 Lokalisatie van deelnemers en hun scholen

De adresgegevens van alle (>1600) deelnemers en van hun scholen werden omgezet in Lambertcoördinaten. De omzetting van adres naar Lambertcoördinaten werd gedaan a.d.h.v. GIS (Geografisch informatie Systeem), onder verantwoordelijkheid van Dr. Vera Nelen van het PIH.

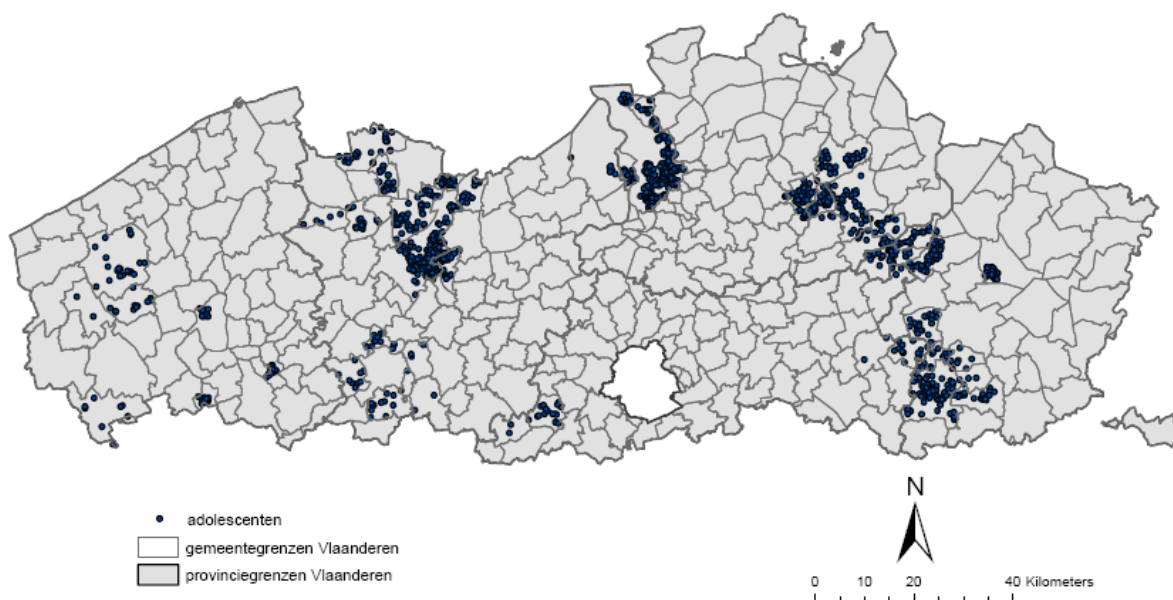
De finale doelstelling van het project, was meetwaarden van individuen te linken aan buitenluchtkwaliteitsgegevens. De buitenluchtkwaliteitsgegevens werden berekend voor elke roostercel van 4x4 km of 500x500 m. De meetgegevens van een meetstation werden gebruikt voor een gebied met een straal van 2 km rondom het meetstation. Door lokalisatie van het individu was het mogelijk de milieudrukdata van een roostercel of de meetwaarde van een station 'toe te wijzen' aan een persoon. Indien de woonplaats en de school zich niet in hetzelfde roostercel bevonden,

werd een theoretische procentuele verblijftijd berekend in elk van beide locaties/roostercellen (rekening houdend met weekends en schoolvakanties). De emissiedruk of concentratie van beide roostercellen werd volgens de procentuele verblijftijd omgerekend naar een gecombineerde individuele emissiedruk of concentratie per jongere.

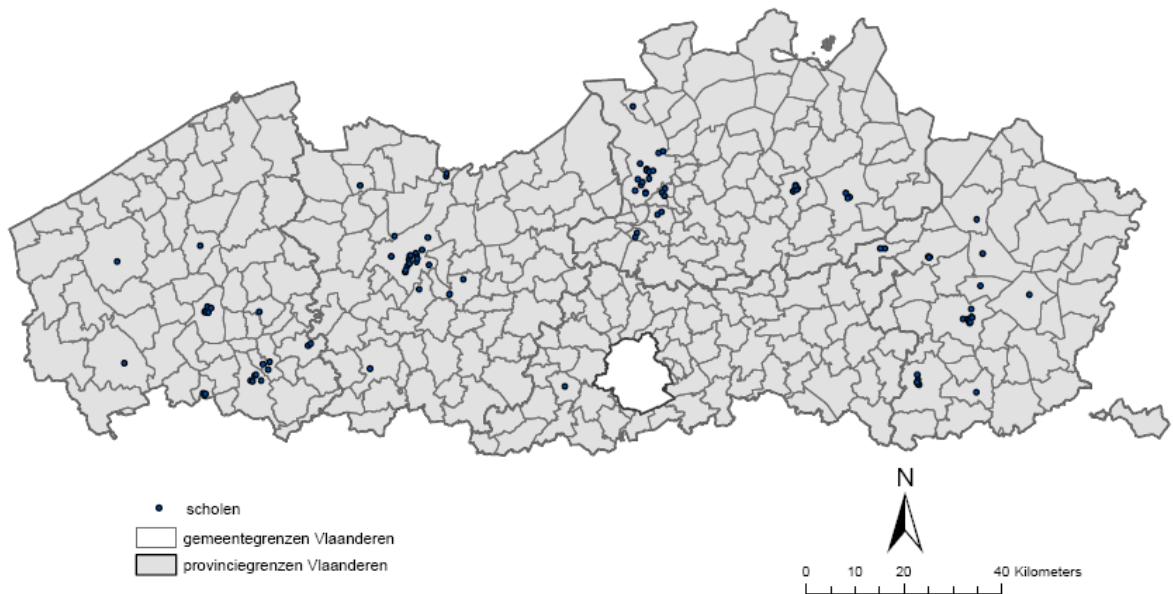
Onderstaande kaarten lokaliseren de adolescenten (resp. de woonplaatsen en de scholen). De roostereenheid voor de modellering van concentraties of voor emissiedrukken is respectievelijk 4x4 km en 500x500m. In eerste instantie werd nagegaan of deze resolutie fijn genoeg was, of de jongeren toegewezen konden worden aan een voldoende aantal verschillende roostercellen.

De adolescenten woonden verspreid over **163** 4x4 km **roostercellen**. De schoollocaties bevonden zich in **51** roostercellen.

Dit betekent dat er voldoende geografische spreiding was van de jongeren om een correlatie te kunnen berekenen tussen gemodelleerde buitenluchtkwaliteitsgegevens en de biomonitoringsdata.



*Figuur 2: Situering van de woonplaatsen van de deelnemende adolescenten.*



Figuur 3: Situering van de scholen.

### 3.4 Karakteristieken van de jongeren

In Tabel 4 worden enkele kenmerken van de deelnemende adolescenten besproken, verkregen uit de vragenlijsten.

Tabel 4: Beschrijving van de deelnemers.

| Karakteristieken   | Rokers      | Niet-rokers* | Totaal      |
|--|-------------|--------------|-------------|
| aantal   | 213 (13,3%) | 1387 (86,7%) | 1600 (100%) |
| <b>Persoonskenmerken/gezondheid</b>                          |             |              |             |
| gemiddelde leeftijd  | 15          | 15           | 15          |
| geslacht   |             |              |             |
| % meisjes  | 51          | 46,5         | 47          |
| % jongens  | 49          | 53,5         | 53          |
| gemiddelde BMI   | 21          | 21           | 20          |
| gemiddeld serum ferritine (µg/l bloed)                       | 33          | 30           | 30          |
| gemiddeld te vroeg geboren (maanden)                         | 1 (n=7)     | 1 (n=40)     | 1 (n=47)    |
| % ernstige long- of luchtweginfectie in eerste 2 levensjaren | 9           | 10           | 10          |
| % kinderopvang   | 32          | 40           | 39          |
| % zwemmen 1x per week in eerste 2 jaren                      | 11          | 7            | 7           |
| % familiaal voorkomen van astma                              | 8           | 10           | 10          |
| % huidig astma <sup>a</sup>                                  | 16          | 9            | 10          |
| % doctor diagnosed astma <sup>b</sup>                        | 11          | 8            | 9           |
| % ooit astmasymptomen <sup>c</sup>                           | 28          | 20           | 21          |
| % luchtweginfecties <sup>d</sup>                             | 11          | 11           | 11          |
| <b>Sociale status en opleiding</b>                           |             |              |             |
| onderwijstype jongeren                                       |             |              |             |
| % ASO/KSO  | 27          | 60           | 55          |
| % TSO  | 43          | 31           | 33          |

| <b>Karakteristieken</b>  | <b>Rokers</b> | <b>Niet-rokers*</b> | <b>Totaal</b> |
|--|---------------|---------------------|---------------|
| % BSO  | 29            | 9                   | 11            |
| % geen info  | 1             | 1                   | 1             |
| % ouders met hogere opleiding  | 30            | 51                  | 48            |
| <b>Opleidingsklasse ouders</b>   |               |                     |               |
| % Lager onderwijs  | 4             | 1                   | 2             |
| % Lager secundair onderwijs  | 19            | 12                  | 13            |
| % Hoger secundair onderwijs  | 45            | 33                  | 34            |
| % Hoger onderwijs  | 30            | 51                  | 48            |
| % geen info  | 2             | 3                   | 2             |
| <b>Roken</b>   |               |                     |               |
| % moeder rookte tijdens zwangerschap                                     | 25            | 12                  | 14            |
| % moeder rookte in eerste 2 levensjaren                                  | 21            | 11                  | 12            |
| % roker in het gezin   | 62            | 35                  | 38            |
| <b>rookgedrag jongere</b>  |               |                     |               |
| % sporadisch   | 43            | 0                   | 6             |
| % dagelijks  | 57            | 0                   | 8             |
| gemiddeld aantal sigaretten/dag  | 6,4           | 0                   | 0,86          |
| % <= 5/dag   | 51            | 0                   | 7             |
| % >5/dag   | 46            | 0                   | 6             |
| gemiddeld aantal minuten passief roken per dag                           | 690           | 237                 | 297           |
| <b>Hobby's</b>   |               |                     |               |
| > 2 uur/week intensief sporten bij druk verkeer (%)                      | 9             | 7                   | 8             |
| > 1x per week zwemmen in een overdekt zwembad (%)                        | 14            | 19                  | 18            |
| <b>contact met:</b>  |               |                     |               |
| solventen (%)  | 67            | 55                  | 57            |
| PAK's (%)  | 37            | 24                  | 26            |
| zware metalen (%)  | 3             | 3                   | 3             |
| <b>Binnenhuis</b>  |               |                     |               |
| % verwarming woning met open haard, mazout-, gas-, kolen-, of houtkachel | 37            | 37                  | 37            |
| % koken op gasfornuis  | 37            | 33                  | 33            |
| % slechte ventilatie of muffe geur in huis                               | 1             | 2                   | 2             |
| % slechte ventilatie of muffe geur in klas                               | 54            | 53                  | 53            |
| <b>buitenmilieu - verkeer</b>  |               |                     |               |
| % 15 minuten tot meer dan 1 uur / dag in druk verkeer <sup>e</sup>       | 50            | 45                  | 46            |
| % file op weg naar school  | 14            | 11                  | 11            |
| % druk verkeer < 50 m van de woning                                      | 36            | 30                  | 31            |
| <b>aantal autobussen of vrachtwagens per dag op &lt; 50m</b>             |               |                     |               |
| < 1 per uur (%)  | 49            | 52                  | 51            |
| > 1 per uur (%)  | 19            | 21                  | 21            |
| > 1 per kwartier (%)   | 14            | 14                  | 14            |
| > 1 per 5 minuten (%)  | 14            | 11                  | 11            |
| <b>Voeding</b>   |               |                     |               |
| eet producten uit eigen moestuin (%)                                     | 33            | 39                  | 38            |
| eet lokale groenten en fruit (%)   | 24            | 31                  | 30            |
| eet lokaal vlees (%)   | 14            | 21                  | 20            |

\* niet-rokers = nooit gerookt

Het percentage blanco gelaten vragen in de vragenlijst van de jongeren en hun ouders, bedroeg meestal minder dan 10%. Enkel bij de vragen over astma en gezinsinkomen lag het percentage hoger, respectievelijk 10%-20% en 18%.

<sup>a</sup>*Huidig astma*: 'Current asthma': definitie volgens European Community Health Respiratory Survey, (ECHRS): indien positief geantwoord op één van volgende vragen: laatste 12 m astma aanvallen, laatste 12 m geneesmiddelen voor astma, laatste 12 m wakker geworden door aanval van kortademigheid, laatste 12 m wakker geworden door piepen/fluiten in de borstkas

<sup>b</sup>*Doctor diagnosed' astma*: indien positief geantwoord op de vraag 'ooit astma gehad?'

<sup>c</sup>*Ooit astmasymptomen*: positief, indien positief geantwoord op één van volgende vragen: laatste 12 m astma aanvallen, laatste 12 m geneesmiddelen voor astma, laatste 12 m wakker geworden door aanval van kortademigheid of wakker geworden door piepen/fluiten in de borstkas, laatste 12 m last van piepen of fluiten in borstkas gecombineerd met kortademigheid en voorkomen buiten periode van verkoudheid, ooit astma gehad, ooit beklemming of piepende ademhaling tijdens gewone dagelijkse activiteiten.

<sup>d</sup>*Luchtweginfecties*: positief, indien meer dan 3x afgelopen jaar: verkoudheid of ontsteking van de neus (sinusitis) of luchtwegen (bronchitis)

<sup>e</sup> Druk verkeer: 15 minuten tot meer dan één uur per dag in de buitenlucht met regelmatige passage van vrachtwagens, bussen of in een verkeersfile.

## 4 MATERIAAL EN METHODEN

### 4.1 Metingen in de mens

#### 4.1.1 Bloed- en urinemetingen en gegevens uit de dataset van de Vlaamse humane biomonitoringscampagne

Vanuit de humane biomonitoringscampagne van het Steunpunt Milieu en Gezondheid werden de bloed- en urineresultaten en vragenlijstgegevens gebruikt met informatie over 1600 14-15 jarige jongeren uit acht gebieden in Vlaanderen.

Na het verlenen van de toestemming en nagaan van de inclusiecriteria kregen de ouders en de jongeren een uitgebreide vragenlijst rond gezondheid, levensstijl, voedingsgewoonten, hobby's, verblijftijd in het verkeer, woning,.... Vervolgens werden de jongeren op de onderzoeksdag in de school gewogen en gemeten, en er werd 27 mL bloed- en ca. 200 mL urine gecollecteerd. Op het ogenblik van het onderzoek vulden de jongeren nog een korte vragenlijst in over recente blootstelling (bijv. roken, speciale voeding, blootstelling aan verkeer,... tijdens de voorbije 2 dagen).

De bloedname gebeurde met een vleugelnaaldje waarop achtereenvolgens twee 10-mL polyethyleenstolbuizen en één 7-mL glazen EDTA vacutainer werden gemonteerd. Onmiddellijk na staalname werd een deel van de 7-mL glazen vacutainer verdeeld over een 10-mL polypropyleenbuis voor bepaling van zware metalen en een 1 mL polypropyleen-eppendorffje voor de komeetest-analyse. De urine werd in een polypropyleen-recipient opgevangen en gedeeltelijk verdeeld over een 10-mL polypropyleentube voor cadmiumbepaling en een tweede tube voor 1-OH pyreen- (PAK metaboliet) en tt'-muconzuur- (benzeenmetaboliet) analyse. Alles werd in een koelbox vervoerd naar Vito en de meeste tubes werden gestockeerd bij -20°C<sup>5</sup>. De metingen werden vervolgens uitgevoerd in verschillende analyselabo's.

In onderstaand overzicht staan alle in het huidig project gebruikte gegevens uit de beschikbare dataset:

---

<sup>5</sup> De tube bestemd voor de komeetest werd niet bij -20°C gestockeerd, maar binnen 48h verwerkt bij aankomst in het analyselabo.



**Vragenlijstgegevens over:** levensstijl, hobbies, voedingsgewoonten, leefomgeving,...

**Lambertcoördinaten:** van de woonplaats én de school

**Biomerkermetingen:**

*Metingen van bepaalde stof in bloed of urine:*

Benzeenmetaboliët ( $T_{1/2} = 2$  d)

PAKs metaboliët ( $T_{1/2} = 2$  d)

Lood (Pb) in bloed ( $T_{1/2} = 30$  d)

Cadmium (Cd) in bloed ( $T_{1/2} = 2-3$  mnd).

Cadmium (Cd) in urine ( $T_{1/2} = \text{jaren}$ )<sup>6</sup>

*Biomerkers die geïntegreerd beeld geven van blootstelling of effect van meerdere polluenten:*

DNA schade gemeten via komeettest (halfwaardetijd  $T_{1/2}$  van de gemeten schade = ca. 1 week)

Luchtwegklachten adolescent gedurende laatste 12 maanden (middenlange termijn):

- *Huidig astma:* 'Current asthma': definitie volgens European Community Health Respiratory Survey, (ECHRS): indien positief geantwoord op één van volgende vragen: laatste 12 m astma aanvallen, laatste 12 m geneesmiddelen voor astma, laatste 12 m wakker geworden door aanval van kortademigheid, laatste 12 m wakker geworden door piepen/fluiten in de borstkas
- *'Doctor diagnosed' astma:* indien positief geantwoord op de vraag 'ooit astma gehad?'
- *Ooit astmasymptomen:* positief, indien positief geantwoord op één van volgende vragen: laatste 12 m astma aanvallen, laatste 12 m geneesmiddelen voor astma, laatste 12 m wakker geworden door aanval van kortademigheid of wakker geworden door piepen/fluiten in de borstkas, laatste 12 m last van piepen of fluiten in borstkas gecombineerd met kortademigheid én voorkomen piepen/fluiten buiten periode van verkoudheid, ooit astma gehad, ooit beklemming of piepende ademhaling tijdens gewone dagelijkse activiteiten.
- *Luchtweginfecties:* positief, indien meer dan 3x afgelopen jaar: verkoudheid of ontsteking van de neus (sinusitis) of luchtwegen (bronchitis)

#### 4.1.2 Vluchtige organische Stoffen (VOS) gemeten via dosimetrie bij jongeren uit twee Vlaamse regio's

Aansluitend bij de biomonitoringscampagne werden bij 179 jongeren uit landelijk O-en W-Vlaanderen en uit Antwerpen vluchtige organische stoffen gemeten via diffusieve sampler ('Radiello') (Figuur 4).

De dosimeter geeft voor de gemeten stoffen de **geaccumuleerde dosis** van de dagen waarin hij werd gedragen, voor **zowel indoor als outdoor blootstelling**.

De sampler werd twee dagen gedragen door de jongere. De adolescenten vulden een korte fiche in om de exacte tijd van monsternamen te berekenen en evt. extrema te kunnen verklaren door blootstellingen aan solventen, sigarettenrook, verf of verkeer gedurende deze periode.

<sup>6</sup> Cd meting in urine van 14-15 jarige jongeren geeft mogelijk niet voldoende historische blootstelling weer, gezien opstapeling in bot van (groeierende) jongeren nog volop bezig is en steady state waarde mogelijk nog niet is bereikt.



*Figuur 4: Diffuse 'Radiello' sampler. De (witkleurige) diffusieve cilinder is 5 cm lang en heeft een diameter van 16 mm. Het adsorbens (530 mg actieve kool) is in een lang, smal inox cilindervormig net verpakt en wordt in de diffusieve polyethyleencilinder (HDPE) gemonteerd bij aanvang van de bemonsteringsperiode. Na opschroeven van de cilinder op het 'draagplaatje' is de sampler klaar voor bevestiging aan de kledij van de proefpersoon.*

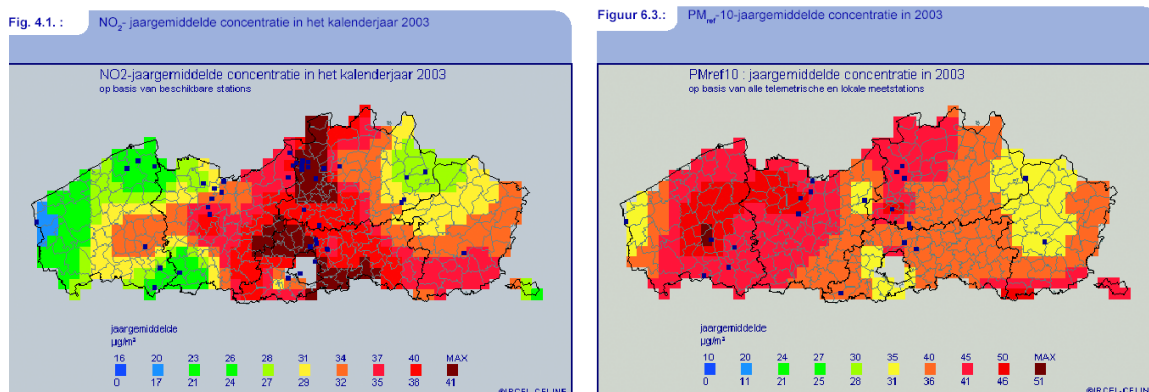
De sampler is opgebouwd uit een adsorbens (actieve kool) met daaromheen een diffusieve cilinder gemaakt van polyethyleen (HDPE). Bij het dragen migreren de gasmoleculen (polluenten) uit de omgeving naar een adsorbens en dit ten gevolge van een concentratiegradiënt. Na het dragen werd de actieve koolcilinder door de jongere in een glazen buisje gestoken, dat werd afgesloten met een teflon(PTFE)-stop. In het labo werden de VOS's van het adsorbens gedesorbeerd. In de glazen houder met de actieve kool cilinder werd 2 mL koolstofdissulfide met daarin de interne standaard 2-fluortolueen (ca. 15 µg/g) toegevoegd. Het geheel werd 30 minuten geschud om volledige desorptie van de polluenten te verkrijgen. De koolstofdissulfide met interne standaard en met daarin de gedesorbeerde polluenten werd overgebracht in een glazen autosampler bekertje. De analyse gebeurde d.m.v. GC-MS (capillaire gaschromatografie / massaspectrometrie; HP 5890 GC in combinatie met HPMS 5972, kolomtype RTX EPA 502.2, lengte 105 m, 320 µm ; splitless injectie van 1 µL bij injectortemperatuur van 250°C ; He draaggas bij 20.54 psi ; ovenprogramma: 35°C (1min), 5°C/min tot 250°C ; SIM mode).

*De massa pollutant die diffundeert doorheen een oppervlak  $S$ , van een concentratie  $C$  naar  $C_0$  over een afstand van één cm, volgt de eerste wet van Fick:  $M/t = D \times S / l \times (C - C_0)$  <sup>(a)</sup>. Hierbij is  $M$  de massa (mg) geadsorbeerd gedurende de tijd  $t$  (min),  $C$  de omgevingsconcentratie (mg/m<sup>3</sup>),  $C_0$  de concentratie aan het adsorptieoppervlak,  $S$  het diffusieoppervlak (cm<sup>2</sup>) op een afstand  $l$  (cm) van het adsorbens, en  $D$  de diffusiecoëfficiënt (cm<sup>2</sup>/s).  $C_0$  wordt beschouwd als zijnde verwaarloosbaar ten opzichte van  $C$ ; vergelijking <sup>(a)</sup> wordt dan:  $M/Cxt = D \times S / l = Q$ . De term  $Q$  (cm<sup>3</sup>/s) heeft de dimensies van een debiet. Het debiet wordt de opnameconstante genoemd en is vergelijkbaar met het bemonsteringsdebiet bij actieve staalname d.m.v. een pompje. Wanneer deze opnameconstante  $Q$  bekend is, volstaat het om de geadsorbeerde massa ( $M$ ) en de monsternametijd ( $t$ ) te bepalen waaruit dan de omgevingsconcentratie ( $C$ ) volgt. Typisch voor de Radiello zijn de hoge opnameconstanten tussen 60 en 80 cm<sup>3</sup>/s, waardoor in omgevingslucht korte bemonsteringstijden kunnen gehanteerd worden.*

## 4.2 Modelleren van emissiedrukken en concentraties (immissies)

Buitenluchtkwaliteitsmeetstations zijn niet gebiedsdekkend voor Vlaanderen. De metingen gebeuren op een beperkt aantal locaties en het aantal en de plaats van de meetlocaties zijn verschillend voor elke pollutant. Voor NO<sub>2</sub> in het jaar 2003 zijn er een 40-tal meetstations (VMM, 2003). Op basis hiervan is het mogelijk met interpolatietechnieken een globaal overzicht te bekomen voor het hele Vlaamse gewest. De structuur van het op die manier bekomen concentratieveld wordt duidelijk bepaald door de ligging van de meetstations (zwarte vierkante symbolen in Figuur 5). Zo worden de lagere waarden in het oosten van de provincie Antwerpen en het noorden van de provincie Limburg, veroorzaakt door de twee meetstations dichtbij de grens

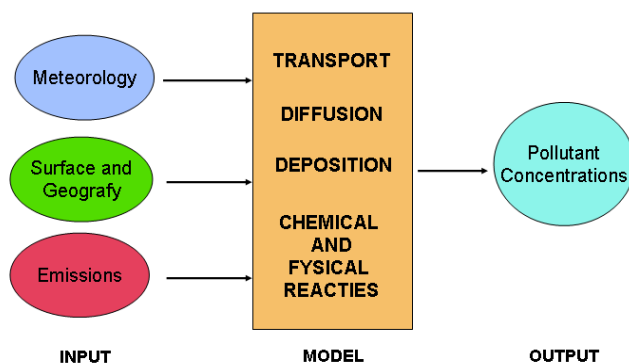
tussen beide provincies. Hetzelfde probleem doet zich voor bij het uittekenen van de concentratievelden van PM<sub>10</sub> (Figuur 5).



*Figuur 5: Jaargemiddelde NO<sub>2</sub> (links) en PM<sub>10</sub> concentratie in het Vlaamse gewest voor het jaar 2003. Interpolatiekaartje gebaseerd op metingen van alle stations uit het telemetrisch meetnet en bovendien voor: (i) NO<sub>2</sub>: 5 stations van de Belgische petroleumfederatie (regio Antwerpen), 13 stations van de elektriciteitsproducenten en enkele stations uit specifieke studies; (ii) PM<sub>10</sub>: stations van de specifieke studies in Vlaanderen en nabijgelegen meetstations van het Waalse en Brusselse gewest (VMM, 2003).*

De beperking van concentratievelden gebaseerd op enkele tientallen meetposten worden door de VMM aangehaald in het jaarrapport “Luchtkwaliteit in het Vlaamse gewest” (VMM, 2003). De spreiding van de meetstations is echter historisch gegroeid met meerdere meetstations in de zware industriële gebieden (havens van Antwerpen en Gent) en de grote stedelijke agglomeraties. Bijkomende meetstations zijn later toegevoegd om te voldoen aan de Europese kader- en dochterrichtlijnen lucht die o.a. minimale eisen met betrekking tot het meten van luchtkwaliteit definiëren.

Voor het huidige project was het nodig voor Vlaanderen gebiedsdekkende buitenluchtkwaliteitsmetingen te hebben. Daarom werd een luchtkwaliteitsmodel toegepast om voor Vlaanderen fysisch samenhangende concentratievelden aan te maken. Een luchtkwaliteitsmodel is een numeriek programma dat toelaat om op basis van meteorogegevens, emissiegegevens en terreingegevens de luchtkwaliteit in een bepaalde locatie te berekenen (Figuur 6).



*Figuur 6: Algemene schematische voorstelling van een luchtkwaliteitsmodel.*

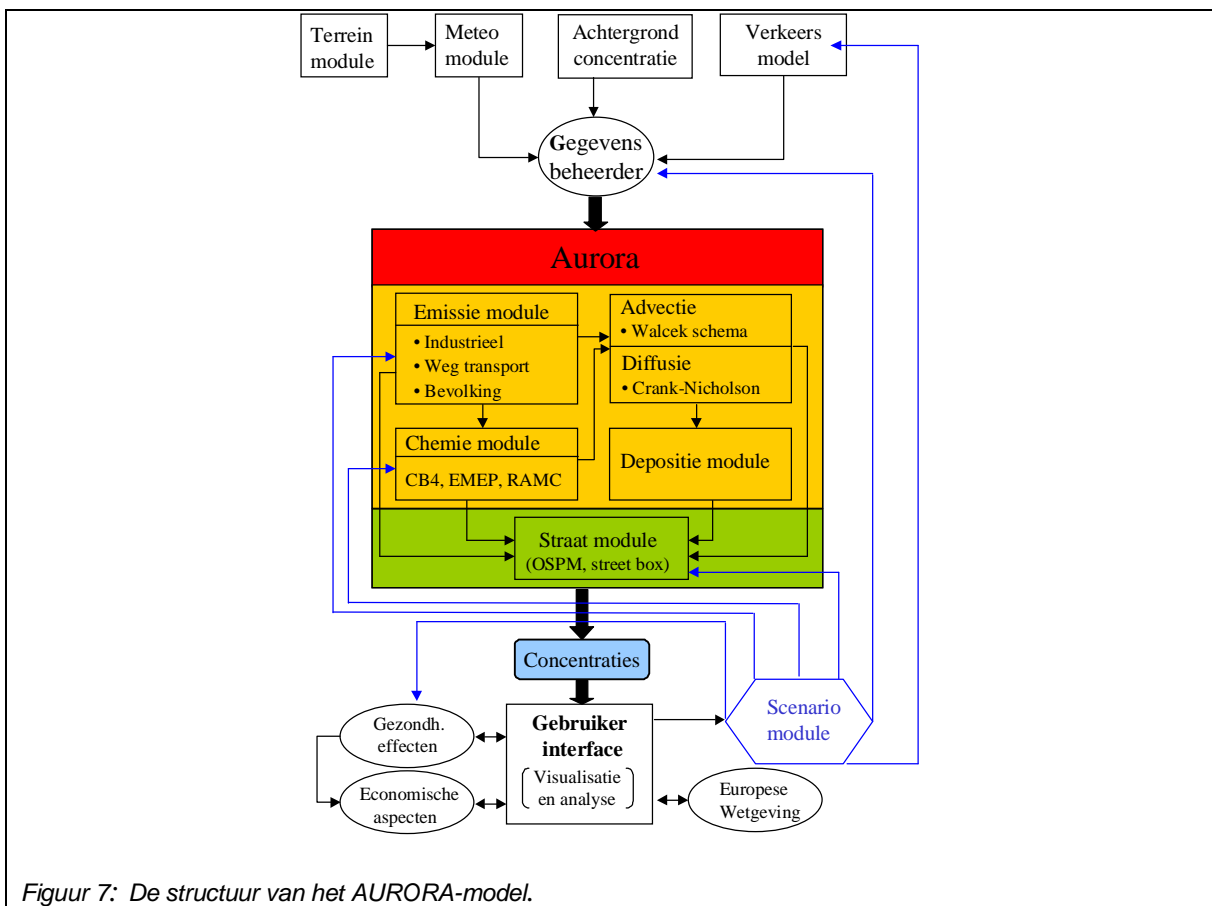
*Elk luchtkwaliteitsmodel maakt gebruik van meteogegevens, terreingegevens en emissiegegevens. Het AURORA-model bezit een gedetailleerde meteomodule waarmee de meteorologische parameters relevant voor de dispersie van polluenten en vorming van secundaire polluenten (zoals ozon en fijn stof) precies kunnen worden aangemaakt. Deze module is een volwaardig meteorologisch model dat data (temperatuur, wind, turbulentieparameters, luchtdruk, neerslag, stralingsgegevens) aanlevert op een 3-dimensioneel (AURORA-rooster). De terreingegevens zijn als input nodig voor zowel het meteomodel als het AURORA-model en worden aangemaakt met een specifiek ontworpen pre-processor die data combineert van verschillende databases. Voor elke maand van een door te rekenen periode worden constante terreingegevens aangemaakt op basis van o.a. satellietgegevens voor de vegetatieparameters (verdeling en staat van de vegetatie) en de oppervlaktetemperatuur van het zeewater in de simulatiegebieden.*

Voor het huidige project werd gekozen om met het AURORA-(Air quality modelling in Urban Regions using an Optimal Resolution Approach) model te werken (Mensink et al., 2001; Lefebvre et al., 2003a). Dit Euleriaans roostermodel laat toe om op een flexibele manier zowel regionale als meer lokale berekeningen te combineren. Dit computermodel, ontworpen voor de evaluatie van luchtvervuiling in verstedelijkte gebieden (vastgelegd door Europese Richtlijn 1996/62/EG van de raad van 27 september 1996), werd door Vito ontwikkeld (<http://www.vito.be/milieu/milieustudies9d.htm>).

*Figuur 7 toont de structuur van het model: een suite van modules die, vertrekkende van grootschalige meteorologische en concentratiegegevens, terreindata en emissiegegevens, de concentraties van verschillende polluenten berekent. Het model laat berekeningen toe op twee niveaus (regionaal/stedelijk en straatniveau) en houdt rekening met interacties tussen de verschillende schalen. De eerste schaal is de regionale en stedelijke achtergrond, de tweede schaal betreft de verfijning tot op straatcanyon-niveau aan de hand van de modules OSPM en/of STREET BOX. In het kader van dit project, werden regionale/stedelijke berekeningen worden uitgevoerd over gans Vlaanderen met een ruimtelijke resolutie van 4 km.*

De ingangsmodule van het model is ARPS – Advanced Regional Prediction System (Xue et al., 2000), een numeriek weersvoorspellingsmodel ontwikkeld door CAPS - Center for Analysis and Prediction of Storms. Dit model levert de meteorologische parameters (temperatuur, atmosferedruk, wind componenten, vochtigheid, wolken, straling, turbulentie) nodig voor de berekening van de dispersie en fysisch/chemische omzettingen van de polluenten. Deze module werd door Vito overgenomen en aangepast volgens eigen noden. De selectie van dit model ging gepaard met de deelname aan de vergelijkende studie MESOCOM (Thunis et al., 2003) van diverse meteorologische modellen. In tegenstelling tot een klassieke validatie-oefening met meetgegevens werd een geïdealiseerd gebied afgebakend. Hieruit is een set van factoren afgeleid die een belangrijke invloed hebben op meteorologische modellen. Domeingrenswaarden (boundary conditions) zijn hiervan een voorbeeld.

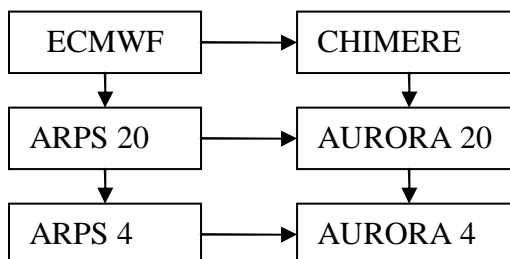
Het eigenlijke hart van AURORA is EDM of het Euleriaans Dispersie Model. Dit model maakt gebruik van recent ontwikkelde en geoptimaliseerde rekenschema's. Deze schema's zijn uitgebreid getest en vergeleken met andere modellen (Mensink et al., 2001), alsook analytische oplossingen ervan. Het uiteindelijke resultaat is een sterk geoptimaliseerd algoritme voor verspreiding van polluenten in de atmosfeer (advectie/diffusie). Ook chemische omzetting van polluenten wordt behandeld m.b.v. de chemische module Carbon-Bond IV (Gery et al. (1989).



Figuur 7: De structuur van het AURORA-model.

Voor de regionale berekeningen worden opeenvolgende berekeningen met steeds hogere resolutie uitgevoerd, zowel met het meteo-model als met het dispersiemodel. Op deze manier ("nesting") worden grootschalige meteo en concentratie invloeden meegenomen. De interacties tussen het de meteomodule ARPS en het AURORA model alsook de interacties tussen de verschillende resoluties is schematisch weergegeven in onderstaande figuur voor een 20 – 4 km geneste simulatie.

De randvoorwaarden en ook de beginvoorwaarden voor de grofste resolutie run van het meteorologisch model ARPS worden genomen uit een grootschalig meteorologisch model, zoals vb. het ECMWF model (<http://www.ecmwf.int/>). Voor het AURORA model worden deze condities genomen uit het Chimere model (Schmidt et al., 2001 en <http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere/>). De rand- en beginvoorwaarden van de fijnere resolutie run worden genomen uit de resultaten van grovere resolutie run. Het 3D-rooster gebruikt door het ARPS en AURORA-model is hetzelfde, ook de emissiegegevens worden op dit rooster gebracht. Deze aanpak zorgt voor een exacte collocatie van de invoergegevens en laat toe om op eenvoudige manier de emissies, meteo en concentraties te relateren.



Schema van een nesting modelopzet met het meteorologisch (ARPS) en het dispersiemodel (AURORA). Chimere is een chemie transport model van het Institut Pierre Simon Laplace, Frankrijk (Schmidt et al., 2001).

## 4.2.1 Berekening emissiedrukken a.d.h.v. emissiegegevens van huishoudens, bedrijven, landbouw, verkeer, handel & diensten

Voor berekening van emissiedrukken werden Vlaamse en Europese emissiegegevens opgevraagd. Beide datasets geven **huidige en officieel gerapporteerde emissiegegevens**. Bijgevolg zijn volgende emissies niet in rekening gebracht bij de berekening van emissiedrukken: (i) emissies die niet zijn opgenomen in de officiële rapporten, (ii) huidige diffuse emissies die niet officieel dienen gerapporteerd te worden, (iii) historische emissies, die evt. kunnen zorgen voor diffuse emissies via historisch verontreinigde bodems/ecosystemen.

### 4.2.1.1 Emissiegegevens van Emissieinventaris Lucht (EIL) verwerkt op 500x500 m resolutie-rooster over Vlaanderen

In Vlaanderen worden emissies van verontreinigende stoffen jaarlijks gerapporteerd door de Emissieinventaris Lucht (EIL). Deze emissies zijn beschikbaar voor verschillende pollutanten en voor verschillende sectoren zoals bevolking, industrie, centrales, verkeer en landbouw. Het zijn ook deze emissiegegevens die de basis vormen voor het jaarlijkse milieurapport dat door het MIRA-team van VMM aan de Vlaamse regering wordt overgemaakt. In deze rapporten wordt een verdeling gehanteerd in 6 sectoren en 27 deelsectoren.

Het AURORA model onderscheidt 8 emissiesectoren: verbranding, raffinaderijen, industrie, solventen, verkeer, gebouwen, natuur en landbouw. De verschillende deelsectoren van MIRA worden dan herleid tot deze sectoren (voor een overzicht, zie Tabel 5).

De emissies gerapporteerd door EIL en MIRA worden jaarlijks herzien en zijn het resultaat van verscheidene bronnen zoals individuele emissieverslagen van bedrijven en expertanalyses. Het opmaken van deze cijfers is een dynamisch proces waarbij geleidelijk aan meer en meer onzekerheden worden weggewerkt.

De emissies gerapporteerd in een bepaald jaar kunnen beschouwd worden als de meest accurate schatting van de werkelijke emissies volgens de dan beschikbare technieken, methodes en kennis.

Tabel 5: Sectorenindeling MIRA-rapporten en het verband met AURORA-sectoren.

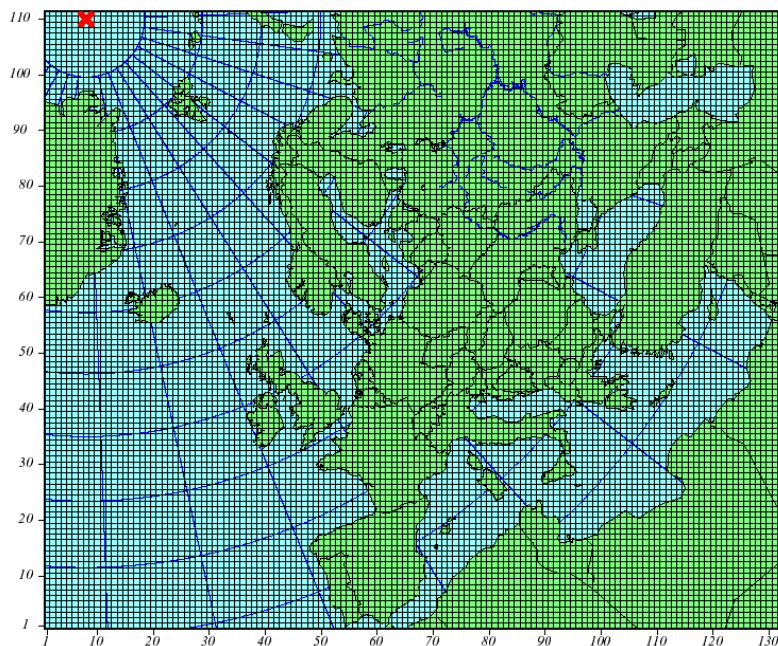
| MIRA-Sectoren        | MIRA- Deelsectoren  | AURORA-sectoren |
|----------------------|---|-----------------|
| Bevolking            | bevolking   | Huisverwarming  |
| Industrie            | chemie  | Industrie       |
|                      | ijzer, staal, non ferro, automobiel en machinebouw  | Industrie       |
|                      | voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie   | Industrie       |
|                      | textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid  | Industrie       |
|                      | papier- en papierwaren industrie  | Industrie       |
|                      | andere industrieën (bouw, asfalt & beton, rubber, hout, afvalrecuperatie, minerale niet-metaal                | Verbranding     |
|                      | winning en bewerking van steenkool  | Verbranding     |
|                      | cokesovenbedrijven  | Industrie       |
|                      | raffinaderijen  | Raffinaderijen  |
|                      | productie, transport en distributie van elektriciteit en warmte (incl. productie van splijt- en kweekstoffen) | Verbranding     |
| Landbouw en visserij | productie en distributie van gas  | Verbranding     |
|                      | veeteelt (stallen & opslag, weide en uitrijden van dierlijk mest)   | Landbouw        |
| Verkeer en vervoer   | kunstmestgebruik in de landbouw   | Landbouw        |
|                      | glastuinbouw  | Huisverwarming  |
|                      | brandstofverbruik in de landbouw uitgezonderd glastuinbouw en visserij  | Huisverwarming  |
|                      | visserij  |                 |
|                      | wegverkeer  | Verkeer         |
|                      |   | Verkeer         |
|                      | luchtvaart  | Verkeer         |
|                      | scheepvaart tussen Noordzeehavens en binnenscheepvaart  | Verkeer         |
|                      | spoorverkeer  | Verkeer         |
|                      | aanverwanten petroleumsector  | Industrie       |
| Handel en diensten   | afvalverwerking   | Verbranding     |
|                      | individuele bedrijven   | Verbranding     |
|                      | tankstations  | Verkeer         |
|                      | crematoria  | Verbranding     |
|                      | gebouwenverwarming in de handel- en dienstensector  | Huisverwarming  |
|                      |   |                 |

OPM: AURORA-emissiesector 'Solventen' komt niet voor in bovenstaande tabel.

Aangezien het AURORA-model werkt met uurlijkse invoergegevens, dienen de jaarlijkse emissievelden omgezet te worden. Per sector wordt een set conversiefactoren gedefinieerd rekening houdend met het activiteitspeil van de sector op een bepaald tijdstip, voor de sector huisverwarming wordt eveneens de luchttemperatuur in rekening gebracht.

#### 4.2.1.2 Europese emissiegegevens

Emissies van buiten Vlaanderen worden berekend op basis van EMEP gegevens (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe, <http://www.emep.int>). Deze emissiegegevens zijn door EMEP samengesteld op basis van de nationale rapporteringscijfers en zijn beschikbaar op een 50 bij 50 km rooster dat geheel Europa bedekt (Figuur 8).



*Figuur 8: EMEP rooster met 50 x 50 km roostercellen.*

Deze grootschalige emissiegegevens kunnen met behulp van andere data zoals landgebruikgegevens, vegetatiegegevens en bevolkingsgegevens verder verfijnd naar hogere resolutie. Deze bewerking is nodig om de EMEP-gegevens te kunnen gebruiken bij de AURORA-berekeningen.

Het domein van de 20-km simulaties met het AURORA-model beslaat een groot deel van West-Europa (70x70 roosterpunten) zoals getoond in *Figuur 10*. De EMEP-gegevens werden via bilineaire interpolatie op het 20-km AURORA-rooster gebracht.

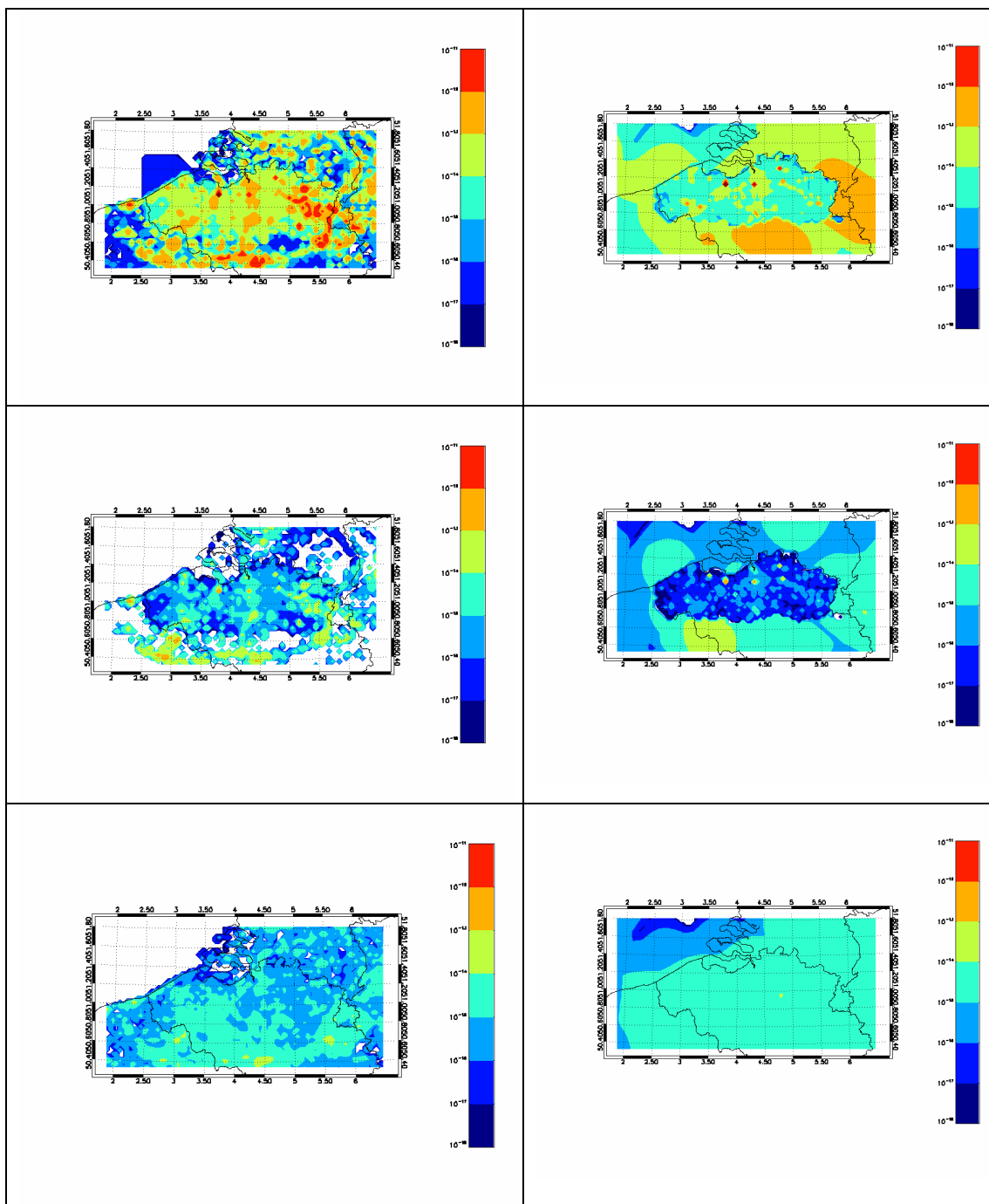
Voor de 4-km simulaties werd ingezoomd op het grondgebied van Vlaanderen, het domein bevatte hier 85x45 roostercellen en wordt getoond in *Figuur 11*.

Voor de polluenten  $\text{NO}_x$ , CO, VOS,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  en benzeen zijn de emissies voor dit modeldomein afkomstig van twee gegevensbanken. Voor het grondgebied Vlaanderen werd vertrokken van de hoge-resolutie Vlaamse EIL-emissiegegevens (500 x 500 m). Voor het grondgebied buiten Vlaanderen werden de EMEP-data gebruikt.

Voor de polluenten Pb, Cd en B(a)P werd een andere werkwijze gebruikt vermits voor deze polluenten de ruimtelijke resolutie buiten Vlaanderen zeer beperkt is en dat dit aanleiding geeft tot randeffecten aan de Vlaamse grenzen zoals getoond in de rechterhelft van *Figuur 9*.

Voor deze polluenten werd geopteerd om voor het ganse domein de EMEP data te gebruiken. De ruimtelijke resolutie van EMEP werd verbeterd door binnen een EMEP cel rekening te houden met de ligging van de verschillende AURORA emissiesectoren, *i.e.* waar liggen de woongebieden, industriegebieden, raffinaderijen,.... De emissies van een bepaalde EMEP cel konden dan binnen de cel verder ruimtelijk opgedeeld worden. Informatie over activiteiten die plaatsvinden op een bepaald punt in Europa kon afgeleid worden uit de CORINE digitale landgebruikkaart (Heymann *et al.* (1994)), die een resolutie heeft van 250m en de EU bedekt. De CORINE-klassen werden geassocieerd aan de verschillende AURORA-emissiesectoren. Om de emissies binnen een EMEP cel dan op te delen, gebruiken we de eerder vermelde emissiefactoren voor de verschillende sectoren. De resulterende emissiekaarten voor Pb en Cd en B(a)P worden getoond in de linkerhelft van *Figuur 9*. Deze werkwijze leverde een aanzienlijke verbetering op voor de ruimtelijke verdeling van de emissies.





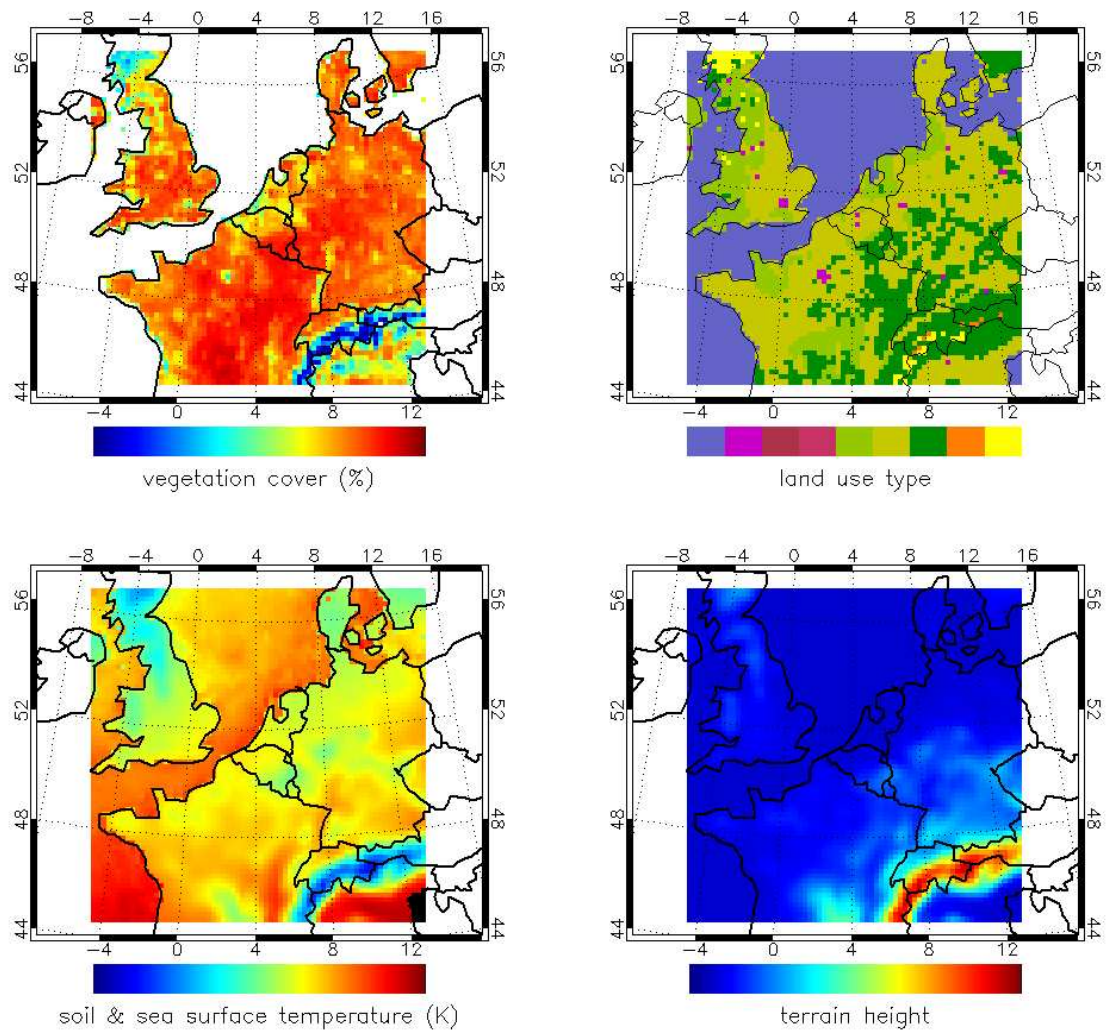
Figuur 9: Instantane emissievelden voor Vlaanderen voor Pb (boven), Cd (midden) en B(a)P (onder), uitgedrukt in  $\text{kg/s/m}^2$ . Aan de rechterkant zijn voor Vlaanderen de emissies genomen van de hoge-resolutie Vlaamse emissiegegevens (EIL) en van de EMEP databank voor het gebied buiten Vlaanderen. Links zijn de emissies genomen van EMEP, en is er een downscaling m.b.v. landgebruikkaarten doorgevoerd.

#### **4.2.2 Berekening van concentraties (immissies) met het AURORA luchtkwaliteitsmodel**

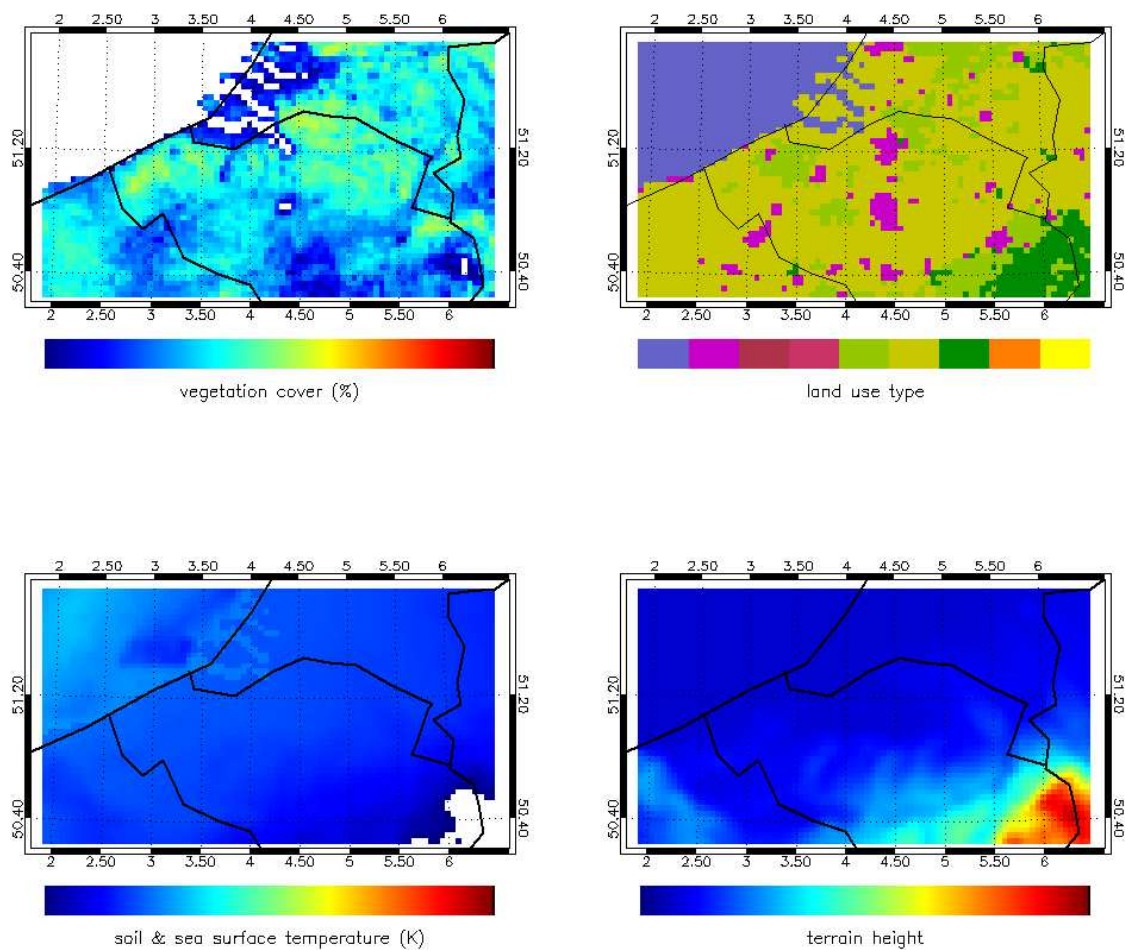
Het AURORA-model wordt in het kader van dit project gebruikt voor het simuleren van uurlijkse concentraties voor de jaren 2002, 2003 en 2004. De simulaties werden uitgevoerd op een resolutie van 20-km en 4-km. Figuur 10 en Figuur 11 tonen respectievelijk het modelgebied van het 20 en 4 km simulatiegebied. De meteorologische parameters en pollutieconcentraties werden berekend op 35 verticale niveaus, de resolutie in verticale richting neemt af met de hoogte boven het aardoppervlak. Het laagste niveau bevindt zich 12,5 m boven de grond, het hoogste niveau bevindt zich op ongeveer 20km.

In het kader van dit project werden de concentratieberekeningen uitgevoerd voor het gehele jaar 2002, de tweede helft van 2003 (juli 2003 – december 2003), en de eerste helft van 2004 (januari 2004 – juli 2004). Zowel de benodigde rekentijd als de opslagcapaciteit nodig voor de ARPS- en AURORA-runs is erg groot. Zo beslaan de uitvoerparameters van de ARPS-run voor 1 maand (de 20-km als de 4-km samen) run approximatief 8Gb, voor een AURORA-run is deze output approximatief 11Gb. Het doorrekenen van de 20-km en 4-km runs voor een 1 maand met het ARPS-model neemt ongeveer 5 dagen in beslag, de daaropvolgende AURORA-runs 4 dagen. De preprocessing van de invoergegevens werd grotendeels geautomatiseerd, evenwel dienen steeds de invoerparameters opgevraagd en gevalideerd te worden.

Voor elke maand werden de parameters van de vegetatiefractie en de zee- en landtemperatuur berekend. De invoerparameters van het ARPS-model (meteorologische module van het AURORA-model) worden getoond in Figuur 10 en Figuur 11. Linksboven is de maandelijkse vegetatiefractie weergegeven, deze kaart werd afgeleid uit SPOT-VEGETATION satellietbeelden. Het landgebruik (rechtsboven) werd overgenomen uit de CORINE digitale landgebruikkaart met een resolutie van 250m. Links onder in de figuren staat de initiële temperatuur van het zeeoppervlak (afgeleid van de MODIS-sensor aan boord van het NASA Terra platform), de bodemtemperatuur werd bekomen uit ECMWF-meteodata. De topografie werd afgeleid van het EDC Digital Elevation Model, dat het volledige aardoppervlak bedekt op een resolutie van 1km (rechtsonder in figuren).



*Figuur 10: ARPS/AURORA 20-km resolutie simulatiegebied. De resultaten van deze grootschalige modelberekeningen worden gebruikt als randvoorwaarden voor de 4-km resolutie simulaties.*



Figuur 11: ARPS/AURORA 4-km resolutie simulatiegebied.

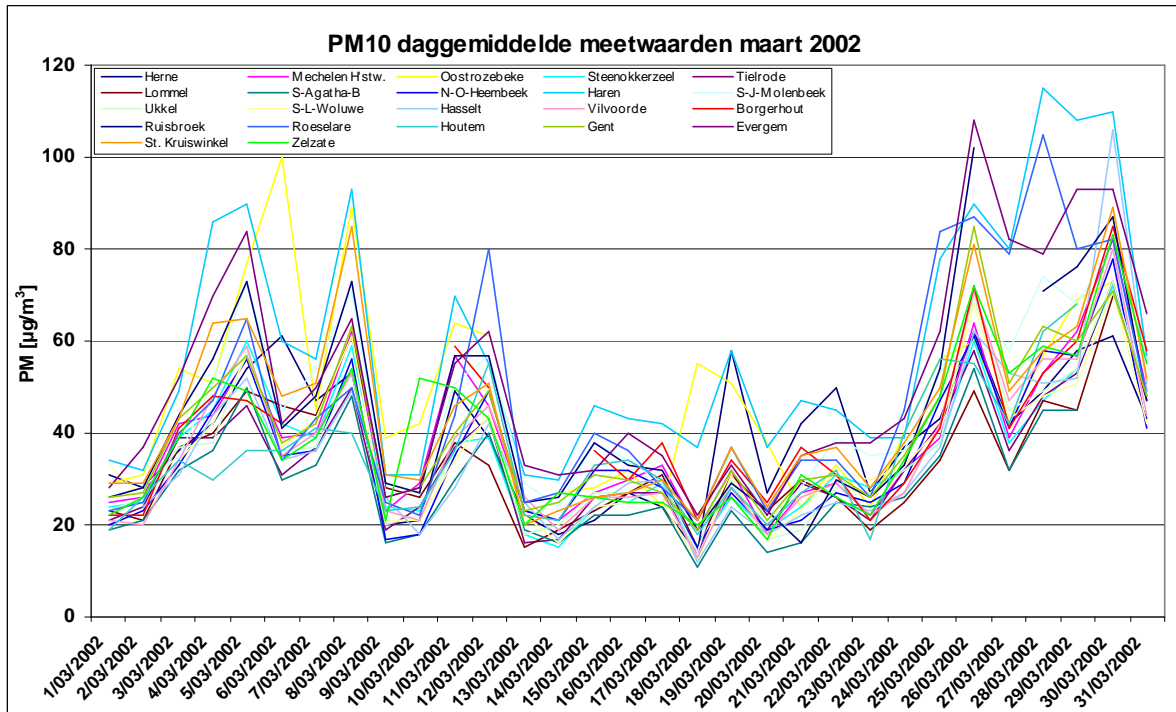
Voor volgende polluenten werden concentratieberekeningen uitgevoerd:  $O_3$ ,  $NO_2$ , Cd, benzeen, Pb, primair  $PM_{10}$  en primair  $PM_{2.5}$ :

Uurgemiddelde concentraties voor de polluenten  $O_3$  en  $NO_2$  werden berekend met de Carbon-Bond IV chemische module (Gery *et al.*, 1989). Voor Pb, benzeen, primair  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  werden geen chemische/fysische omzettingsreacties in rekening gebracht, de concentraties zijn berekend uitgaande van de primaire stofemissies en daaropvolgende advection en diffusie in de atmosfeer.

In het kader van onderliggend project was het niet mogelijk de gedetailleerde fijn stof module uit BelEUROS te gebruiken in AURORA omdat daardoor de rekentijd nog hoger zou oplopen. Omdat evenwel **primair  $PM_{10}$  verantwoordelijk is voor ongeveer 25% van de totale  $PM_{10}$  concentraties** en omdat het verloop van de  $PM_{10}$  concentraties in de tijd vrij homogeen is voor Vlaanderen (Figuur 12), wordt verwacht dat de verdeling van de primaire stof concentraties een goed beeld geeft van de onderlinge regionale verschillen in Vlaanderen. De secundaire aërosolen zijn immers grotendeels afkomstig uit het buitenland en vormen een homogene additionele vervuiling bovenop de lokale stofuitstoot.

Voor de polluent B(a)P werd voor de berekeningen van 2002 een uitgebreid PAK-mechanisme gebruikt (Cornelis *et al.*, 2005). In dit mechanisme worden gaspartikel faseovergangen, afbraak van B(a)P, gedetailleerde depositie in rekening gebracht. Vermits B(a)P voor quasi 100% in de partikelfase voorkomt, werd er voor de berekeningen van 2003-2004 een eenvoudiger mechanisme gehanteerd, hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen de partikel- en de gasfase.

Algemeen kan gesteld worden dat voor alle pollutanten de fout op de uurgemiddelde concentratieberekeningen het hoogst is en achtereenvolgens afneemt bij berekening van weekgemiddelde, maandgemiddelde of jaargemiddelde concentraties (immissies).



Figuur 12: Daggemiddelde  $PM_{10}$  waarden voor maart 2002 voor verschillende meetstations. Ter info: de Europese grenswaarde die maximaal 35 maal mag worden overschreden per jaar, ligt voor de daggemiddelde waarde op  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.2.3 Voor- en nadelen van emissiedrukgegevens vs. concentratieberekeningen

Binnen het huidig project werden zowel emissiedrukgegevens als concentratieberekeningen (immissieberekeningen) uitgevoerd. De reden hiervoor is dat beide benaderingen belangrijke voordelen (maar ook nadelen) hebben. Het belangrijkste voordeel van emissiedrukberekeningen is dat het relatief weinig rekentijd vraagt en uitgevoerd wordt voor een fijnmazig rooster van  $500 \times 500 \text{m}$ . Anderzijds houden concentratieberekeningen rekening met interacties (met meteo en terreindata), gegevens uit naburige roostercellen en zijn uurlijkse waarden beschikbaar.

##### Gemodelleerde emissiedrukken

###### + Voordeel:

- Relatief eenvoudige berekening
- Fijnmazig rooster van  $500 \times 500$  meter.

###### - Nadeel:

- Enkel jaartotalen.
- Ruwe benadering van pollutentgehalten, zonder rekening te houden met meteorologische en terreingegevens.
- Enkel info over de emissies in de roostercel zelf. Om dit enigszins op te vangen zullen de gemodelleerde emissiedrukken per roostercel wel standaard 'gewogen' worden naar de waarde van omliggende roostercellen. Dit kan bv. via nemen van gemiddelde van omliggende roostercellen.

### **Gemodelleerde concentraties**

#### **+ Voordeel:**

- o Gedetailleerde berekening tot en met uurlijkse velden.
- o Houdt rekening met chemische interacties tussen polluenten, mogelijkheid om secundaire polluenten (zoals O<sub>3</sub>) te modelleren.
- o Houdt rekening met interacties met meteogegevens en terreindata.
- o Berekening op basis van gekende emissiedrukgegevens uit naburige roosterzellen en emissiebijdragen uit het buitenland.

#### **- Nadeel:**

- o Rooster van 4x4 km.
- o Algemeen kan gesteld worden dat er een grotere fout zit op uurgemiddelde waarden, dan op weekgemiddelde, maandgemiddelde of jaargemiddelde concentratieberekeningen.

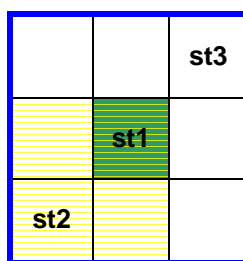
## **4.2.4 Berekening van individuele emissiedrukken of concentraties**

Van elke individuele deelnemer en van elke deelnemende school waren X,Y-Lambertcoördinaten beschikbaar die het mogelijk maakten elke deelnemer en elke school te lokaliseren in een bepaalde roostercel. Voor de gemodelleerde concentraties waren dit de AURORA-roosterzellen van 4x4 km. Voor de emissiedruk waren dit roosterzellen van 500x500 m.

### **Individuele emissiedrukken**

Op basis van de emissiedruk in de roostercel van woonplaats of school (**st 1**) werd een 'gesmoothe' (gewogen) emissiedruk berekend, waarbij rekening gehouden werd met de emissies in naburige roosterzellen (Figuur 13):

- **st2:** de emissies van de roostercel van de thuislocatie of de schoollocatie werden gecombineerd met de emissies van de roosterzellen in de overheersende N-W windrichting. Hier werd dus het gemiddelde berekend van emissies in st1 en de aangrenzende roosterzellen ten zuidoosten van cel 'st1'.
- **st3:** het gemiddelde van de emissies van st1 en alle aangrenzende roosterzellen van de thuislocatie of de schoollocatie werd berekend.



500m



*Figuur 13: grafische voorstelling van de wijze waarop naburige roosterzellen in rekening werden gebracht bij berekening van een gesmoothe emissiedruk voor roostercel st1. Ofwel werden roosterzellen ten Z-O meegenomen om het gemiddelde te bepalen (st2). Of er werd een gemiddelde berekend van st1 en alle omliggende roosterzellen (st3).*

Voor elk individu werd een gesmoothe emissiedruk berekend voor het jaar voorafgaand aan de onderzoeksdag en dit voor de roostercel van de thuislocatie en de schoollocatie. Per persoon werd dan een gecombineerde gesmoothe emissiedrukwaarde berekend op basis van de theoretische verblijftijd in de roostercellen van de thuis- en schoollocatie. Rekening houdend met de schoolvrije periode, kon berekend worden dat jongeren gedurende één kalenderjaar theoretisch **15% van hun totale tijd op school doorbrachten** (met schooldag = 8h op school). De schoolroostercel werd derhalve voor 15% in rekening gebracht bij de berekening van de individuele emissiedruk.

#### **Individuele concentraties**

Ook bij berekening van de concentraties werd rekening gehouden met de verblijftijd in beide roostercellen van school en thuis. Er werd verondersteld dat jongeren 8 uur per dag op de schoollocatie waren. Verder werd ook rekening gehouden met de onderzoeksdag van ieder individu, om te bepalen of deze voorafgegaan werd door vakantiedagen (niet op school) of weekend (2 dagen niet op school) of door een woensdag (1/2 dag op school), bij berekening van het gemiddelde over een bepaalde termijn (2 dagen, 7 dagen, maand). Zo varieerde de theoretische verblijftijd op school van 0 tot 25% van de totale tijd.

*Op die manier werd getracht een individuele 'blootstelling' te berekenen gespreid over ruimte (roostercellen) en tijd (onderzoeksdag). Uiteraard bleven er nog heel wat onzekerheden vervat in deze waarden gezien:*

- *Ruimtelijke variatie binnen één roostercel niet 'gevat' kon worden.*
- *de tijdsverdeling school- en thuisroostercel is theoretisch en bovendien zijn andere roostercellen waarin de jongeren zich bewoog, niet meegenomen.*
- *Daarnaast worden gemodelleerde concentraties bepaald door de kwaliteit van de brongegevens, wat inhoudt dat enkel huidige en gekende emissies gebruikt werden (zie ook commentaar boven).*

Per persoon werd dan een gecombineerde gesmoothe emissiedrukwaarde of concentratie van de gemodelleerde stoffen berekend op basis van de theoretische verblijftijd in de roostercellen van de thuis- en schoollocatie.

### **4.3 Vergelijking van de gemodelleerde concentraties**

#### **4.3.1 Vergelijking gemodelleerde meteorologische gegevens met meetwaarden**

De vergelijking van gemodelleerde met gemeten meteogegevens is een belangrijke stap in de modellering van de luchtkwaliteit wegens de dominerende rol van meteorologische variabiliteit op de uurlijkse en dagelijkse variaties in de gemeten luchtkwaliteit. De modelberekeningen van de meteoparameters luchttemperatuur, windsnelheid en windrichting werden vergeleken met de meetwaarden van enkele VMM meetstations (zie Tabel 6). Daartoe werden tijdsreeksen geplote van uurlijkse gemodelleerde waarden en echt gemeten waarden. De amplitude en de frequentie van de tijdsreeksen werd vergeleken.

Tabel 6: Overzicht van de VMM-metstations waarvan metingen gebruikt werden voor vergelijking met de gemodelleerde gegevens

| <b>O<sub>3</sub></b> |                  | <b>NO<sub>2</sub></b> |                     | <b>PM<sub>2.5</sub></b> |            | <b>PM<sub>10</sub></b> |                  |
|----------------------|------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|------------|------------------------|------------------|
| 44M705               | Roeselare        | 40HR01                | Herne               | 40KO01                  | Kortrijk   | 40AB01                 | Antwerpen        |
| 44N012               | Moerkerke        | 40LD01                | Laakdal             | 40ML01                  | Mechelen   | 40AL01                 | Antwerpen-LO     |
| 42N016               | Dessel           | 44M702                | Ertvelde            | 40ML02                  | Mechelen   | 40HB23                 | Hoboken          |
| 44N029               | Houtem           | 40ML01                | Mechelen            | 40MN01                  | Menen      | 40HR01                 | Herne            |
| 42N035               | Aarschot         | 44N012                | Moerkerke           | 44N029                  | Houtem     | 40KO01                 | Kortrijk         |
| 42N040               | St-Pieters-Leeuw | 42N015                | Schilde             | 42N045                  | Hasselt    | 44M705                 | Roeselare        |
| 42NO45               | Hasselt          | 42N016                | Dessel              | 44R731                  | Evergem    | 42M802                 | Antwerpen        |
| 42N046               | Gellik           | 44N029                | Houtem              | 42R801                  | Borgerhout | 40ML01                 | Mechelen         |
| 44N050               | St-Denijs        | 44N050                | St-Denijs           | 42R841                  | Mechelen   | 40MN01                 | Menen            |
| 44N051               | Idegem           | 40OB01                | Oostrozebeke        |                         |            | 44N012                 | Moerkerke        |
| 42N054               | Walshoutem       | 42R010                | St-Stevens-Wolluwe  |                         |            | 42N016                 | Dessel           |
| 44R701               | Gent             | 42R020                | Vilvoorde           |                         |            | 44N029                 | Houtem           |
| 44R710               | Destelbergen     | 44R701                | Gent                |                         |            | 42N035                 | Aarschot         |
| 44R740               | St-Kruis-Winkel  | 44R721                | Wondelgem           |                         |            | 42N045                 | Hasselt          |
| 42R801               | Borgerhout       | 44R731                | Evergem             |                         |            | 42N054                 | Walshoutem       |
| 42R811               | Schoten          | 44R740                | St-Kruis-Winkel     |                         |            | 40OB01                 | Oostrozebeke     |
| 42R831               | Berendrecht      | 44R750                | Zelzate             |                         |            | 42R020                 | Vilvoorde        |
| 42R841               | Mechelen         | 42R801                | Borgerhout          |                         |            | 44R701                 | Gent             |
|                      |                  | 42R811                | Schoten             |                         |            | 44R710                 | Destelbergen     |
|                      |                  | 42R821                | Beveren             |                         |            | 44R731                 | Evergem          |
|                      |                  |                       | Petroleumkaai-Antw- |                         |            |                        |                  |
|                      |                  | 42R822                | Haven               |                         |            | 44R740                 | St-Kruis-Winkel  |
|                      |                  | 42R830                | Doel                |                         |            | 44R750                 | Zelzate          |
|                      |                  | 42R832                | Ruisbroek           |                         |            | 42R801                 | Borgerhout       |
|                      |                  | 42R841                | Mechelen            |                         |            | 42R811                 | Schoten          |
|                      |                  | 42R891                | Scheurweg-Antw      |                         |            | 40ZD01                 | Zwijndrecht      |
|                      |                  | 42R892                | Kallo               |                         |            | 42R832                 | Ruisbroek        |
|                      |                  | 42R893                | Ekerse_Dijk-Antw    |                         |            | 42R841                 | Mechelen         |
|                      |                  | 42R894                | Muisborekiaan-Antw  |                         |            | 40SZ02                 | Steenokkerzeel   |
|                      |                  | 42R897                | Scheldelaan-Antw    |                         |            | 40TR01                 | Temse_(Tielrode) |
|                      |                  | 40SZ01                | Zaventem            |                         |            | 40WZ01                 | Lommel           |
|                      |                  | 40SZ02                | Steenokkerzeel      |                         |            |                        |                  |

| <b>Cd</b> |            | <b>Pb</b> |              | <b>benzeen</b> |            | <b>B(a)P</b> |                |
|-----------|------------|-----------|--------------|----------------|------------|--------------|----------------|
| 00BE01    | Beerse     | 00BE01    | Beerse       | 40LD01         | Laakdal    | 60N035       | Aarschot       |
| 00BE06    | Beerse     | 00BE06    | Beerse       | 40LD02         | Geel       | 60R750       | Zelzate        |
| 00GK02    | Genk       | 00BE02    | Beerse       | 40ML01         | Mechelen   | 60R801       | Borgerhout     |
| 00HB01    | Hoboken    | 00GK02    | Genk         | 42N045         | Hasselt    | 60SZ01       | Zaventem       |
| 00HB17    | Hoboken    | 00GN05    | Gent         | 44R701         | Gent       | 60SZ02       | Steenokkerzeel |
| 00HB18    | Hoboken    | 00HB01    | Hoboken      | 42R801         | Borgerhout |              |                |
| 00HB23    | Hoboken    | 00HB17    | Hoboken      | 40ZL01         | Zelzate    |              |                |
| 00HB24    | Hoboken    | 00HB18    | Hoboken      |                |            |              |                |
| 00HB20    | Kruikebeke | 00HB23    | Hoboken      |                |            |              |                |
| 00ML01    | Mechelen   | 00HB24    | Hoboken      |                |            |              |                |
| 00OL01    | Olen       | 00HB20    | Kruikebeke   |                |            |              |                |
| 00OP02    | Overpelt   | 00KN02    | Knokke-Heist |                |            |              |                |
| 00R750    | Zelzate    | 00ML01    | Mechelen     |                |            |              |                |
| 00R801    | Borgerhout | 00NO45    | Hasselt      |                |            |              |                |
| 00WZ01    | Lommel     | 00OL01    | Olen         |                |            |              |                |
|           |            | 00OP02    | Overpelt     |                |            |              |                |
|           |            | 00R750    | Zelzate      |                |            |              |                |
|           |            | 00R801    | Borgerhout   |                |            |              |                |
|           |            | 00WZ01    | Lommel       |                |            |              |                |



| meteogegevens |             |
|---------------|-------------|
| T2H801        | Zwijndrecht |
| T2M802        | Antwerpen   |
| T4M701        | Gent        |
| T4M702        | Ertvelde    |
| T4M705        | Roeselare   |

### 4.3.2 Vergelijking gemodelleerde concentraties met meetwaarden

Voor de pollutanten O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, benzeen en PM<sub>10</sub> werden uurlijkse meetgegevens opgevraagd bij VMM. Er werden gegevens van een aantal meetposten voor 2002, 2003 en 2004 (Tabel 6) en meetgegevens van een meetwagen tijdens verschillende periodes van 2004, gebruikt.

Om de modelwaarden te vergelijken kunnen zowel **afwijking** van de modelwaarde van de werkelijk gemeten waarde, als de **correlatie** tussen beide gegevenssets bepaald worden:

- *Afwijking*: Onder afwijking wordt de "bias" verstaan. Dit is het absoluut verschil in gemiddelde waarde tussen de gemodelleerde en gemeten waarden over een bepaalde periode, al of niet uitgedrukt in absolute waarde of procentueel ten opzichte van de meetwaarden.
- *Correlatie*: De berekening van de correlatiecoëfficiënt geeft een idee over de correlatie tussen de gemodelleerde en gemeten waarden.

Beide validatie-indicatoren kunnen berekend worden op verschillende tijdsgemiddelden. De afwijking werd bepaald op uursgemiddelden, de correlatie op daggemiddelden. Op Figuur 64 tot en met Figuur 68 wordt de correlatiecoëfficiënt weergegeven en kan visueel de afwijking ingeschat worden.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van welke nauwkeurigheden een luchtkwaliteitsmodel moet hebben alvorens het kan gebruikt worden in het kader van de opvolging en monitoring van de luchtkwaliteit in een regio. De EU-richtlijnen luchtkwaliteit staan toe om meetstations te vervangen door modelberekeningen, daar waar de luchtkwaliteit goed is. De percentages kunnen als richtinggevend worden beschouwd bij evaluatie van de modelwaarden.

*Tabel 7: Overzicht van de EU richtlijnen luchtkwaliteit = door EU toegestane afwijking van een model voor toepassing onder bepaalde condities met als doel het monitoren van luchtkwaliteit*

| Polluent          | EU toegestane afwijking van een model |
|-------------------|---------------------------------------|
| NO <sub>2</sub>   | 50-60% op uurlijkse gemiddelden       |
| O <sub>3</sub>    | 50 % op uurlijkse gemiddelden         |
| PM <sub>2,5</sub> | nog niet bepaald                      |
| PM <sub>10</sub>  | 50 % op jaargemiddelden               |
| Cd                | 60 % op jaargemiddelden               |
| Pb                | 50 % op jaargemiddelden               |
| B(a)P             | 60 % op jaargemiddelden               |
| benzeen           | 50 % op jaargemiddelden               |

### 4.4 Correlatie van biomerkers vs. milieugegevens

Rekening houdend met de halfwaardetijd van de pollutent in bloed of urine werd de waarde gecorreleerd met een dag- maand of jaargemiddelde gemodelleerde concentratie of jaartotaal emissiedruk van een bepaalde pollutent in een roostercel. Zo heeft cadmium in bloed een halfwaardetijd van 2 tot 3 maanden, wat maakt dat er voor elke adolescent een 75-dagen gemiddelde gemodelleerde concentratie werd berekend om deze te linken met de biomarkerwaarde. Dit gemiddelde werd voor iedere persoon afzonderlijk berekend voor de 75 dagen voorafgaand aan de persoonlijke onderzoeksdag.

In principe werd de biomerkerwaarde van elke adolescent gecorreleerd met een gemodelleerde concentratie of emissiedruk van een bepaalde pollutant in het roostercel van zijn woonplaats. Indien de school in een andere roostercel lag, werd een individuele concentratie/emissiedruk per adolescent berekenen op basis van een theoretische verblijftijd (% aanwezigheid) van de adolescent in de roostercel van de woonplaats en de school. Er werd aangenomen dat een jongere 8 uur per dag op of rond de school is (8:00-16:00), anderzijds werd ook rekening gehouden met vakantiedagen, woensdagen en weekenddagen die lagen in de periode voorafgaand aan de onderzoeksdag van de jongere.

De statistische analyses die uitgevoerd werden voor het bepalen van de correlatie tussen milieugegevens en biomerkerwaarden zijn: (i) berekening regressie (lineair of logistisch)<sup>7</sup>, zonder inbreng van verklarende variabelen, (ii) berekening regressie met inachtnaam van individuele invloedsfactoren (verklarende variabelen, zie verder).

Belangrijk is op te merken dat de correlaties die berekend werden tussen buitenluchtkwaliteitsgegevens en de biomerkers te interpreteren zijn als **associaties**, gezien de causaliteit niet kan worden aangetoond met deze studieopzet en verwerking.

#### 4.4.1 Relatie modelberekeningen – biomerkergegevens

Er werden in principe twee soorten relaties onderzocht (i) luchtkwaliteitsgegevens van één pollutant gerelateerd aan de meting van deze pollutant bij de jongeren (vb. metabolieten van benzeen of PAK's in urine, Pb of Cd in bloed), en (ii) luchtkwaliteitsgegevens van verschillende pollutanten gelinkt met biomerkerwaarden die geïntegreerde blootstelling (korte termijn herstelbare DNA-schade gemeten via de komeettest) of een gezondheidseffect weerspiegelen (luchtwegklachten).

Gezien de belangrijke invloed van roken op de meeste van de parameters, werd beslist **enkel niet-rokers, die voordien nooit gerookt hadden, op te nemen** bij de meeste correlatieberekeningen. Enkel bij correlatie van gemodelleerde loodwaarden met loodmetingen in het bloed, werden ook rokers mee opgenomen in het model.

---

<sup>7</sup> Dit kan via lineaire regressie (berekening R<sup>2</sup>-waarde), als de afhankelijke variabele continu is; of logistische regressie als de afhankelijke variabele categorisch is (berekening van relatief risico op bv. aan- of afwezigheid van luchtwegklacht geassocieerd met toename van blootstelling).

Tabel 8: Onderzochte correlaties tussen gemodelleerde gegevens en biomerkers.

| Modeloutput  | Tijd<br>voorafgaand aan<br>onderzoek<br>waarover<br>gemiddeld wordt | Biomerkermetingen bij jongeren |               |                       |
|--|---|--------------------------------|---------------|-----------------------|
|  |   | meting                         | Totaal aantal | Aantal<br>Niet-rokers |
| <b>(i) Relatie één pollutant met biomerkermeting van de pollutant</b>  |   |                                |               |                       |
| Loodconc.  | 1 maand   | Pb in bloed                    | 1581          | 1368                  |
| Cadmium  | 75 dagen  | Cd in bloed                    | 1581          | 1368                  |
|  | 1 jaar  | Cd in urine                    | 1581          | 1368                  |
| B(a)P conc.  | 1 week  | 1-OH pyreen in urine           | 1595          | 1386                  |
| Benzeenconc.   | 1 week  | Tt'muconzuur in urine          | 1595          | 1386                  |
| Benzeenconc.   | 2 dagen   | Benzeen-dosimetrie             | 179           | 162                   |
| <b>(ii) Relatie van verschillende pollutanten met integrerende biomerkermeting<br/>DNA schade gemeten met komeetttest</b>  |   |                                |               |                       |
| NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5_prim</sub> , PM <sub>10_prim</sub> ,<br>Cd, B(a)P, benzeen:<br>concentratie                                       | 2 dagen   | % DNA schade                   | 445           | 390                   |
| <b>Gerapporteerde luchtwegklachten</b>   |   |                                |               |                       |
| NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5_prim</sub> , PM <sub>10_prim</sub> ,<br>Cd, Pb, B(a)P, benzeen:<br>concentraties                                  | 1 jaar  | Huidig astma                   | 1456          | 1262                  |
|  |   | Doctor diagnosed<br>astma      | 1523          | 1822                  |
| +<br>CO, NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , Cd,<br>B(a)P, benzeen, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> ,<br>VOS <sub>tot</sub> : emissiedruk | 2.5 maand   | Ooit astma                     | 1377          | 1196                  |
|  | 2 dagen   | luchtweginfecties              | 1499          | 1304                  |

De methodiek gevolgd voor de statistische verwerking van de gegevens werd als volgt aangepakt.

**(i) Relatie één pollutant met biomerkermeting van de pollutant**

In eerste instantie werd een enkelvoudige regressie uitgevoerd tussen de betreffende pollutant en de biomarker-waarden van alle jongeren. Daarna werden via enkelvoudige regressie de belangrijkste invloedsfactoren geïdentificeerd binnen de studiegroep (zie verder). Deze factoren werden samen met de pollutantconcentratie in een forward stepwise multivariate regressieanalysemodel gestopt. Voor alle parameters (pollutantconcentratie en invloedsfactoren) werd berekend hoeveel procent (%) het van de variabiliteit in de meetwaarden verklaart (R<sup>2</sup>-waarde). De R<sup>2</sup>-waarde zegt dus iets over hoe belangrijk deze factor was, voor de verklaring van de variatie in de biomarker gemeten bij deze groep jongeren. Het geeft, strikt genomen, niet weer hoe belangrijk de luchtpollutant of de invloedsfactor in het algemeen is voor het gehalte gemeten in het bloed of urine. Daarnaast werd ook een bèta coëfficiënt bepaald. Het geeft de toename in de biomarker weer bij een toename van de luchtpollutantconcentratie of een andere invloedsfactor.

**(ii) Relatie van verschillende pollutanten met integrerende biomerkermeting**

Daarnaast werden ook biomerkers gerelateerd met meerder pollutanten, gezien ze het resultaat kunnen zijn van het mengsel aan luchtpolluenten waaraan de jongere werd blootgesteld.

**komeetttest**

De komeetttestwaarden werden in een enkelvoudig regressiemodel gerelateerd aan elk van de luchtpolluenten. Ook hier werden vervolgens de invloedsfactoren geïdentificeerd via enkelvoudige regressie en werd een forward stepwise multivariate regressieanalysemodel gerund met de pollutant

en de invloedsfactoren als verklarende variabelen voor de komeettetestresultaten. Als laatste werd nagegaan of de 'single pollutant'-verbanden tussen pollutant en komeettetest bleven bestaan, als ook een tweede pollutant in het statistisch model werd toegevoegd.

#### *luchtwegklachten*

Luchtwegklachten gerapporteerd door de jongeren zijn binaire gegevens (aan of afwezigheid van de klacht). De jaargemiddelde luchtpolluentenconcentraties of de emissiedrukken werden gerelateerd met deze binaire gegevens via een logistische regressie. Hierbij werd een odds ratio (OR) berekend. Het is de verhouding van twee 'odds'<sup>8</sup>: de 'odds' in de aan luchtpolluenten blootgestelde groep gedeeld door de 'odds' in de minder blootgestelde groep. De OR is te interpreteren als het aantal maal hoger risico op de positieve respons bij blootgestelden t.o.v. laag-blootgestelden. De OR is statistisch significant indien de waarde '1' niet binnen het betrouwbaarheidsinterval ligt.

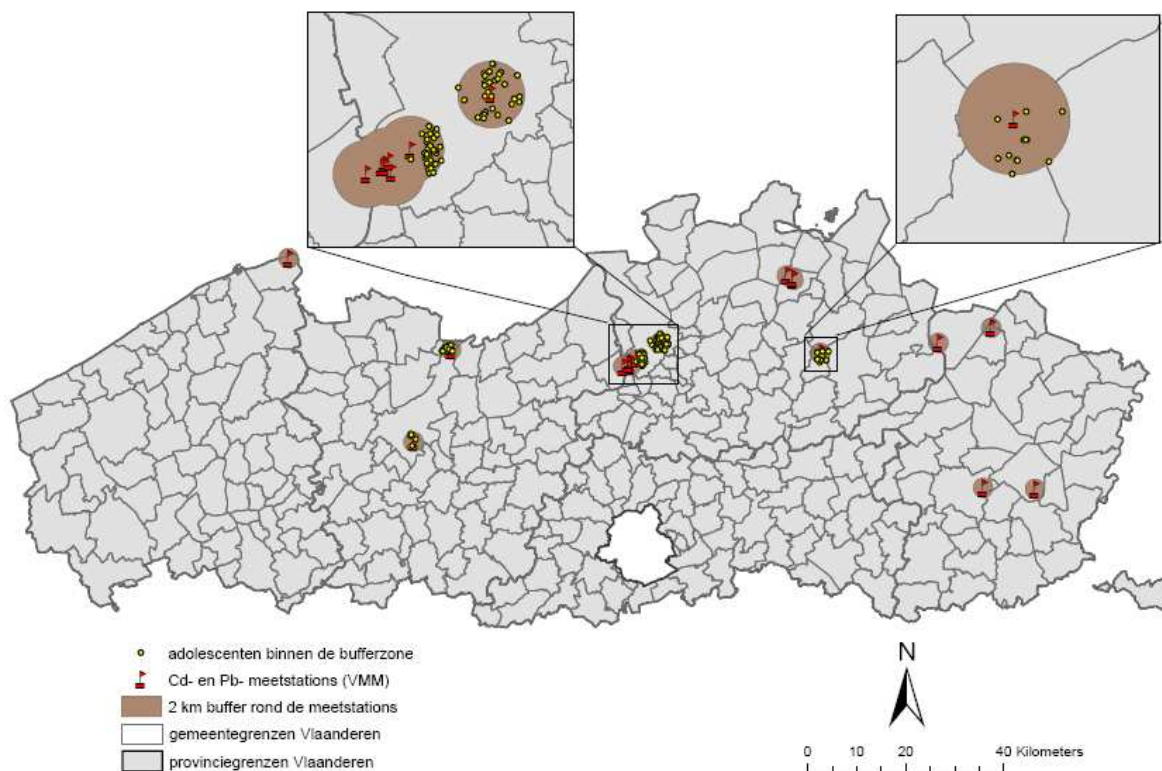
### **4.4.2 Relatie milieumeetgegevens – biomerkergegevens**

Vooraf voor de milieumetingen van cadmium, lood en PM<sub>10</sub> is het interessant om te onderzoeken of er een relatie is met wat wordt gemeten in de buitenlucht en wat bij de jongeren wordt gemeten. Een belangrijk deel van de emissies van deze stoffen is immers het gevolg van diffuse bronnen, die niet volledig opgenomen worden in modellering gebaseerd op gekende emissies. Echter, enkel als er voldoende meetstations kunnen meegenomen worden, is het mogelijk om een relatie te leggen tussen wat gemeten werd op de meetpost en de waarde gemeten in de jongere, die in de buurt van de meetstation woont.

Er werd nagegaan hoeveel adolescenten op relatief korte afstand (2 km) van de diverse VMM-meetstations woonden (Figuur 14). De dag-, maand- of jaargemiddelde concentratie uit het dichtst bijgelegen meetstation werd gelinkt met de overeenkomstige biomerkerwaarde.

---

<sup>8</sup> een odds wordt berekend door het aantal gebeurtenissen dat bestudeerd wordt (bv. de geboorte van een jongen), te delen door het aantal keren dat de bestudeerde gebeurtenis niet voorkomt (in ons voorbeeld de geboorte van een meisje). Stel dat je 100 geboorten hebt, waarvan 54 jongens en 46 meisjes, dan is de odds op een jongen = 54/46=1.17.



Figuur 14: Selectie van de jongeren binnen de 2 km buffer rond de VMM-meetstations voor Pb en Cd.

Daarnaast werd ook nog de relatie onderzocht tussen ozonmetingen en DNA-schade bepaald met de komeetttest. Gezien ozon vrij homogeen verdeeld is over grotere uitgestrekte regio's, werd voor elke jongere de meetwaarde genomen van het dichtst bijzijnde meetstation.

Samengevat werden volgende relaties onderzocht bij niet-rokende jongeren:

Tabel 9: Onderzochte relaties tussen luchtkwaliteitgegevens en biomerkerwaarden

| Meetstation-gegevens                                 | Aantal bruikbare meetstations met jongeren op < 2 km* | Tijd voorafgaand aan onderzoek waarover gemiddeld wordt | Metingen bij jongeren |                        |                    |
|--|---|---|-----------------------|------------------------|--------------------|
|  |   |   | Meting                | Totaal aantal jongeren | Aantal niet-rokers |
| <b>Relatie met bloed/urine blootstellingsmerkers</b> |   |   |                       |                        |                    |
| <b>Cd concentratie</b>                               | 6   | 1 jaar  | Cd in urine           | 79                     | 69                 |
|  |   | 2.5 maanden   | Cd in bloed           | 88                     | 74                 |
| <b>Pb concentratie</b>                               | 8   | 1 maand   | Pb in bloed           | 113                    | 97                 |
| <b>Relatie met DNA schade effectmerker</b>           |   |   |                       |                        |                    |
| <b>Cd concentratie</b>                               |   | 2 dagen   | % DNA schade          | 18                     | 15                 |
| <b>ozon</b>  |   | 7d  | % DNA schade          | 445                    | 390                |

\* de meetstationwaarden werden enkel gebruikt, als meer dan de helft van de tijd waarover data nodig waren, ook meetgegevens beschikbaar waren op het meetstation.

### 4.4.3 Invloedsfactoren van de individuele blootstellings- en effectmetingen (biomerkers)

Biomerkermeetresultaten zijn het gevolg van een hele reeks biologische en chemische processen ten gevolge van de persoonlijke blootstelling van een individu (zowel binnenlucht, buitenlucht als tijdens microblootstellingsmomenten tijdens bijv. gebruik auto, horeca bezoek, ....).

De relatie biomerkermeting vs. milieumeetgegevens wordt dus beïnvloed/verstoord door een aantal invloedsfactoren (verklarende variabelen) die vnl. te maken hebben met de levenswijze en karakteristieken van de persoon waarbij gemeten werd.

De verklarende variabelen die in rekening gebracht moeten worden zijn afhankelijk van de biomerker (zie Tabel 10).

Tabel 10: Overzicht van de potentiële invloedsfactoren (in rijen) voor elk van de biomerkers (in kolommen)

|   | Bloed lood | Bloed cadmium | Urinaire cadmium | T,t-muonzuur | 1-OH-pyreen | % DNA schade (komeettest) | VOS via dosimetrie | Luchtwegklachten |
|---|------------|---------------|------------------|--------------|-------------|---------------------------|--------------------|------------------|
| <b>Persoonskenmerken/gezondheid</b>                                   |            |               |                  |              |             |                           |                    |                  |
| Leeftijd  | X          | X             | X                | X            | X           | X                         | X                  | X                |
| Geslacht  | X          | X             | X                | X            | X           | X                         | X                  | X                |
| Body mass index (BMI)   | X          | X             | X                | X            | X           |                           |                    | X                |
| Serum ferritine (FER)   | X          | X             |                  |              |             |                           |                    |                  |
| Familiaal voorkomen van astma (fam_astm)                              |            |               |                  |              |             |                           |                    | X                |
| Aantal maanden te vroeg geboren (Te vroeg)                            |            |               |                  |              |             |                           |                    | X                |
| Ernstige long- of luchtweginfectie in eerste 2 levensjaren (Luchtwe1) |            |               |                  |              |             |                           |                    | X                |
| Rookte moeder bij jongere in eerste 2 levensjaren (ROOK_2j)           |            |               |                  |              |             |                           |                    | X                |
| Ging jongere regelmatig naar kinderopvang (OPVANG2j)                  |            |               |                  |              |             |                           |                    | X                |
| Jongere zwom min. 1x per week in eerste 2 jaren (ZWEM2j)              |            |               |                  |              |             |                           |                    | X                |
| <b>Sociale status en opleiding</b>                                    |            |               |                  |              |             |                           |                    |                  |
| Studierichting leerling (ASO/TSO/BSO/KSO) (Onderwij)                  | X          | X             | X                | X            | X           | X                         | X                  | X                |
| Hoogste opleiding in het gezin (man of vrouw) (OPLKL)                 | X          | X             | X                | X            | X           | X                         | X                  | X                |
| <b>Roken</b>  |            |               |                  |              |             |                           |                    |                  |
| Roker in het gezin (ROKERGIN)   |            |               |                  | X            |             |                           |                    | X                |
| Moeder rookte tijdens zwangerschap (rook_zw)                          |            | X             | X                |              |             |                           |                    | X                |
| Jongere rookt (R_sig_freq)  | X          | X             | X                | X            | X           | X                         |                    | X                |
| Jongere: aantal sigaretten per dag (sig_dag)                          | X          | X             | X                | X            | X           | X                         |                    | X                |
| Jongere: minuten passief roken/dag (PAS_ROOK)                         | X          | X             | X                | X            | X           | X                         |                    | X                |
| <i>Laatste 2 dagen:</i>   |            |               |                  |              |             |                           |                    |                  |
| Jongere: roken laatste 2 dagen (B26)                                  |            |               |                  | X            | X           | X                         | X                  |                  |
| Jongere: aantal sigaretten gerookt laatste 2d (sig_dag2)              |            |               |                  | X            | X           | X                         | X                  |                  |
| Jongere: passief roken laatste 2d (PASROO1=categorie)                 |            |               |                  | X            | X           | X                         | X                  |                  |
| <b>Hobby's</b>  |            |               |                  |              |             |                           |                    |                  |
| Laatste 3d zware lich. Insp. (inspanni)                               |            |               |                  |              |             | X                         |                    |                  |
| > 2uur per week intensief sporten buiten druk verkeer (sport_ve)      |            |               |                  | X            | X           | X                         | X                  | X                |
| Zwemmen in overdekt zwembad (ZWEMBAD)                                 |            |               |                  |              |             |                           |                    | X                |
| Contact met:  |            |               |                  |              |             |                           |                    |                  |
| ▪ Solventen (SOLVENTE)  |            |               |                  | X            |             |                           |                    |                  |
| ▪ PAK's (PAKS)  |            |               |                  |              | X           |                           |                    |                  |
| ▪ Zware metalen (ZWMETAAL)  | X          | X             | X                |              |             |                           |                    |                  |

|  | Bloed lood | Bloed cadmium | Urinaire cadmium | T,t-muconzuur | 1-OH-pyreen | % DNA schade (komeettest) | VOS via dosimetrie | Luchtwegklachten |
|--|------------|---------------|------------------|---------------|-------------|---------------------------|--------------------|------------------|
| <b>Laatste 2d contact met:</b>   |            |               |                  |               |             |                           |                    |                  |
| ▪ Uitlaatgassen (UITLAAT)  |            |               |                  | X             | X           |                           | X                  |                  |
| ▪ Oplosmiddelen (OPLOS)  |            |               |                  | X             |             |                           | X                  |                  |
| ▪ Verf (VERF)  |            |               |                  |               |             |                           | X                  |                  |
| <b>Binnenhuis</b>  |            |               |                  |               |             |                           |                    |                  |
| Verwarming woning met open haard, mazout-, gas-, kolen- of houtkachel (verwarmi) |            |               |                  |               | X           |                           |                    | X                |
| Laatste 3d binnen in ruimte met open haard, hout- of mazoutkachel (KACHEL)       |            |               |                  |               | X           |                           | X                  |                  |
| Koken op gasfornuis (Koken_ga)   |            |               |                  |               |             |                           |                    | X                |
| Slechte ventilatie of muffe geur in huis (huis_ver)                              |            |               |                  |               |             |                           |                    | X                |
| Slechte ventilatie of muffe geur in klas (klas_ver)                              |            |               |                  |               |             |                           |                    | X                |
| <b>Buitenmilieu - Verkeer</b>  |            |               |                  |               |             |                           |                    |                  |
| Minuten per dag in buitenlucht in buurt met druk verkeer (drukverk)              |            |               |                  | X             | X           |                           | X                  | X                |
| Op weg naar school regelmatig in file (FILE)                                     |            |               |                  | X             | X           |                           | X                  | X                |
| Wonen in buurt van druk verkeer (A26_5)  |            |               |                  | X             | X           |                           | X                  | X                |
| Aantal autobussen of vrachtwagens per dag op minder dan 50m van woning (A_27)    |            |               |                  | X             | X           |                           | X                  | X                |
| <b>Voeding</b>   |            |               |                  |               |             |                           |                    |                  |
| Laatste 3 d grill of barbecue gegeten (BBQ)                                      |            |               |                  |               | X           |                           |                    |                  |
| Producten uit eigen moestuin (eigentui)  | X          | X             | X                |               |             |                           |                    |                  |
| Gebruik van lokale groenten, fruit (LOK_groe)                                    | X          | X             | X                |               |             |                           |                    |                  |
| Gebruik van lokaal vlees (LOK_vlee)  | X          | X             | X                |               |             |                           |                    |                  |
| Gebruik van iets van lokale producten (LOK_voed)                                 | X          | X             | X                |               |             |                           |                    |                  |
| Gebruik Cd-bevattende groenten (g/dag) (CADVEG) <sup>a</sup>                     |            | X             | X                |               |             |                           |                    |                  |
| Gebruik Cd-bevattende groenten (g/dag) (CADVEG1) <sup>b</sup>                    |            | X             | X                |               |             |                           |                    |                  |
| Gebruik Cd-bevattende groenten (g/dag) (CADVEG2) <sup>c</sup>                    |            | X             | X                |               |             |                           |                    |                  |
| Gebruik Cd-bevattende groenten (g/dag) (CADVEG3) <sup>d</sup>                    |            | X             | X                |               |             |                           |                    |                  |
| Gebruik Pb-bevattende groenten (g/dg) (LOODVEG) <sup>e</sup>                     | X          |               |                  |               |             |                           |                    |                  |
| <b>Weersomstandigheden laatste 7 d voor onderzoek</b>                            |            |               |                  |               |             |                           |                    |                  |
| Temperatuur (TEMP_C)   |            |               |                  |               |             |                           |                    | X                |
| Uren zonneschijn (UUR_ZON) (u/dag)   |            |               |                  |               |             |                           |                    | X                |
| UV straling (UV_J_CM2) (J/cm <sup>2</sup> /d)                                    |            |               |                  |               |             |                           |                    |                  |

Luchtwegklachten = astma of luchtweginfecties

<sup>a</sup> cadveg: inname in g/dag van wortel, spinazie, tomaat, salade, knolselder.

<sup>b</sup> cadveg1: inname in g/dag van andijvie, spinazie, salade, knolselder.

<sup>c</sup> cadveg2: inname in g/dag van aardbei, bloemkool, prei, radijs, schorseneren, ui, witloof, wortelen.

<sup>d</sup> cadveg3: inname in g/dag van cadveg1 + aardappelen.

<sup>e</sup> loodveg : inname in g/dag van salade, spinazie, andijvie.

#### Opmerking:

De relatie biomerker vs. berekende modelgegevens wordt ook bepaald door de juistheid van de modelgegevens. De berekende emissiedrukken en concentraties worden vooral bepaald door de **kwaliteit** van de brongegevens en meteorologische gegevens. Deze factor wordt in principe meegeëvalueerd bij de validatie. Deze kwaliteitsgegevens vallen niet strikt onder de definitie van verklarende variabelen.

## 5 RESULTATEN

### 5.1 Biomerkmeteringen

#### 5.1.1 Bloed-, urinemetingen en gezondheidsgegevens van de jongeren

Tabel 11: Meetwaarden van de biomerkers gemeten bij de jongeren: (a) niet-rokers, (b) rokers

| Biomerker                            | N    | Gemiddelde | Geometrisch | nominale<br>standaard<br>afwijking | 95% BI* |       | Minimum | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | Mediaan | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> | Maximum |
|--------------------------------------|------|------------|-------------|------------------------------------|---------|-------|---------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|---------|
|                                      |      |            |             |                                    | OG      | BG    |         |                 |                 |         |                 |                 |         |
| <b>(a) NIET-rokers</b>               |      |            |             |                                    |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |
| <b>Komeetest</b><br>(% DNA migratie) | 390  | 1.01       |             | 0.41                               | 0.97    | 1.05  | 0.00    | 0.49            | 0.78            | 1.04    | 1.25            | 1.49            | 2.52    |
| <b>Cd</b> (µg/g cr.)                 | 1385 | 0.25       | 0.20        | 0.34                               | 0.23    | 0.27  | 0.04    | 0.11            | 0.15            | 0.20    | 0.26            | 0.38            | 8.95    |
| <b>1-OH-pyreen</b><br>(µg/g cr.)     | 1386 | 0.23       | 0.10        | 0.39                               | 0.21    | 0.25  | 0.00    | 0.01            | 0.05            | 0.11    | 0.22            | 0.60            | 5.71    |
| <b>t,t-muconzuur</b><br>(µg/g cr.)   | 1383 | 0.14       | 0.07        | 0.33                               | 0.12    | 0.16  | 0.00    | 0.01            | 0.04            | 0.09    | 0.15            | 0.27            | 9.37    |
| <b>Cd</b> (µg/L bloed)               | 1368 | 0.51       | 0.31        | 0.48                               | 0.49    | 0.54  | 0.05    | 0.05            | 0.16            | 0.36    | 0.74            | 1.18            | 3.23    |
| <b>Pb</b> (µg/L bloed)               | 1368 | 25.78      | 21.37       | 16.66                              | 24.90   | 26.67 | 1.00    | 9.79            | 14.39           | 22.17   | 32.05           | 46.11           | 211.92  |
| <b>(b) rokers</b>                    |      |            |             |                                    |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |
| <b>Komeetest</b><br>(% DNA migratie) | 55   | 0.85       |             | 0.49                               | 0.72    | 0.99  | 0.00    | 0.14            | 0.52            | 0.91    | 1.15            | 1.56            | 1.90    |
| <b>Cd</b> (µg/g cr.)                 | 213  | 0.21       | 0.19        | 0.11                               | 0.19    | 0.22  | 0.05    | 0.11            | 0.14            | 0.19    | 0.25            | 0.31            | 1.08    |
| <b>1-OH-pyreen</b><br>(µg/g cr.)     | 212  | 0.29       | 0.14        | 0.37                               | 0.24    | 0.34  | 0.00    | 0.02            | 0.07            | 0.17    | 0.36            | 0.73            | 2.19    |
| <b>t,t-muconzuur</b><br>(µg/g cr.)   | 212  | 0.16       | 0.08        | 0.26                               | 0.12    | 0.19  | 0.00    | 0.02            | 0.04            | 0.09    | 0.15            | 0.28            | 2.29    |
| <b>Cd</b> (µg/L bloed)               | 213  | 0.84       | 0.57        | 0.68                               | 0.75    | 0.93  | 0.05    | 0.16            | 0.32            | 0.69    | 1.17            | 1.77            | 3.18    |
| <b>Pb</b> (µg/L bloed)               | 213  | 24.65      | 21.13       | 14.97                              | 22.63   | 26.67 | 4.97    | 10.52           | 14.36           | 21.51   | 30.04           | 41.20           | 89.96   |

95%BI: 95% betrouwbaarheidsinterval, waartussen het gemiddelde met 95% zekerheid ligt. OG: ondergrens, BG: bovengrens  
cr: creatinine

De kaartjes in bijlage 4 tonen de geografische spreiding van de waarden van bloedlood, bloedcadmium, urinair cadmium, urinair 1-OH pyreen, tt'-muconzuur, de komeetest (% DNA schade) en het voorkomen van astma bij de onderzochte jongeren. In bijlage 5 wordt een overzicht gegeven van de gebiedsverschillen voor de blootstellingsmerkers. Voor elk aandachtsgebied werden de bekomen waarden vergeleken met de referentiewaarden (referentiegemiddelde en referentie-P<sub>90</sub>). Deze referentiewaarden werden berekend uit de resultaten van de totale groep adolescenten.



## 5.1.2 Dosimeterbepalingen bij 179 jongeren

Tabel 12: Meetwaarden van de dosimeters gedragen door 179 jongeren: (a) 162 niet-rokers en (b) 17 rokers.

| Dosimeter-Metingen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Gemiddelde | Geometrisch gemiddelde | Standaard afwijking | 95% BI* |      | Minimum | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | Mediaan | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> | Maximum |
|---|------------|------------------------|---------------------|---------|------|---------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|---------|
|   |            |                        |                     | OG      | BG   |         |                 |                 |         |                 |                 |         |
| <b>(a) NIET-rokers</b>                          |            |                        |                     |         |      |         |                 |                 |         |                 |                 |         |
| Isopentaaan                                     | 29.69      | 20.9                   | 27.7                | 25.3    | 34.0 | 2.45    | 6.89            | 11.4            | 20.7    | 36.7            | 61.2            | 163.99  |
| n-Pentaaan                                      | 12.37      | 1                      | 37.9                | 6.48    | 18.2 | 0.00    | 1.03            | 2.02            | 3.98    | 8.46            | 24.3            | 415.56  |
| MTBE  | 3.78       | 1.69                   | 7.57                | 2.61    | 4.95 | 0.21    | 0.62            | 0.91            | 1.22    | 2.21            | 9.43            | 64.10   |
| 1,2-Dichloorethaan                              | 0.22       |                        | 0.63                | 0.12    | 0.31 | 0.00    | 0.10            | 0.11            | 0.14    | 0.19            | 0.26            | 7.93    |
| 1,1,1-Trichloorethaan                           | 0.30       |                        | 0.95                | 0.15    | 0.45 | 0.00    | 0.00            | 0.00            | 0.00    | 0.20            | 0.46            | 9.05    |
| Benzeen   | 3.26       | 2.51                   | 2.85                | 2.82    | 3.70 | 0.60    | 1.17            | 1.52            | 2.16    | 3.95            | 7.55            | 22.85   |
| Cyclohexaaan                                    | 15.67      | 8.03                   | 49.7                | 7.95    | 23.3 | 1.67    | 2.69            | 3.94            | 6.66    | 15.0            | 29.9            | 624.63  |
| Trichloorethyleen                               | 2.20       |                        | 11.1                | 0.48    | 3.92 | 0.00    | 0.17            | 0.22            | 0.36    | 0.64            | 2.15            | 130.69  |
| Tolueen   | 54.02      | 15.0                   | 371.                | -       | 111. | 2.87    | 6.23            | 8.91            | 12.3    | 21.9            | 44.9            | 4687.2  |
| Butylacetaat                                    | 12.82      | 0                      | 76                  | 3.66    | 70   | 0.00    | 1.85            | 3.36            | 6.69    | 12.4            | 20.9            | 177.67  |
| Tetrachloorethyleen                             | 28.97      | 0.62                   | 351.                | -       | 83.4 | 0.13    | 0.21            | 0.31            | 0.52    | 0.96            | 1.67            | 4469.7  |
| Chloorbenzeen                                   | 0.04       |                        | 12                  | 25.5    | 5    | 0.00    | 0.00            | 0.00            | 0.00    | 0.10            | 0.16            | 0.48    |
| Ethylbenzeen                                    | 2.51       | 1.85                   | 2.77                | 2.08    | 2.94 | 0.48    | 0.83            | 1.12            | 1.67    | 2.55            | 4.98            | 23.18   |
| m,p-Xyleen                                      | 6.20       | 4.54                   | 8.22                | 4.93    | 7.48 | 1.29    | 2.07            | 2.89            | 4.24    | 6.16            | 10.0            | 75.74   |
| Styreen   | 0.06       |                        | 0.47                | -       | 0.13 | 0.00    | 0.00            | 0.00            | 0.00    | 0.00            | 0.00            | 5.81    |
| o-Xyleen  | 2.08       | 1.49                   | 2.89                | 1.63    | 2.53 | 0.33    | 0.68            | 0.92            | 1.33    | 2.10            | 3.62            | 25.09   |
| 1,2,4-Trimethylbenzeen                          | 5.14       | 3.48                   | 7.50                | 3.98    | 6.31 | 0.72    | 1.45            | 2.00            | 3.30    | 5.45            | 9.82            | 57.45   |
| <b>(b) rokers</b>                               |            |                        |                     |         |      |         |                 |                 |         |                 |                 |         |
| Isopentaaan                                     | 39.53      | 19.5                   | 64.8                | 6.18    | 72.8 | 5.55    | 5.96            | 8.41            | 16.3    | 43.8            | 120.            | 265.82  |
| n-Pentaaan                                      | 6.78       | 8                      | 11.8                | 0.67    | 12.8 | 0.00    | 0.00            | 1.49            | 2.72    | 5.13            | 23.3            | 47.57   |
| MTBE  | 1.95       | 1.22                   | 3.13                | 0.34    | 3.56 | 0.36    | 0.55            | 0.81            | 1.01    | 1.60            | 2.70            | 13.84   |
| 1,2-Dichloorethaan                              | 0.15       |                        | 0.07                | 0.11    | 0.18 | 0.00    | 0.00            | 0.13            | 0.16    | 0.19            | 0.23            | 0.28    |
| 1,1,1-Trichloorethaan                           | 0.04       |                        | 0.07                | 0.00    | 0.08 | 0.00    | 0.00            | 0.00            | 0.00    | 0.10            | 0.11            | 0.27    |
| Benzeen   | 3.85       | 2.92                   | 2.98                | 2.32    | 5.38 | 0.91    | 1.16            | 1.66            | 2.32    | 6.42            | 8.67            | 10.22   |
| Cyclohexaaan                                    | 10.33      | 5.83                   | 14.2                | 2.99    | 17.6 | 0.52    | 1.23            | 4.42            | 6.98    | 9.07            | 20.9            | 61.96   |
| Trichloorethyleen                               | 0.35       | 0.30                   | 0.19                | 0.25    | 0.45 | 0.13    | 0.14            | 0.17            | 0.31    | 0.42            | 0.64            | 0.79    |
| Tolueen   | 14.58      | 11.2                   | 11.1                | 8.86    | 20.3 | 3.05    | 4.54            | 6.85            | 10.5    | 18.5            | 26.7            | 46.85   |
| Butylacetaat                                    | 15.36      | 9                      | 34.5                | -       | 33.1 | 0.00    | 0.00            | 1.92            | 4.05    | 8.62            | 34.5            | 144.75  |
| Tetrachloorethyleen                             | 0.77       | 0.56                   | 8                   | 2.42    | 4    | 0.10    | 0.24            | 0.31            | 0.65    | 1.10            | 1.68            | 2.16    |
| Chloorbenzeen                                   | 0.08       |                        | 0.10                | 0.03    | 0.13 | 0.00    | 0.00            | 0.00            | 0.10    | 0.11            | 0.17            | 0.36    |
| Ethylbenzeen                                    | 1.87       | 1.48                   | 1.65                | 1.02    | 2.72 | 0.42    | 0.72            | 1.03            | 1.38    | 1.99            | 2.86            | 7.64    |
| m,p-Xyleen                                      | 3.94       | 9.49                   | 1.99                | 2.91    | 4.96 | 1.13    | 2.03            | 2.46            | 3.36    | 4.38            | 7.59            | 7.93    |
| Styreen   | 0.04       |                        | 0.10                | -       | 0.09 | 0.00    | 0.00            | 0.00            | 0.00    | 0.00            | 0.17            | 0.36    |
|   |            |                        |                     | 0.01    |      |         |                 |                 |         |                 |                 |         |
|   |            |                        |                     | 0.01    |      |         |                 |                 |         |                 |                 |         |

| Dosimeter-Metingen ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Gemiddelde | Geometrisch gemiddelde | Standaard afwijking | 95% BI* |      | Minimum | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | Mediaan | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> | Maximum |
|---|------------|------------------------|---------------------|---------|------|---------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|---------|
|   |            |                        |                     | OG      | BG   |         |                 |                 |         |                 |                 |         |
| o-Xyleen  | 1.28       | 1.09                   | 0.76                | 0.89    | 1.67 | 0.33    | 0.48            | 0.81            | 1.13    | 1.42            | 2.17            | 3.32    |
| 1,2,4-Trimethylbenzeen                          | 3.83       | 2.76                   | 4.26                | 1.64    | 6.02 | 1.14    | 1.26            | 1.69            | 2.27    | 3.95            | 10.4<br>2       | 18.00   |

95%BI: 95% betrouwbaarheidsinterval, waartussen het gemiddelde met 95% zekerheid ligt. OG: ondergrens, BG: bovengrens

## 5.2 Berekende emissiedrukken en concentraties

### 5.2.1 Berekende emissiedrukken

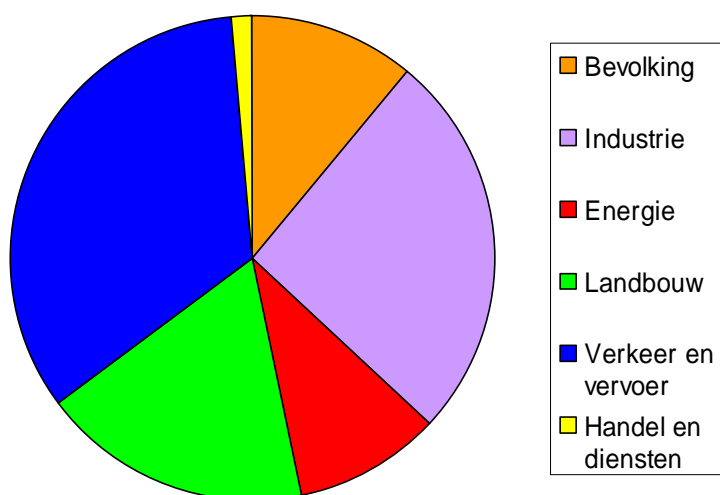
De verzamelde emissiegegevens werden verwerkt tot hoge-resolutie emissiedrukvelen (500x500m). Dit zijn vervolgens de effectieve invoergegevens voor het AURORA luchtkwaliteitsmodel waarmee de concentraties in de omgevingslucht werden berekend (zie verder). Hierna volgt een overzicht van de berekende emissiedrukken in ton per jaar voor alle polluenten:

#### 5.2.1.1 Primair PM<sub>2.5</sub>

Zwevend stof is een mengsel van afzonderlijke deeltjes (vloeibare of vaste), met uiteenlopende samenstellingen en afmetingen. Deze deeltjes kunnen volgens verschillende criteria worden opgedeeld nl. oorsprong (primair (rechtstreeks uitgestoten in de atmosfeer) of secundair (in de atmosfeer gevormd uit precursoren), antropogeen of biogeen), grootte, kleur en depositie in de luchtwegen. Bij het opdelen volgens de grootte wordt er gebruik gemaakt van de aerodynamische diameter. Het totaal aan stofdeeltjes wordt dan aangeduid als TSP (total suspended particles), fijnere deeltjes krijgen als naamgeving PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>0.1</sub> ... waarbij het getal telkens de maximale aerodynamische diameter is uitgedrukt in  $\mu\text{m}$ . De fractie met een aërodynamische diameter (a.d.) kleiner dan 2.5  $\mu\text{m}$  bestaat vooral uit deeltjes ontstaan door condensatie van verbrandingsproducten of door reactie van gasvormige polluenten tot secundair aerosol. De voornaamste bronnen van PM<sub>2.5</sub> zijn verkeer, landbouw en industrie (Tabel 13, Figuur 15).

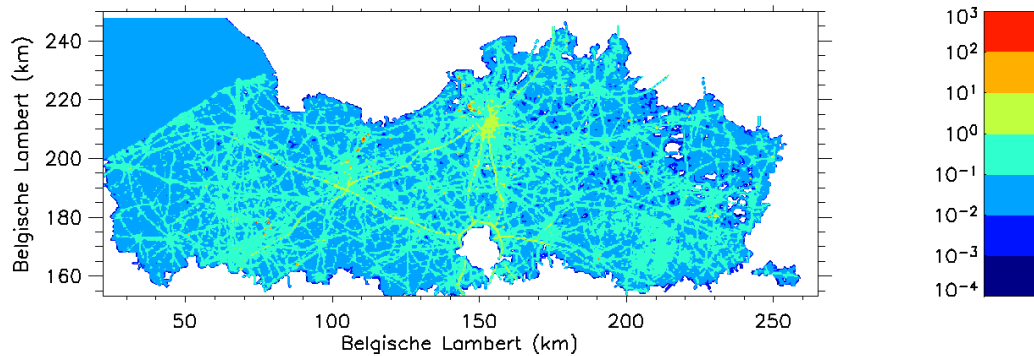
Tabel 13: Vlaamse PM<sub>2,5</sub>-emissies per deelsector voor 2002 en 2003 (ton/jaar).

| Sector             | Deelsector  | PM <sub>2,5</sub><br>(ton)<br>2002 | PM <sub>2,5</sub><br>(ton)<br>2003 |
|--------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Bevolking          |   | 1717                               | 1830                               |
| Industrie          | Chemie  | 599                                | 648                                |
|                    | IJzer staal, non-ferro, automobiel- en machinebouw                        | 1234                               | 1061                               |
|                    | Voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie                               | 450                                | 279                                |
|                    | Textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid                            | 23                                 | 18                                 |
|                    | Papier- en papierwarenindustrie, grafische nijverheid, uitgeverijen, e.d. | 3                                  | 6                                  |
|                    | Andere industrieën (bouw, asfalt, rubber, afvalrecuperatie, ...)          | 1783                               | 2217                               |
|                    | Raffinaderijen  | 748                                | 1009                               |
| Energie            | Productie en distributie van elektriciteit                                | 486                                | 569                                |
|                    | Landbouw  |                                    |                                    |
| Landbouw           | veeteelt (stallen & opslag, weide en uitrijden van dierlijk mest)         | 581                                | 523                                |
|                    | glastuinbouw  | 412                                | 412                                |
|                    | brandstofverbruik in de landbouw uitgezonderd glastuinbouw en visserij    | 1392                               | 1368                               |
| Verkeer en vervoer | visserij  | 603                                | 640                                |
|                    | Wegverkeer  | 4790                               | 4487                               |
| Handel en diensten | Spoorverkeer  | 807                                | 843                                |
|                    | Luchtvaart  | 39                                 | 39                                 |
|                    | binnenscheepvaart   | 189                                | 194                                |
|                    | Gebouwenverwarming  | 163                                | 183                                |
|                    | Vuilverwerkingsinstallaties<br>Individuele bedrijven                      | 7<br>15                            | 7<br>16                            |

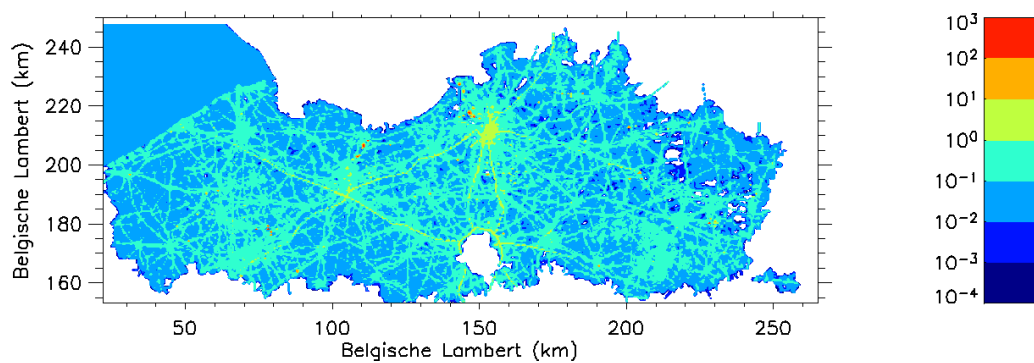


Figuur 15: Relatieve bijdrage van de verschillende emissiesectoren tot de totale Vlaamse PM<sub>2,5</sub> emissies in 2003.

Geografische visualisatie van deze emissies resulteert in emissiedrukkaarten weergegeven in *Figuur 16* en *Figuur 17*. **De hoogste waarden aan primair PM<sub>2.5</sub> kwamen voor in de Gentse kanaalzone en het Antwerpse havengebied** (tot 360 ton in 2002 en 438 ton in 2003).



*Figuur 16: PM<sub>2.5</sub>-emissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2002).*



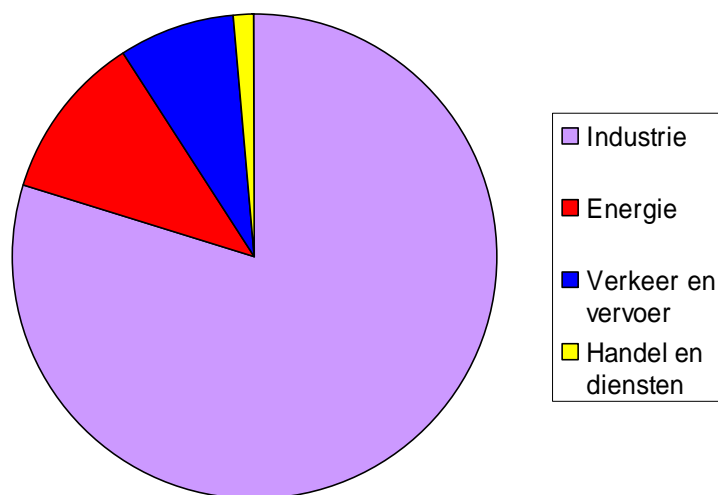
*Figuur 17: PM<sub>2.5</sub>-emissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2003).*

### 5.2.1.2 Zware metalen cadmium (Cd) en lood (Pb)

De verspreiding van zware metalen in de lucht ten gevolge van antropogene emissies vindt plaats onder gebonden vorm aan stofdeeltjes. De voornaamste bron van de zware metalen lood en cadmium is de basismetaalindustrie (Tabel 14, *Figuur 18* en Tabel 15, *Figuur 21*). Zware metalen zijn niet biologisch afbreekbaar en kunnen enkel uit milieucompartimenten verwijderd worden door fysische inspanningen. Hoewel sommige zware metalen in lage concentraties noodzakelijk zijn voor het functioneren van het menselijk lichaam, zijn ze allen in hogere concentraties toxisch.

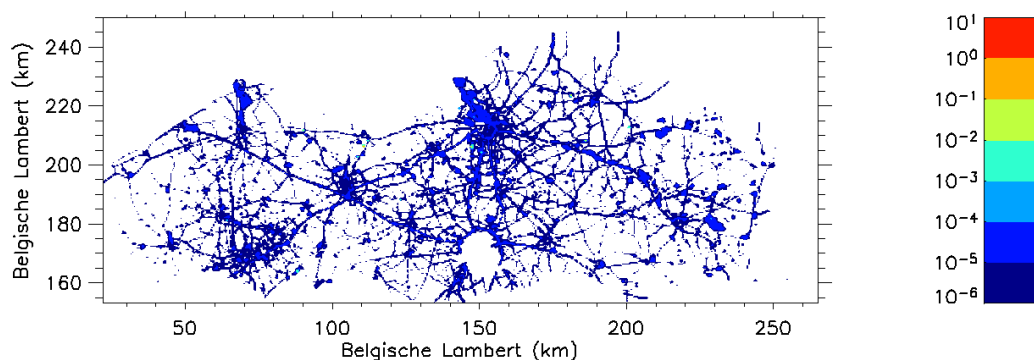
Tabel 14: Vlaamse Cd-emissies per deelsector voor 2002 en 2003.

| Sector             | Deelsector   | Cd (kg)<br>2002 | Cd (kg)<br>2003 |
|--------------------|--|-----------------|-----------------|
| Industrie          | Chemie   | 10              | 10              |
|                    | IJzer staal, non-ferro, automobiel- en machinebouw               | 479             | 421             |
|                    | Voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie                      | 13              | 7               |
|                    | Textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid                   | 1               | 1               |
|                    | Andere industrieën (bouw, asfalt, rubber, afvalrecuperatie, ...) | 10              | 7               |
| Energie            | Raffinaderijen   | 10              | 12              |
|                    | Productie en distributie van elektriciteit                       | 45              | 49              |
| Verkeer en vervoer | Wegverkeer   | 44              | 44              |
| Handel en diensten | Afvalverwerking  | 25              | 8               |

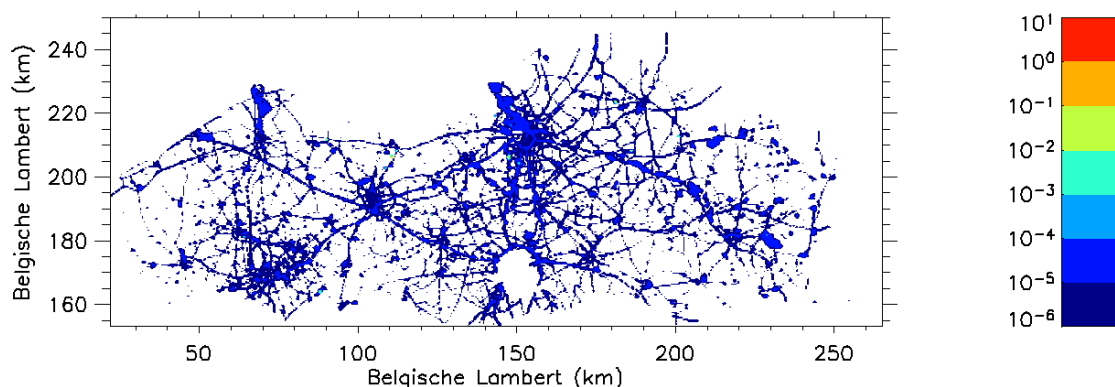


Figuur 18: Relatieve bijdrage van de verschillende emissiesectoren tot de totale Vlaamse Cd-emissies in 2003.

Figuur 19 en Figuur 20 visualiseren de emissiedruk van de Cd-emissies in 2002 en 2003. De maximum waarde bedraagt 0.27 ton (2002) en 0.24 ton (2003) voor een roostercel in de Gentse kanaalzone.



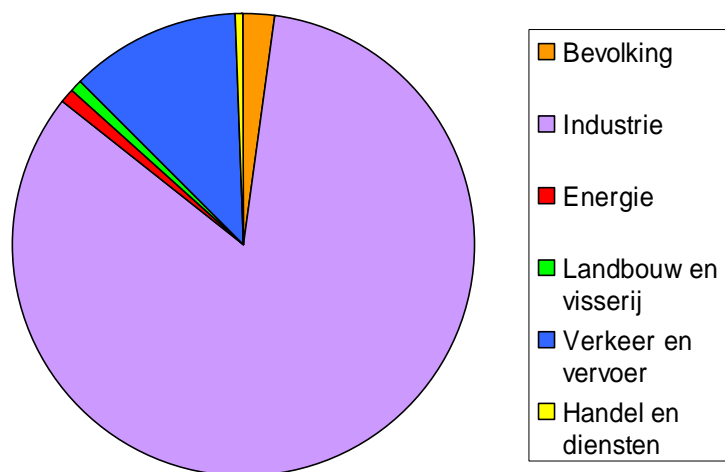
Figuur 19: Cadmiumemissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2002).



Figuur 20: Cadmiumemissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2003).

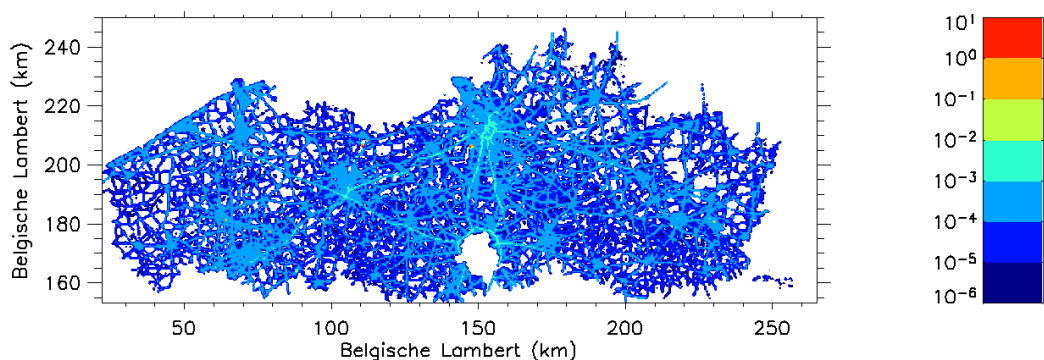
Tabel 15: Vlaamse loodemissies per deelsector voor 2002 en 2003.

| Sector               | Deelsector  | Pb (kg)<br>2002 | Pb (kg)<br>2003 |
|----------------------|---|-----------------|-----------------|
| Bevolking            |   | 761             | 853             |
| Industrie            | Chemie  | 102             | 105             |
|                      | IJzer staal, non-ferro, automobiel- en machinebouw                        | 35818           | 31055           |
|                      | Voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie                               | 135             | 75              |
|                      | Textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid                            | 8               | 6               |
|                      | Papier- en papierwarenindustrie, grafische nijverheid, uitgeverijen, e.d. | 2               | 3               |
| Energie              | Andere industrieën (bouw, asfalt, rubber, afvalrecuperatie, ...)          | 1220            | 965             |
|                      | Raffinaderijen  | 123             | 145             |
|                      | Productie en distributie van elektriciteit                                | 212             | 250             |
| Landbouw en visserij | brandstofverbruik in de landbouw  | 11              | 11              |
|                      | glastuinbouw  | 312             | 312             |
|                      | visserij  | 3               | 3               |
| Verkeer en vervoer   | Wegverkeer  | 4933            | 4644            |
| Handel en diensten   | Afvalverwerking   | 103             | 112             |
|                      | Gebouwenverwarming handel en diensten                                     | 49              | 54              |

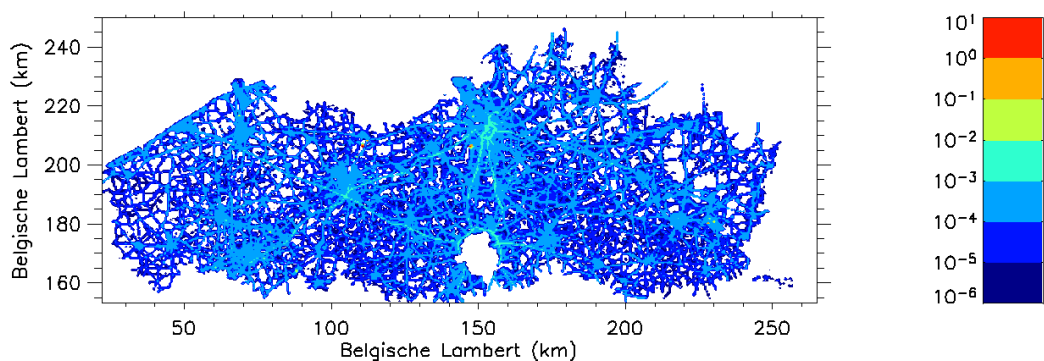


*Figuur 21: Relatieve bijdrage van de verschillende emissiesectoren tot de totale Vlaamse Pb-emissies in 2003.*

De emissiedruk voor Pb is weergegeven in *Figuur 22* voor 2002 en *Figuur 23* voor 2003. De maximum waarde bedroeg 24.36 ton (2002) en 22.50 ton (2003) voor een roostercel in de Gentse kanaalzone.



*Figuur 22: Loodemissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2002).*



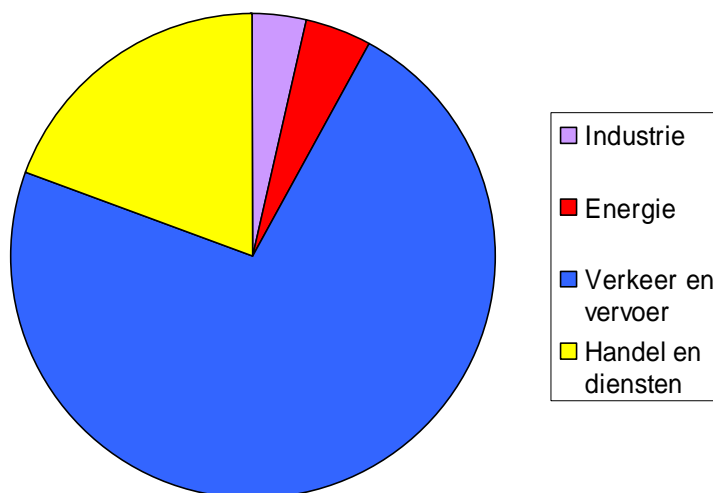
*Figuur 23: Loodemissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2003).*

### 5.2.1.3 Benzeen

Niet-methaan vluchtige organische stoffen of kortweg NMVOS komen in de atmosfeer terecht door industriële processen, industrieel en huishoudelijk gebruik van solventen, verschillende verbrandingsprocessen en uitlaatemissies van voertuigen. Het is een groepering van organische stoffen met een dampspanning van minstens 0.1 mbar bij normale temperatuur en druk die een hoog ozonvormend vermogen hebben (VLAREM). Benzeen doet dienst als indicator voor de aanwezigheid van NMVOS in de lucht.

Tabel 16: Vlaamse benzeenemissies per deelsector voor 2002 en 2003.

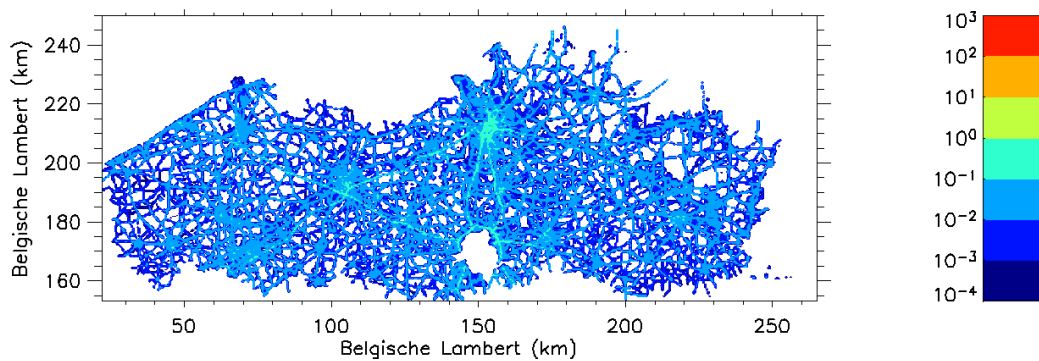
| Sector             | Deelsector  | Benzeen (kg) 2002 | Benzeen (kg) 2003 |
|--------------------|---|-------------------|-------------------|
| Industrie          | Chemie  | 16294             | 11938             |
|                    | IJzer staal, non-ferro, automobiël- en machinebouw                        | 6698              | 6298              |
|                    | Voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie                               | 5907              | 6176              |
|                    | Textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid                            | 2582              | 2545              |
|                    | Papier- en papierwarenindustrie, grafische nijverheid, uitgeverijen, e.d. | 1377              | 1189              |
|                    | Andere industrieën (bouw, asfalt, rubber, afvalrecuperatie, ...)          | 4576              | 4094              |
| Energie            | Raffinaderijen  | 56255             | 38703             |
|                    | Productie en distributie van elektriciteit                                | 2113              | 2584              |
| Verkeer en vervoer | Wegverkeer  | 791979            | 672670            |
| Handel en diensten | tankstations  | 146385            | 180051            |



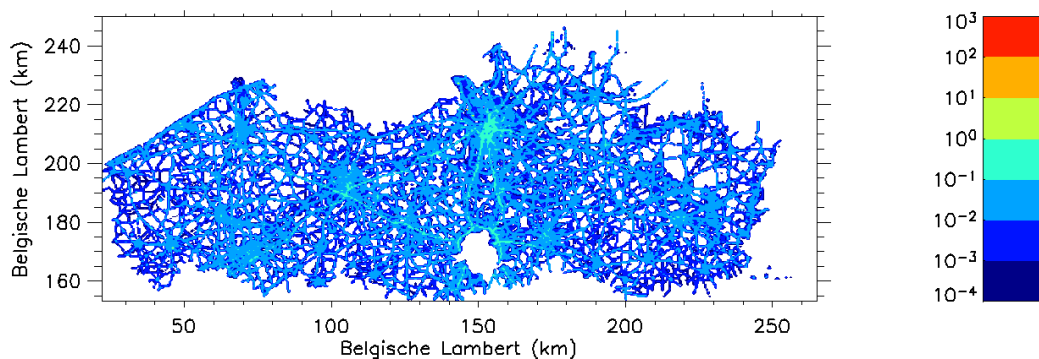
Figuur 24: Relatieve bijdrage van de verschillende emissiesectoren tot de totale Vlaamse benzeenemissies in 2003.

Visualisatie van deze gegevens leidde tot emissiedrukkaarten voor benzeen (Figuur 25 en Figuur 26). De maximum waarde bedroeg 43 ton (2002) en 27 ton (2003) voor een roostercel in de haven van Antwerpen. **De ruimtelijke spreiding van de benzeenemissies volgde de belangrijkste verkeersassen en stedelijke gebieden.**





*Figuur 25: Benzeenemissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2002).*



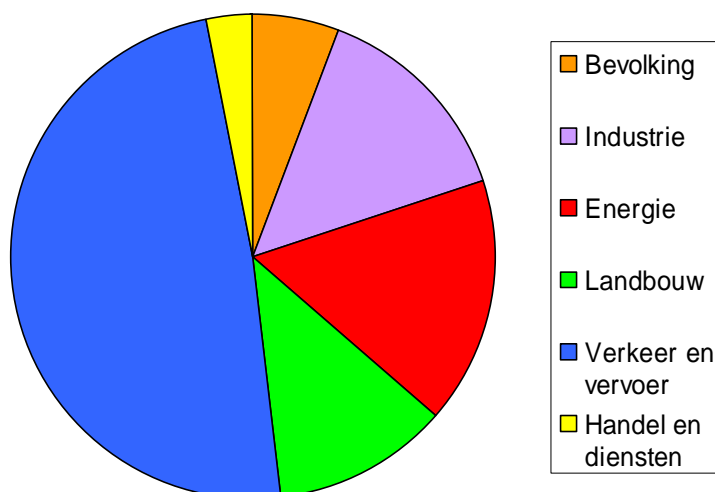
*Figuur 26: Benzeenemissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2003).*

#### 5.2.1.4 Stikstofoxiden

Deposities van stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) spelen een belangrijke rol in de verzuring en de vermisting van het leefmilieu.  $\text{NO}_x$  hebben een lange verblijftijd in de atmosfeer en kunnen dan ook over afstanden tot 1 000 km getransporteerd worden.

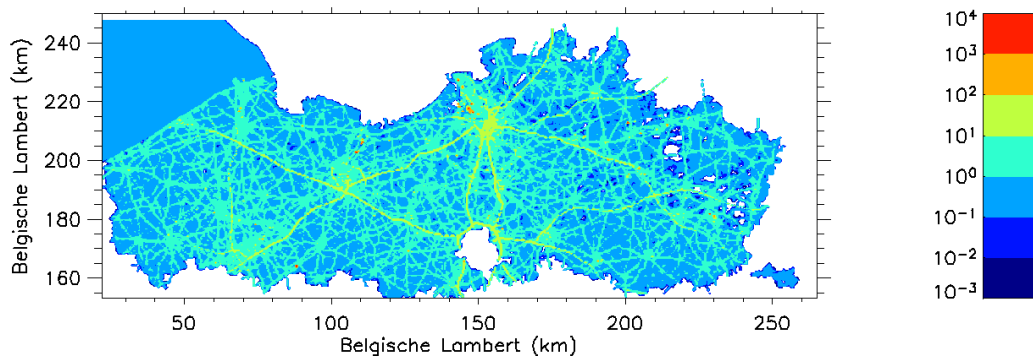
Tabel 17: Vlaamse NO<sub>x</sub>-emissies per deelsector voor 2002 en 2003

| Sector             | Deelsector  | NO <sub>x</sub> (ton)<br>2002 | NO <sub>x</sub> (ton)<br>2003 |
|--------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Bevolking          |   | 10057                         | 10956                         |
| Industrie          | Chemie  | 12181                         | 9742                          |
|                    | IJzer staal, non-ferro, automobiel- en machinebouw                        | 8169                          | 8069                          |
|                    | Voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie                               | 2953                          | 1706                          |
|                    | Textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid                            | 588                           | 559                           |
|                    | Papier- en papierwarenindustrie, grafische nijverheid, uitgeverijen, e.d. | 290                           | 450                           |
|                    | Andere industrieën (bouw, asfalt, rubber, afvalrecuperatie, ...)          | 4451                          | 6407                          |
| Energie            | Raffinaderijen  | 7389                          | 7895                          |
|                    | Productie en distributie van elektriciteit                                | 19502                         | 22107                         |
|                    | Productie en distributie van gas  | 554                           | 882                           |
| Landbouw           | veeteelt (stallen & opslag, weide en uitrijden van dierlijk mest)         | 10055                         | 9617                          |
|                    | kunstmestgebruik  | 3358                          | 3272                          |
|                    | glastuinbouw  | 1908                          | 1908                          |
|                    | brandstofverbruik in de landbouw uitgezonderd glastuinbouw en visserij    | 4424                          | 4333                          |
| Verkeer en vervoer | visserij  | 2838                          | 2779                          |
|                    | wegverkeer  | 90593                         | 87809                         |
|                    | luchtvaart  | 1441                          | 1489                          |
|                    | scheepvaart tussen Noordzeehavens en binnenscheepvaart                    | 2104                          | 2152                          |
| Handel en diensten | spoorverkeer  | 1106                          | 1043                          |
|                    | afvalverbranding  | 2474                          | 1883                          |
|                    | Individuele bedrijven<br>gebouwenverwarming                               | 102<br>3267                   | 82<br>3547                    |

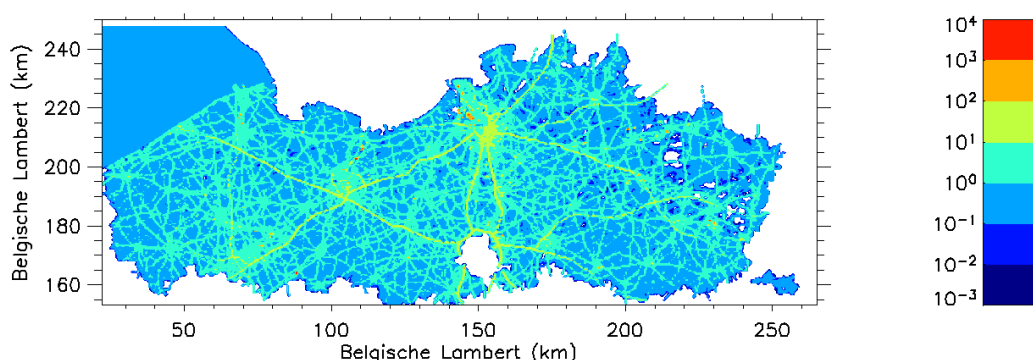


Figuur 27: Relatieve bijdrage van de verschillende emissiesectoren tot de totale Vlaamse NO<sub>x</sub>-emissies in 2003.

De NO<sub>x</sub>-emissiedruk is weergegeven in Figuur 28 voor 2002 en in Figuur 29 voor 2003. De hoogste waarden (tot 3957 ton in 2002 en 4279 ton in 2003) worden veroorzaakt door de klassieke elektriciteitscentrales (Kluisbergen, Ruien, Genk, Zwijndrecht, ...).



Figuur 28: NO<sub>x</sub>-emissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2002).



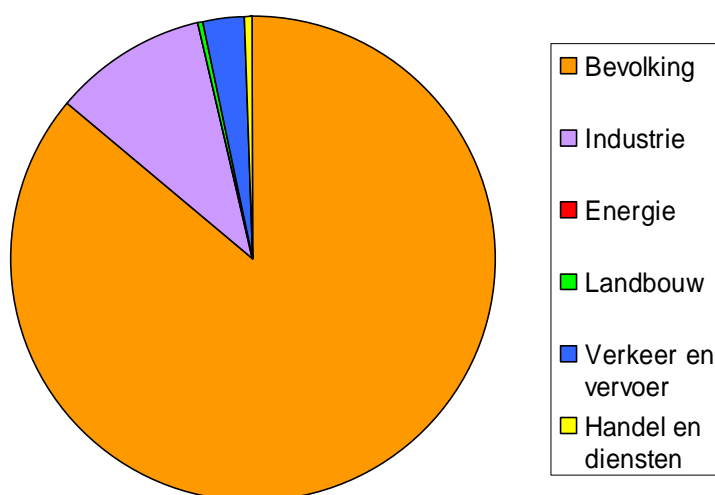
Figuur 29: NO<sub>x</sub>-emissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke roostercel van 500 x 500 m (2003).

### 5.2.1.5 Benzo(a)pyreen (B(a)P)

PAK's of polyaromatische koolwaterstoffen ontstaan, net zoals koolstofmonoxide (CO) en dioxines, bij onvolledige verbrandingsprocessen. Deze drie worden beschouwd als de voornaamste producten van onvolledige verbranding omwille van hun toxiciteit. Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) is een verzamelnaam voor ongeveer 500 verbindingen die ontstaan bij de verbranding van alle koolwaterstoffen, van cellulose en ander plantaardig materiaal (bv. in houtkachels), bij het roosteren van voedsel en het roken van sigaretten. Ze komen voor onder gasvormige toestand in rookgassen, maar ook gebonden aan deeltjes en kunnen zo over grote afstanden getransporteerd worden. Inventarisatie van PAK-emissies is momenteel zeer onvolledig en beperkt zich tot emissiejaarverslagen, collectieve emissieregistratie en brandstofverbruik in verkeer en gebouwenverwarming, gekoppeld aan emissiefactoren uit de literatuur. PAK's zoals benzo(a)pyreen, afgekort als B(a)P, en dibenzo(a,h)anthraceen zijn gekend voor hun kankerverwekkende eigenschappen. B(a)P is het best gekend voor zijn toxiciteit en verspreiding en geldt als indicator van de PAK's. Emissie van B(a)P is enkel gekend indien de afzonderlijke PAK-componenten in de emissiestroom gemeten worden. Toepassing van de omrekeningsfactoren (bijlage 2) op de PAK-emissies resulteert in volgende B(a)P-emissies (Tabel 18).

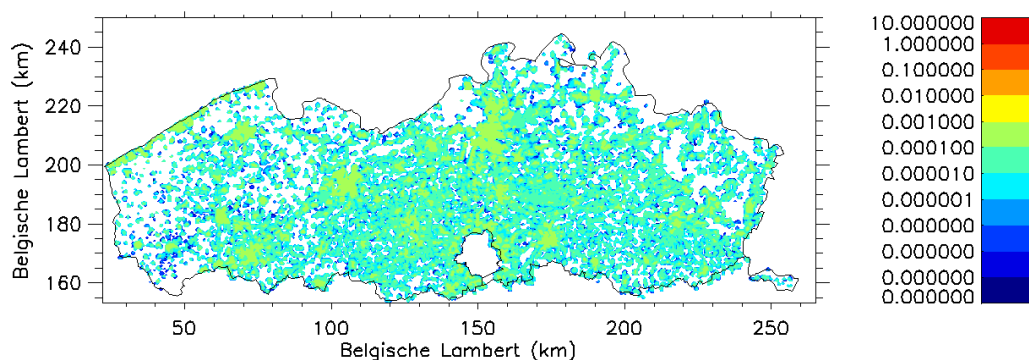
Tabel 18: Omgerekende B(a)P-emissies per sector in kg voor 2002 en 2003.

| Sector             | Deelsector  | B(a)P<br>(kg)<br>(2002) | B(a)P<br>(kg)<br>(2003) |
|--------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| Bevolking          |   | 2260                    | 2263                    |
| Industrie          | Chemie  | 3                       | 3                       |
|                    | IJzer staal, non-ferro, automobiel- en machinebouw                        | 26                      | 29                      |
|                    | Voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie                               | 3                       | 3                       |
|                    | Textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid                            | 1                       | 1                       |
|                    | Papier- en papierwarenindustrie, grafische nijverheid, uitgeverijen, e.d. | 0                       | 0                       |
|                    | Andere industrieën (bouw, asfalt, rubber, afvalrecuperatie, ...)          | 207                     | 234                     |
| Energie            | Raffinaderijen  | 2                       | 2                       |
|                    | Productie en distributie van elektriciteit                                | 3                       | 3                       |
| Landbouw           | glastuinbouw  | 0                       | 0                       |
|                    | Brandstofverbruik in de landbouw  | 1                       | 1                       |
| Verkeer en vervoer | visserij  | 0                       | 0                       |
|                    | Wegverkeer  | 74                      | 75                      |
|                    | Luchtvaart  | 0                       | 0                       |
|                    | Scheepvaart tussen Noordzeehaven en binnenscheepvaart                     | 2                       | 1                       |
| Handel en diensten | Spoorverkeer  | 0                       | 0                       |
|                    | Afvalverwerking   | 0                       | 0                       |
|                    | Gebouwenverwarming handel en diensten                                     | 13                      | 15                      |



Figuur 30: Relatieve bijdragen van de verschillende emissiesectoren tot de totale omgerekende Vlaamse B(a)P-emissies in 2003.

Gezien de onvolledigheid van de individueel gerapporteerde B(a)P-emissies door de bedrijven, werden de uit PAK's berekende B(a)P-emissies voor deze sectoren gespreid volgens de emissies van een andere stof. Hierbij kon gekozen worden voor PM<sub>10</sub> of PM<sub>2,5</sub> omdat B(a)P-emissies veelal deeltjesgebonden zijn. Een andere mogelijkheid was een spreiding volgend CO, ook een product van onvolledige verbranding. Omdat PM<sub>10</sub> ook ontstaat uit mechanische processen, werd gekozen B(a)P industriële emissies te spreiden via de CO-emissies van de corresponderende deelsector.



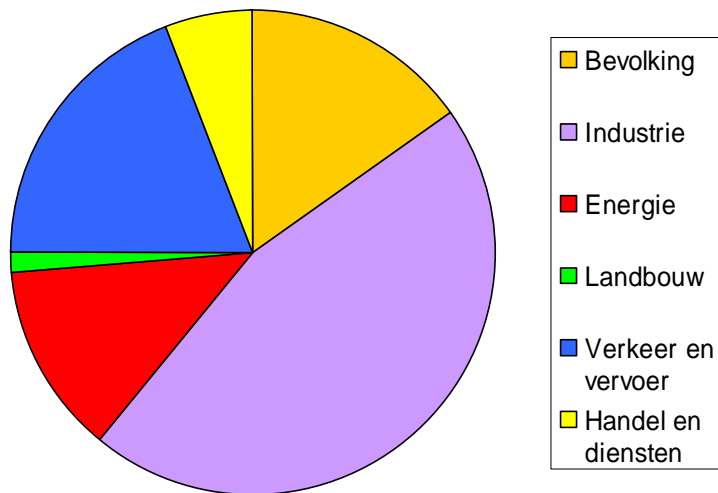
Figuur 31: B(a)P-emissies van de sector bevolking uitgedrukt in ton per jaar voor elke rooster cel van 500 x 500 m (2002).

### 5.2.1.6 VOS

Voor de berekening van de gevraagde NO<sub>2</sub>-concentraties moest de ozonmodule in AURORA worden gebruikt. Om de ozonconcentraties te kunnen berekenen is het noodzakelijk dat naast de NO<sub>x</sub>-emissies ook de VOS-emissies gekend zijn, gezien deze een belangrijke rol vervullen in de atmosferische ozonchemie.

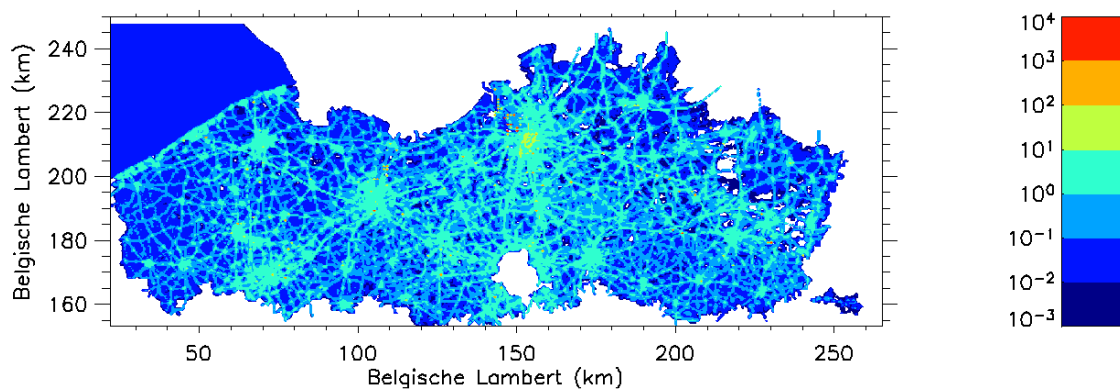
Tabel 19: Vlaamse VOS-emissies per deelsector voor 2002 en 2003.

| Sector             | Deelsector  | VOS<br>(ton)<br>2002 | VOS<br>(ton)<br>2003 |
|--------------------|---|----------------------|----------------------|
| Bevolking          |   | 16944                | 17304                |
| Industrie          | Chemie  | 19483                | 19405                |
|                    | IJzer staal, non-ferro, automobiel- en machinebouw                        | 11582                | 10527                |
|                    | Voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie                               | 3141                 | 3023                 |
|                    | Textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid                            | 1344                 | 1564                 |
|                    | Papier- en papierwarenindustrie, grafische nijverheid, uitgeverijen, e.d. | 9145                 | 8571                 |
|                    | Andere industrieën (bouw, asfalt, rubber, afvalrecuperatie, ...)          | 8210                 | 7939                 |
| Energie            | Raffinaderijen  | 11632                | 11408                |
|                    | Productie en distributie van elektriciteit                                | 735                  | 772                  |
|                    | Productie en distributie van gas  | 2329                 | 2329                 |
| Landbouw           | glastuinbouw  | 302                  | 302                  |
|                    | brandstofverbruik in de landbouw uitgezonderd glastuinbouw en visserij    | 639                  | 626                  |
|                    | visserij  | 473                  | 463                  |
| Verkeer en vervoer | wegverkeer  | 23323                | 20576                |
|                    | luchtvaart  | 606                  | 582                  |
|                    | scheepvaart tussen Noordzeehavens en binnenscheepvaart                    | 280                  | 287                  |
|                    | spoorverkeer  | 295                  | 278                  |
| Handel en diensten | Aanverwanten petroleumsector  | 925                  | 925                  |
|                    | afvalverbranding  | 1041                 | 926                  |
|                    | Individuele bedrijven   | 2                    | 4                    |
|                    | Tankstations  | 3253                 | 4001                 |
|                    | gebouwenverwarming  | 776                  | 666                  |

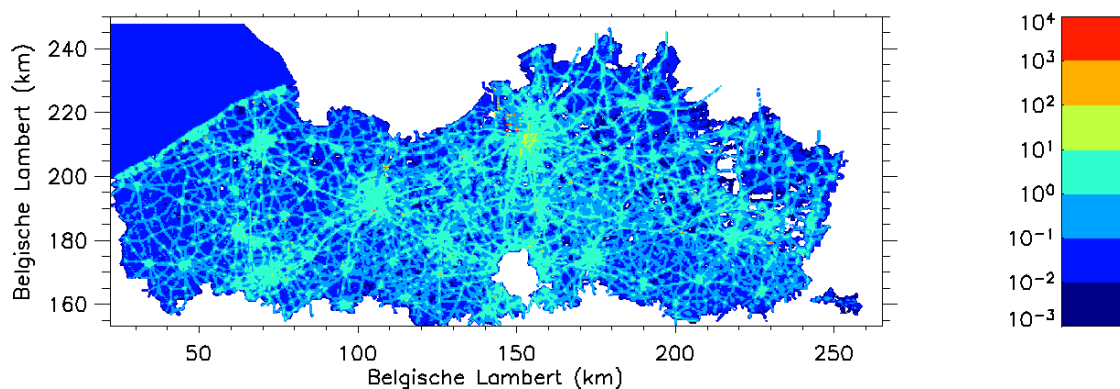


Figuur 32: Relatieve bijdrage van de verschillende emissiesectoren tot de totale Vlaamse VOS-emissies in 2003.

De VOS-emissiedrukken zijn weergegeven in Figuur 33 voor 2002 en in Figuur 34 voor 2003. De hoogste waarden kwamen voor in het Antwerpse havengebied (tot 8841 ton in 2002 en tot 8521 ton in 2003).



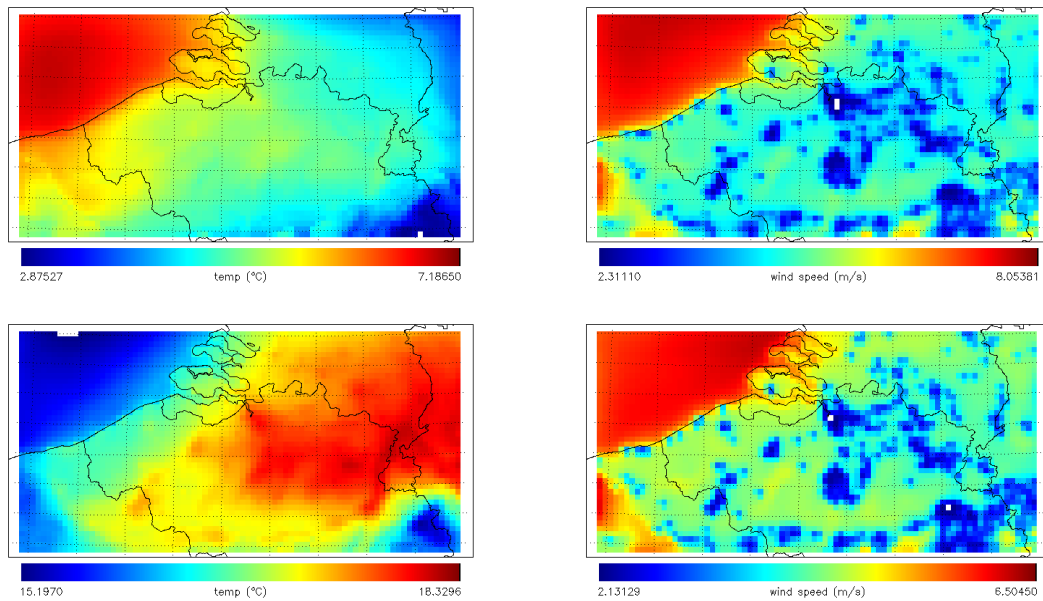
Figuur 33: VOS-emissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke rooster cel van 500 x 500 m (2002).



Figuur 34: VOS-emissies uitgedrukt in ton per jaar voor elke rooster cel van 500 x 500 m (2003).

## 5.2.2 Meteoparameters

Figuur 35 toont de resultaten van de berekeningen met de meteorologische module voor de 4km run voor het grondgebied Vlaanderen. De linkse kaartjes tonen de gemiddelde luchttemperatuur aan het aardoppervlak voor maart 2002 en juli 2002, respectievelijk. De rechtse kaartjes tonen de gemiddelde windsnelheid aan het aardoppervlak voor maart 2002 en juli 2002, respectievelijk. Voor beide meteorologische parameters kon een duidelijk ruimtelijk patroon onderscheiden worden: verstedelijkte gebieden hadden gemiddeld iets hogere temperaturen en lagere windsnelheid in vergelijking met landelijke gebieden.



*Figuur 35: Gesimuleerde gemiddelde waarde aan het aardoppervlak voor luchttemperatuur (links) en windsnelheid (rechts) voor maart 2002 (boven) juli 2002 (onder).*

### 5.2.3 Berekende concentraties

AURORA concentratieberekeningen werden uitgevoerd voor de periodes : gans 2002, juli-december 2003, januari-juli 2004.

#### 5.2.3.1 Concentratievelden

Figuur 36 en Figuur 37 tonen de concentraties voor de verschillende polluenten voor het grondgebied van Vlaanderen, voor de maanden juli 2002 en maart 2002. Het verschil in concentratievelden tussen maart 2002 en juli 2002 wordt veroorzaakt door verschillende emissies alsook door de verschillende meteorologische omstandigheden. In wintermaanden zijn biogene emissies verwaarloosbaar en zijn de antropogene emissies het belangrijkste, daarentegen in de zomer kan men een belangrijke bijdrage van biogene emissies verwachten.

In onderstaande figuren is duidelijk een ruimtelijk patroon te onderscheiden in de concentraties:

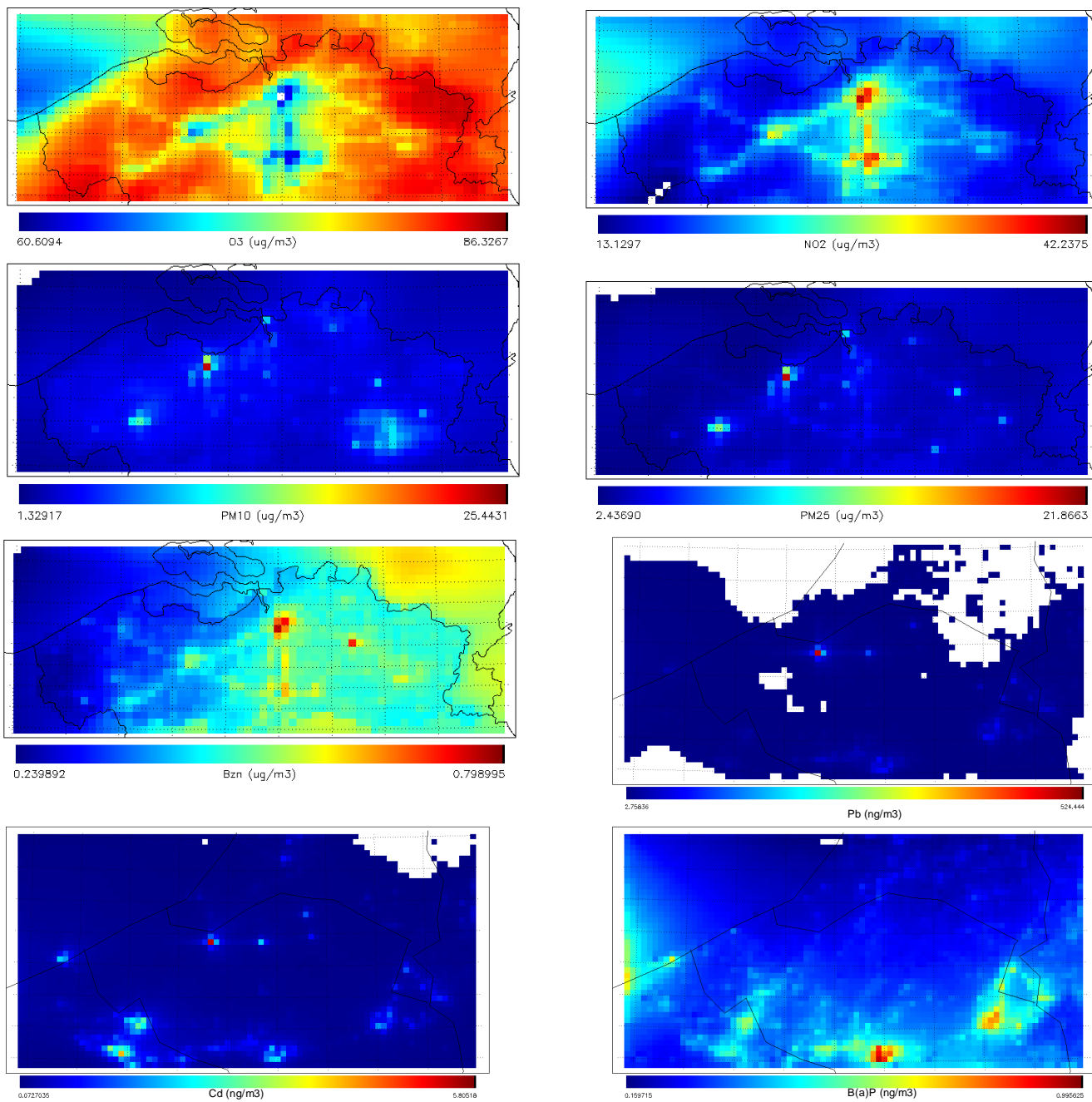
- De  $\text{NO}_2$ - en benzeenvelden vertoonden een gelijklopend ruimtelijk patroon, het  $\text{O}_3$ -patroon was omgekeerd: hoge  $\text{NO}_2$ - en benzeenwaarden en lage  $\text{O}_3$  waarden karakteriseren verstedelijkte gebieden en belangrijke wegen, en omgekeerd voor meer landelijke gebieden.
- Voor de polluenten Pb en Cd werden de hoogste concentraties gemeten rond de Gentse Kanaalzone<sup>9</sup>, de regio Antwerpen (havengebied, Hoboken), Beerse en langsheen het Albertkanaal. Dit zijn de plaatsen waar de hoogste emissies plaatsgrijpen.
- De  $\text{PM}_{10}$ - en  $\text{PM}_{2,5}$ -concentraties pieken vooral in de Gentse Kanaalzone, in West-Vlaanderen en de fruitstreek<sup>10</sup>, de plaatsen waar ook de hoogste emissies plaatsvinden.

---

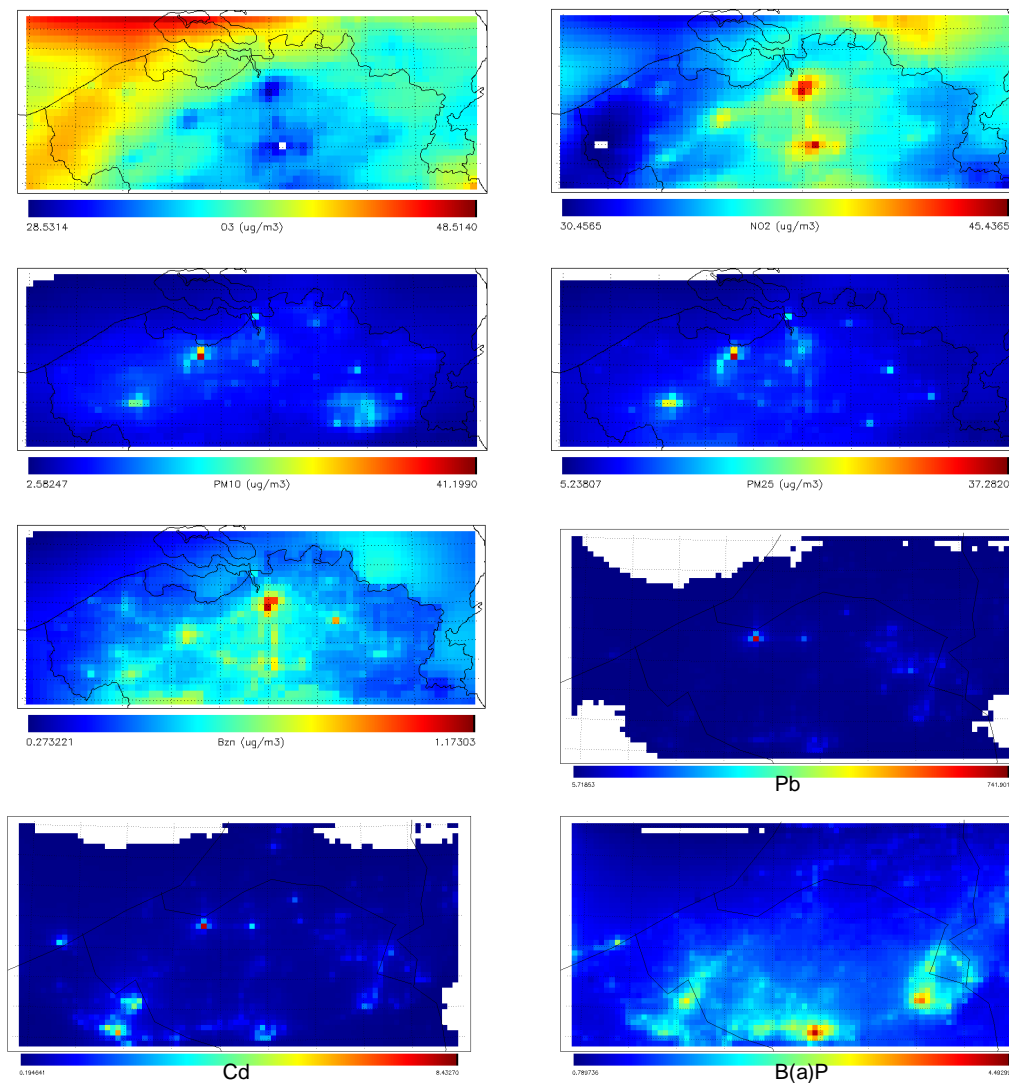
<sup>9</sup> De zeer hoge concentraties (overschatting) voor Pb en Cd in de Gentse kanaalzone worden veroorzaakt doordat de hoogte waarop de Pb-emissies plaatsgrijpen te laag is ingesteld in vergelijking met de werkelijke emissiehoogte.

<sup>10</sup> De hoge PM-concentraties gemodelleerd in de fruitstreek worden veroorzaakt door de hoge PM-emissies die zijn opgenomen in de gebruikte emissie-inventaris. Deze emissie-inventaris dateert van eind 2003 en gebruikt de oude methodologie voor de inschatting van PM landbouwemissies. Recent werd de methodologie voor het inschatten van emissies t.g.v. stofopwaai voor landbouw herzien, dit leidt tot een aanzienlijke daling van de landbouwemissies.





*Figuur 36: Gemiddelde concentratieveld in Vlaanderen voor juli 2002: Linker kolom (van boven naar onder): ozon (µg/m<sup>3</sup>), primair PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>), benzeen (µg/m<sup>3</sup>) en cadmium (ng/m<sup>3</sup>). Rechter kolom (van boven naar onder): NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), primair PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>), lood (ng/m<sup>3</sup>) en B(a)P (ng/m<sup>3</sup>).*

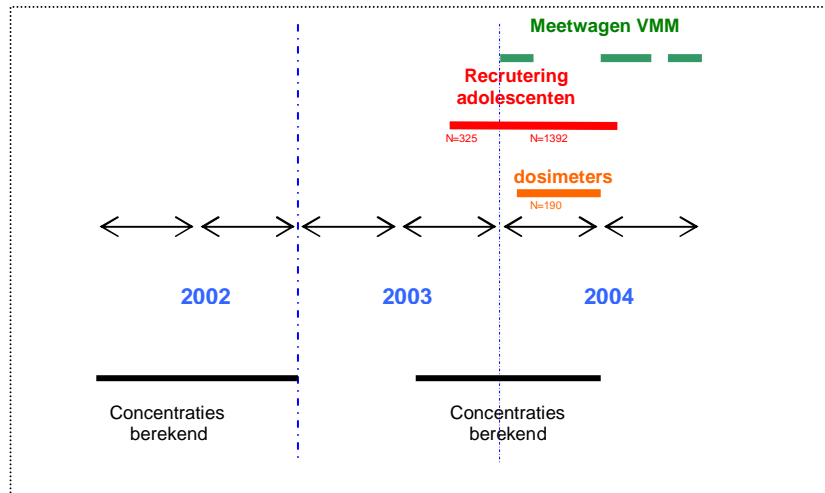


*Figuur 37: Gemiddeld concentratieveld in Vlaanderen voor de maand maart 2002: linker kolom: O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>), primair PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>), benzeen (µg/m<sup>3</sup>) en cadmium (ng/m<sup>3</sup>); recht er kolom: NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), primair PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>), lood (ng/m<sup>3</sup>) en B(a)P (ng/m<sup>3</sup>).*

### 5.2.3.2 Tijdsperiode simulaties - meetcampagne

Voor 2002 werden de concentraties berekend zoals was voorzien in het contract. Omwille van tijdsgebrek werd voor 2003 enkel de laatste helft doorgerekend en verder tot en met juni 2004 (zie schema). Dit betekent dat er voor sommige periodes ontbrekende waarden waren.

*Samengevat kan gesteld worden dat voor de middenlange termijn concentraties (1 jaar gemiddelden) bijna steeds geïnterpoleerd diende te worden voor het aanvullen van ontbrekende waarden in het jaar voorafgaand op het onderzoek van de jongere. De korte termijn gemodelleerde concentraties werden steeds gebaseerd op de werkelijk gemodelleerde concentraties.*



Voor de eerste helft van 2003 werden geen concentraties berekend. Voor elke persoon was een jaargemiddelde concentratie nodig om deze te relateren met de lange termijn biomerkers. Optie was om voor elke persoon de concentraties van de eerste helft van 2002 of 2004 hier te gebruiken. Om dit verantwoord te kunnen doen, werd een vergelijking gemaakt tussen de immissiegegevens van de eerste helft van 2003 met deze van de eerste helft van 2002 of 2004 voor elk van de pollutanten. Voor elk van de pollutanten was er een jaartal waar de concentraties uit de eerste helft van 2003 door vervangen konden worden:

Tabel 20: Overzicht van de doorgevoerde extrapolaties

| Polluent          | Extrapolatie van eerste helft 2003 mogelijk met gegevens uit andere jaartallen? |
|-------------------|---|
| NO <sub>2</sub>   | Ja, naar 2002 en 2004   |
| O <sub>3</sub>    | Ja, naar 2002 en 2004   |
| PM <sub>2.5</sub> | Ja, maar op basis verschillende jaren in functie van de maand                   |
| PM <sub>10</sub>  | Ja, maar op basis verschillende jaren in functie van de maand                   |
| Cd                | Ja, naar 2004   |
| Pb                | Ja, naar 2004   |
| B(a)P             | Ja, naar 2002 en 2004   |
| benzeen           | Ja, naar 2004   |

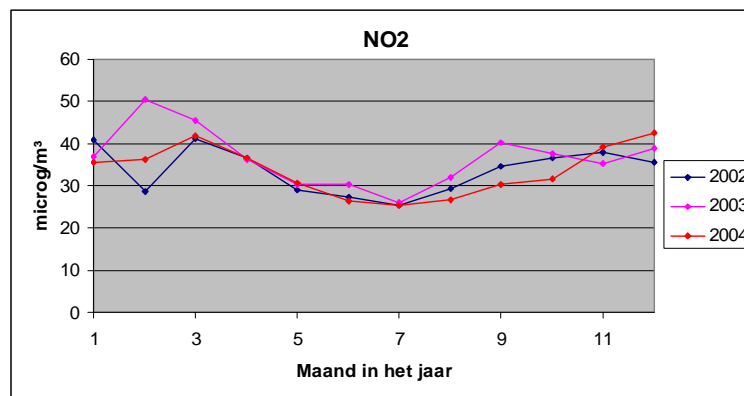
Hierna volgt meer in detail een overzicht van die vergelijking op basis van meetgegevens van VMM. Figuur 38 tot en met Figuur 47 geven voor de verschillende pollutanten de vergelijking weer tussen de verschillende jaren. Bij het samenstellen van deze grafieken is ervoor gezorgd dat het aantal meetstations voor elk jaar hetzelfde was (gemeenschappelijke stations) zodat de jaren met elkaar kunnen vergeleken worden. Onderstaande tabel geeft een overzicht van deze stations.

Tabel 21: Overzicht VMM-mmeetstations

| Polluent                  | Aantal stations met meetgegevens |      |      | Aantal gemeenschappelijke stations<br>(+ stationnummers, indien er minder dan 10 zijn) |
|---------------------------|----------------------------------|------|------|--|
|                           | 2002                             | 2003 | 2004 |  |
| NO <sub>2</sub>           | 30                               | 35   | 32   | 24   |
| O <sub>3</sub>            | 14                               | 18   | 18   | 13   |
| PM <sub>2.5</sub>         | 5                                | 7    | 10   | 2 ML02, SZ01   |
| PM <sub>10</sub>          | 17                               | 21   | 29   | 14   |
| Cd (in PM <sub>10</sub> ) | 11                               | 10   | 17   | 1 HB23   |
| Pb (in PM <sub>10</sub> ) | 11                               | 14   | 17   | 1 HB23   |
| B(a)P                     | 5                                | 5    | 5    | 5 N035, R750, R801, SZ01, SZ02   |
| Benzeen (uur)             | 6                                | 7    | 7    | 3 LD01, ML01, R701   |

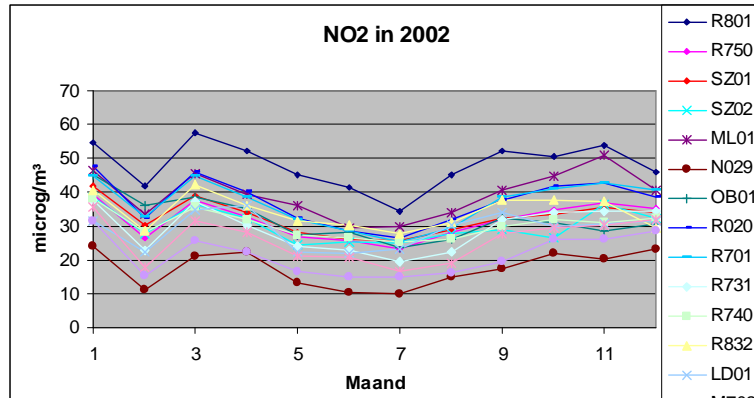
De meetgegevens werden per maand uitgemiddeld over alle gemeenschappelijke stations en voor elke pollutant kon het volgende worden opgemerkt:

- **NO<sub>2</sub>**: behalve voor de maand februari was er op maandniveau weinig verschil tussen de verschillende jaartallen voor de maanden januari tot en met juni. De concentraties vertoonden gelijkaardige evoluties gekenmerkt door hogere waarden in de winter en minimumwaarden in juni. Er waren echter grote verschillen tussen de stations onderling (factor 2, zie Figuur 39).
- **Ozon**: weinig verschil in concentraties tussen de verschillende jaartallen, echter verschil tussen meetposten was groter (omgekeerde relaties tussen stations als voor NO<sub>2</sub>).
- **PM<sub>10</sub>**: grotere verschillen in concentraties tussen de verschillende jaartallen voor de maanden februari, maart en april. Weinig verschil tussen stations (veel transport vanuit buitenland).
- **PM<sub>2.5</sub>**: gelijkaardige verschillen als bij PM<sub>10</sub>.
- **Cd, Pb**: verschil in concentraties tussen de verschillende jaartallen. Voor Cd komt het jaar 2003 goed overeen met 2004 maar helemaal niet met 2002. Voor Pb idem. Wat betreft de metingen van zware metalen in zwevend stof is op te merken dat tijdens de periode 2002-2004 het meetnet progressief vernieuwd werd. In 2003 en 2004 werd een nieuwe meetmethode gebruikt, dan deze gebruikt in de eerste helft van 2002<sup>11</sup>.
- **B(a)P**: Behalve voor februari komen voor de andere maanden van de eerste helft van het jaar de concentraties goed overeen tussen de verschillende jaren. De hoge piek in februari 2003 werd vooral veroorzaakt door extreem hoge waarden in Zelzate en Zaventem.
- **Benzeen**: De immissiewaarden in de eerste helft van 2003 en 2004 verliepen gelijkaardig maar zijn hoger dan deze in 2002.

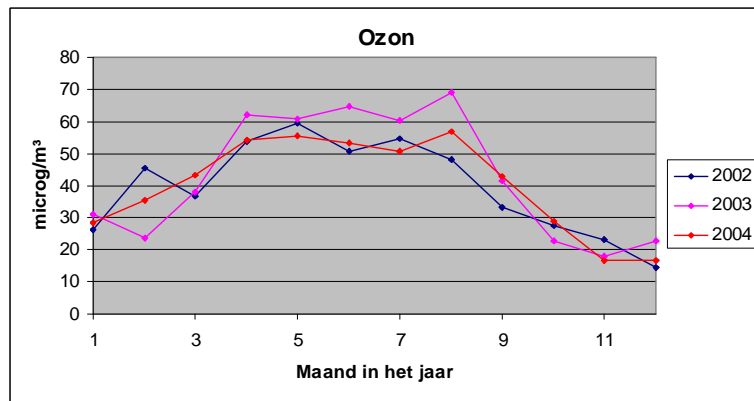


Figuur 38: Vergelijking van de NO<sub>2</sub> maandconcentraties in Vlaanderen uitgemiddeld over alle beschikbare stations waarvoor gegevens beschikbaar zijn voor zowel 2002, 2003 en 2004 (24 stations).

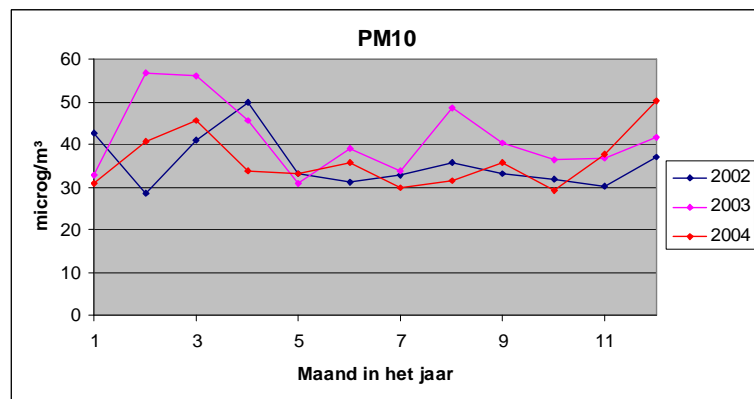
<sup>11</sup> Persoonlijke communicatie N. Claeys (VMM): "in 2002 werd overgeschakeld van Pourbaix (ongeveer Total Suspended Particles) naar PM<sub>10</sub> en TSP metingen. In 2003 en 2004 werd op dit meetstation PM<sub>10</sub> en TSP metingen uitgevoerd. Aangezien de reeks van 2002 met twee verschillende systemen is gemeten, kunnen deze niet gebruikt worden bij vergelijking van de jaren."



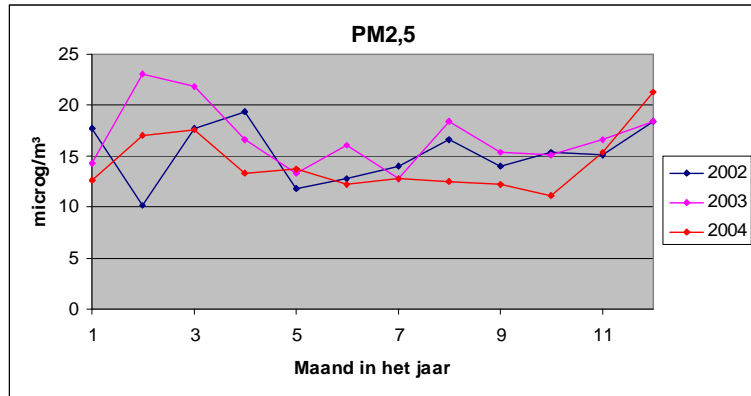
Figuur 39: Maandelijks  $\text{NO}_2$  concentraties in Vlaanderen in 2002 voor de verschillende meetstations. De hoogste waarden komen voor in het stedelijke station Bergerhout (R801). De laagste waarden worden genoteerd in het landelijke Houtem (N029).



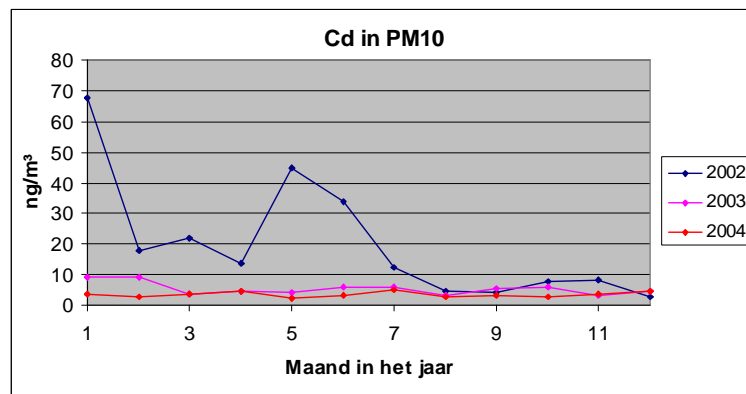
Figuur 40: Vergelijking van de ozonconcentraties in Vlaanderen uitgemiddeld over alle beschikbare stations waarvoor gegevens beschikbaar zijn voor zowel 2002, 2003 en 2004 (13 stations).



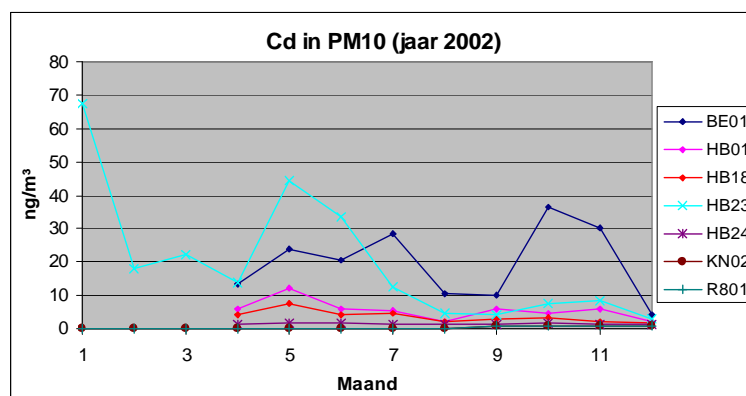
Figuur 41: Vergelijking van de  $\text{PM}_{10}$ -concentraties in Vlaanderen uitgemiddeld over alle beschikbare stations waarvoor gegevens beschikbaar zijn voor zowel 2002, 2003 en 2004 (14 stations).



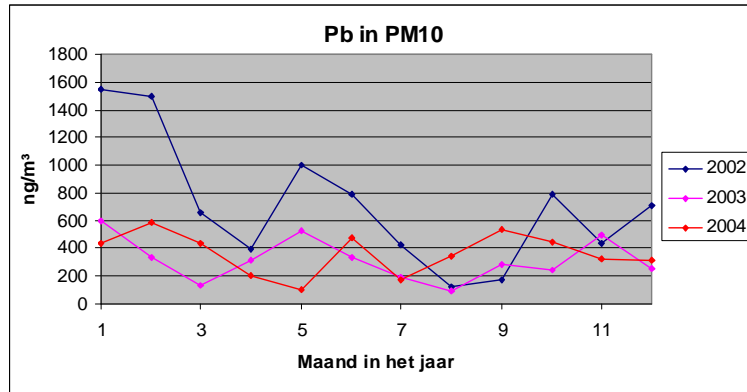
Figuur 42: Vergelijking van de PM<sub>2.5</sub>-concentraties in Vlaanderen uitgemiddeld over alle beschikbare stations waarvoor gegevens beschikbaar zijn voor zowel 2002, 2003 en 2004 (2 stations).



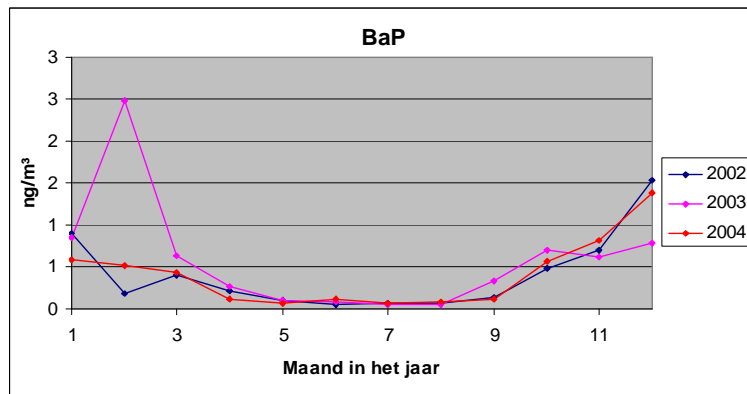
Figuur 43: Vergelijking van de Cd-concentraties in PM<sub>10</sub> in Vlaanderen uitgemiddeld over alle beschikbare stations waarvoor gegevens beschikbaar zijn voor zowel 2002, 2003 en 2004 (1 station: HB23 is een industriële station waar het meetstelsel in de loop van 2002 veranderd werd).



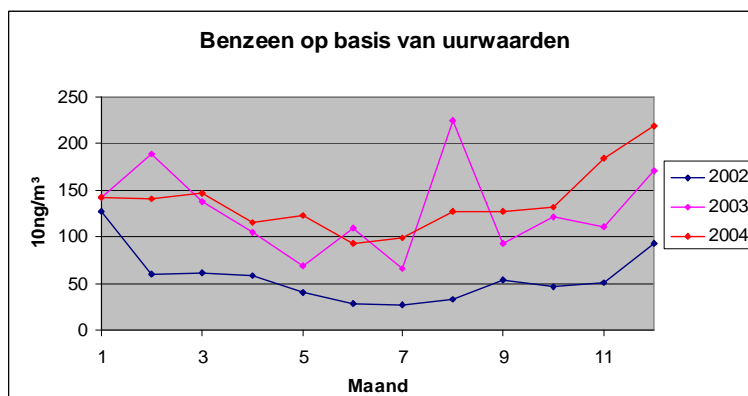
Figuur 44: Maandelijks concentraties Cd in PM<sub>10</sub> in Vlaanderen in 2002 voor de verschillende meetstations. De hoogste waarden komen voor in het industriële station Hoboken (HB23) en het station BE01 van Beerse (non-ferro bedrijf).



Figuur 45: Vergelijking van de Pb-concentraties in Vlaanderen uitgemiddeld over alle beschikbare stations waarvoor gegevens beschikbaar zijn voor zowel 2002, 2003 en 2004 (1 station: HB23 is een industriële station waar het meetsysteem in de loop van 2002 veranderd werd).



Figuur 46: Vergelijking van de B(a)P-concentraties in Vlaanderen uitgemiddeld over alle beschikbare stations waarvoor gegevens beschikbaar zijn voor zowel 2002, 2003 en 2004 (5 stations).



Figuur 47: Vergelijking van de benzeenconcentraties in Vlaanderen uitgemiddeld over alle beschikbare stations waarvoor gegevens beschikbaar zijn voor zowel 2002, 2003 en 2004 (3 stations).

#### **5.2.4 Individuele emissiedrukken en concentraties van de deelnemers**

Op basis van de hierboven berekende emissievelden en de gemodelleerde concentraties voor Vlaanderen werd voor elke deelnemer afzonderlijk een individuele emissiedruk en concentratie bepaald. Voor elke persoon werd een combinatie gemaakt van de gemiddelde concentratie of de jaar-emissiedruk van de thuisroostercel én de schoolroostercel, rekening houdend met een theoretische verblijftijd in elk van de roostercellen.



Tabel 22: Individuele jaar-emissiedruk van elke pollutant berekend voor 1387 niet-rokende jongeren, waarbij correlatie met hun biomerkerwaarde werd nagegaan.

|   | Gemiddelde | Geometrisch gemiddelde | Standaard afwijking | 95% BI* |        | Minimum | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | Mediaan | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> | Maximum  |
|---|------------|------------------------|---------------------|---------|--------|---------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|----------|
|   |            |                        |                     | OG      | BG     |         |                 |                 |         |                 |                 |          |
| <b>emissies (g/jaar.m<sup>2</sup>)</b>  |            |                        |                     |         |        |         |                 |                 |         |                 |                 |          |
| CO-st1                                  | 49,79      | 30,48                  | 54,80               | 46,90   | 52,67  | 0,22    | 7,86            | 15,15           | 32,55   | 65,48           | 114,63          | 432,84   |
| CO-st2                                  | 49,72      | 31,56                  | 51,10               | 47,03   | 52,41  | 0,75    | 8,94            | 16,39           | 30,86   | 62,25           | 118,89          | 319,27   |
| CO-st3                                  | 49,02      | 32,49                  | 47,75               | 46,51   | 51,54  | 1,72    | 10,72           | 16,38           | 30,27   | 59,69           | 128,50          | 255,07   |
| Bzn-st1                                 | 0,19       |                        | 0,18                | 0,18    | 0,20   | 0,00    | 0,03            | 0,06            | 0,14    | 0,26            | 0,39            | 1,39     |
| Bzn-st2                                 | 0,19       | 0,13                   | 0,16                | 0,18    | 0,20   | 0,01    | 0,04            | 0,08            | 0,15    | 0,24            | 0,39            | 1,01     |
| Bzn-st3                                 | 0,19       | 0,14                   | 0,15                | 0,18    | 0,20   | 0,01    | 0,05            | 0,08            | 0,14    | 0,23            | 0,44            | 0,80     |
| NOx-st1                                 | 23,76      | 14,34                  | 33,47               | 22,00   | 25,52  | 1,40    | 3,72            | 7,06            | 14,28   | 28,41           | 48,85           | 379,12   |
| NOx-st2                                 | 27,66      | 17,20                  | 32,07               | 25,97   | 29,35  | 2,14    | 5,35            | 8,26            | 15,61   | 34,63           | 66,57           | 263,49   |
| NOx-st3                                 | 27,99      | 18,44                  | 28,36               | 26,49   | 29,48  | 2,25    | 6,20            | 8,57            | 16,92   | 36,75           | 67,85           | 178,72   |
| PM <sub>10</sub> -st1                   | 2,87       | 2,25                   | 2,32                | 2,75    | 2,99   | 0,25    | 0,95            | 1,46            | 2,18    | 3,52            | 5,30            | 17,38    |
| PM <sub>10</sub> -st2                   | 3,23       | 2,57                   | 2,89                | 3,07    | 3,38   | 0,40    | 1,19            | 1,68            | 2,41    | 3,91            | 6,37            | 65,74    |
| PM <sub>10</sub> -st3                   | 3,42       | 2,80                   | 3,14                | 3,25    | 3,59   | 0,51    | 1,36            | 1,86            | 2,57    | 4,35            | 6,33            | 80,61    |
| VOS-st1                                 | 15,71      | 9,64                   | 39,88               | 13,61   | 17,81  | 0,14    | 2,87            | 5,14            | 9,98    | 18,58           | 33,85           | 1191,32  |
| VOS-st2                                 | 13,70      | 8,70                   | 17,46               | 12,78   | 14,62  | 0,47    | 2,53            | 4,73            | 8,21    | 18,56           | 31,89           | 325,46   |
| VOS-st3                                 | 23,23      | 10,36                  | 151,56              | 15,25   | 31,22  | 0,54    | 3,13            | 5,06            | 9,88    | 19,81           | 34,14           | 3235,62  |
| SO <sub>2</sub> -st1                    | 7,76       | 5,13                   | 7,12                | 7,39    | 8,14   | 0,30    | 1,44            | 2,74            | 4,96    | 11,31           | 20,81           | 35,51    |
| SO <sub>2</sub> -st2                    | 8,21       | 4,75                   | 20,37               | 7,14    | 9,28   | 0,25    | 1,23            | 2,30            | 4,70    | 11,68           | 20,37           | 692,97   |
| SO <sub>2</sub> -st3                    | 9,42       | 5,41                   | 21,38               | 8,29    | 10,54  | 0,22    | 1,46            | 2,50            | 4,90    | 13,50           | 20,50           | 642,83   |
| NH <sub>3</sub> -st1                    | 1,42       |                        | 1,96                | 1,32    | 1,52   | 0,00    | 0,14            | 0,29            | 0,62    | 1,71            | 3,73            | 18,13    |
| NH <sub>3</sub> -st2                    | 1,71       | 0,96                   | 2,03                | 1,61    | 1,82   | 0,04    | 0,24            | 0,41            | 0,99    | 2,02            | 4,55            | 12,88    |
| NH <sub>3</sub> -st3                    | 1,73       | 1,09                   | 1,87                | 1,63    | 1,83   | 0,07    | 0,30            | 0,56            | 1,04    | 2,00            | 4,34            | 12,14    |
| PM <sub>2,5</sub> -st1                  | 1,93       | 1,35                   | 1,86                | 1,83    | 2,03   | 0,16    | 0,46            | 0,71            | 1,29    | 2,55            | 4,24            | 15,00    |
| PM <sub>2,5</sub> -st2                  | 1,98       | 1,39                   | 2,18                | 1,86    | 2,09   | 0,18    | 0,51            | 0,77            | 1,29    | 2,57            | 4,26            | 50,90    |
| PM <sub>2,5</sub> -st3                  | 2,09       | 1,51                   | 2,43                | 1,96    | 2,22   | 0,18    | 0,58            | 0,81            | 1,35    | 2,87            | 4,79            | 62,39    |
| <b>emissies (µg/jaar.m<sup>2</sup>)</b> |            |                        |                     |         |        |         |                 |                 |         |                 |                 |          |
| BaP-st1                                 | 920,56     | 586,89                 | 888,47              | 873,76  | 967,36 | 0,44    | 158,66          | 296,84          | 559,44  | 1300,50         | 2619,69         | 3237,34  |
| BaP-st2                                 | 776,92     | 468,83                 | 790,20              | 735,30  | 818,54 | 17,13   | 123,14          | 227,73          | 440,83  | 1082,84         | 2218,95         | 3180,61  |
| BaP-st3                                 | 762,33     | 475,08                 | 760,58              | 722,27  | 802,39 | 30,74   | 136,59          | 223,59          | 418,19  | 1122,57         | 2075,15         | 3079,11  |
| Cd-st1                                  | 11,27      |                        | 16,49               | 10,40   | 12,14  | 0,00    | 0,32            | 2,37            | 5,80    | 13,33           | 24,91           | 129,44   |
| Cd-st2                                  | 24,86      | 7,64                   | 154,18              | 16,74   | 32,98  | 0,05    | 1,75            | 3,55            | 7,33    | 16,76           | 38,35           | 2703,14  |
| Cd-st3                                  | 33,04      | 8,95                   | 390,57              | 12,47   | 53,61  | 0,21    | 2,65            | 4,08            | 8,21    | 18,76           | 33,68           | 10137,74 |

st1: roostercel die de X,Y-coördinaten van de woonplaats/schoollocatie van de adolescent bevat (zie *Figuur 13*)

st2: gemiddelde van de roostercel die de X,Y-coördinaten van de woonplaats/schoollocatie van de adolescent bevat én de roostercellen die in de overheersende windrichting liggen (zie *Figuur 13*).

st3: gemiddelde van de roostercel die de X,Y-coördinaten van de woonplaats/schoollocatie van de adolescent bevat én alle aangrenzende roostercellen (zie *Figuur 13*)

Tabel 23: Berekende gemiddelden van de gemodelleerde pollutieconcentraties voor een bepaalde periode voorafgaand aan het onderzoek. Het 2-dagen, 7-dagen, 30-dagen, 75-dagen of 365 dagen gemiddelde van een pollutie werd berekend voor 1387 niet-rokende jongeren, waarbij correlatie met hun biomerkerwaarde werd nagegaan.

| Gemodelleerde concentraties gemiddeld over de periode voorafgaand aan het onderzoek | Gemiddelde | Geometrisch gemiddelde | Standaard afwijking | 95% BI* |       |         |                 |                 |         |                 |                 | Maximum | EU grenswaarde (a) |  |
|---|------------|------------------------|---------------------|---------|-------|---------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|---------|--------------------|--|
|   |            |                        |                     | OG      | BG    | Minimum | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | Mediaan | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> |         |                    |  |
| <b>Ozon</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  |            |                        |                     |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |                    |  |
| jaargem   | 46.68      | 46.31                  | 5.58                | 46.38   | 46.97 | 30.99   | 39.01           | 44.09           | 47.62   | 50.52           | 53.08           | 56.71   | 40*                |  |
| <b>NO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )                                  |            |                        |                     |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |                    |  |
| jaargem   | 38.56      | 37.85                  | 7.79                | 38.15   | 38.97 | 25.02   | 30.03           | 33.12           | 36.83   | 41.11           | 50.86           | 63.66   | 40                 |  |
| <b>PM<sub>10</sub> (primair)</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )                       |            |                        |                     |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |                    |  |
| Jaargem.  | 14.03      | 13.85                  | 2.61                | 13.89   | 14.17 | 10.66   | 11.98           | 12.52           | 13.65   | 14.32           | 16.80           | 35.87   | (b)                |  |
| 7-d gem.  | 14.30      | 13.49                  | 4.64                | 14.05   | 14.54 | 4.89    | 7.78            | 11.35           | 14.54   | 17.41           | 19.49           | 49.64   |                    |  |
| 2-d gem.  | 14.78      | 13.61                  | 5.92                | 14.47   | 15.09 | 3.92    | 7.64            | 10.31           | 14.49   | 17.92           | 21.87           | 41.57   | (b)                |  |
| <b>PM<sub>2,5</sub> (primair)</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )                      |            |                        |                     |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |                    |  |
| Jaargem.  | 9.56       | 9.41                   | 1.93                | 9.45    | 9.66  | 7.04    | 8.06            | 8.48            | 9.04    | 10.20           | 11.25           | 26.17   | (c)                |  |
| 7-d gem.  | 9.82       | 9.11                   | 3.66                | 9.62    | 10.01 | 2.71    | 4.73            | 7.68            | 9.50    | 12.06           | 13.77           | 39.07   |                    |  |
| 2-d gem.  | 10.03      | 9.10                   | 4.27                | 9.81    | 10.26 | 2.32    | 5.13            | 7.22            | 9.52    | 12.41           | 16.14           | 31.07   |                    |  |
| <b>Benzeen</b> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )   |            |                        |                     |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |                    |  |
| Jaargem.  | 0.87       | 0.85                   | 0.15                | 0.86    | 0.87  | 0.64    | 0.71            | 0.78            | 0.82    | 0.93            | 1.10            | 1.30    | 5                  |  |
| 7-d gem.  | 0.83       | 0.77                   | 0.31                | 0.82    | 0.85  | 0.21    | 0.42            | 0.63            | 0.79    | 1.03            | 1.26            | 1.69    |                    |  |
| 2-d gem.  | 0.88       | 0.79                   | 0.40                | 0.86    | 0.90  | 0.19    | 0.44            | 0.57            | 0.81    | 1.12            | 1.49            | 2.16    |                    |  |
| 2 d geaccumuleerd   | 42.20      | 37.69                  | 19.34               | 41.18   | 43.22 | 9.33    | 21.34           | 27.15           | 39.06   | 53.66           | 71.52           | 103.60  |                    |  |
| <b>Lood</b> ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )  |            |                        |                     |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |                    |  |
| Jaargem.  | 20.02      | 15.99                  | 22.46               | 18.84   | 21.20 | 6.16    | 9.04            | 11.34           | 15.05   | 20.30           | 33.28           | 164.35  | 500                |  |
| 30-d gem.   | 17.91      | 12.90                  | 26.45               | 16.52   | 19.30 | 4.58    | 6.54            | 8.61            | 11.04   | 17.30           | 29.70           | 242.06  |                    |  |
| <b>Cadmium</b> ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )   |            |                        |                     |         |       |         |                 |                 |         |                 |                 |         |                    |  |
| Jaargem.  | 0.41       | 0.37                   | 0.27                | 0.40    | 0.43  | 0.23    | 0.26            | 0.28            | 0.32    | 0.40            | 0.71            | 1.98    | 5**                |  |

| 95% BI*                                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 75-d gem.                                     | 0.43 | 0.37 | 0.34 | 0.41 | 0.44 | 0.21 | 0.24 | 0.27 | 0.33 | 0.42 | 0.71 | 2.69 |     |
| 2-d gem.                                      | 0.41 | 0.32 | 0.36 | 0.39 | 0.43 | 0.05 | 0.13 | 0.23 | 0.31 | 0.45 | 0.74 | 4.06 |     |
| <b>Benzo(a)pyreen</b><br>(ng/m <sup>3</sup> ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| Jaargem.                                      | 0.60 | 0.59 | 0.13 | 0.59 | 0.61 | 0.40 | 0.46 | 0.52 | 0.56 | 0.66 | 0.78 | 1.04 | 1** |
| 7-d gem.                                      | 0.49 | 0.38 | 0.28 | 0.48 | 0.51 | 0.05 | 0.09 | 0.18 | 0.54 | 0.70 | 0.86 | 1.11 |     |
| 2-d gem.                                      | 0.51 | 0.34 | 0.43 | 0.48 | 0.53 | 0.02 | 0.08 | 0.16 | 0.46 | 0.65 | 1.09 | 2.20 |     |

(a) Richtlijn 1999/30/EG, Richtlijn 2000/69/EG, Richtlijn 2002/3/EG en Richtlijn 2004/107/EG

(b) De Europese eerste dochterrichtlijn voorziet voor PM<sub>10</sub> zowel een daggrenswaarde als een jaargrenswaarde. Ook worden twee fasen onderscheiden: een eerste fase liep tot 1 januari 2005, de tweede fase loopt tot 1 januari 2010. In de tweede fase wordt een **jaargrenswaarde** voorop gesteld van **20 µg/m<sup>3</sup>** en een **daggrenswaarde** van **50 µg/m<sup>3</sup>** die niet meer dan zeven keer per jaar mag worden overschreden. OPM: opgelet, de grenswaarden vermeld in de richtlijn gelden voor totaal PM<sub>10</sub> en niet alleen voor primair PM<sub>10</sub> zoals berekend in dit project! Theoretisch bedraagt het primair PM<sub>10</sub> 25% van de totale PM<sub>10</sub> fractie

(c) Voor PM<sub>2.5</sub> werd nog geen drempelconcentratie vastgelegd. Wel zijn reeds binnen de EU stappen ondernomen om drempelconcentraties voor PM<sub>2.5</sub> in een richtlijn vast te leggen. In dit voorstel bepaalt men voor PM<sub>2.5</sub> een jaargemiddelde bovengrenskoncentratie van 25 µg/m<sup>3</sup> dit moet behaald worden in 2010. Een concentratiebovengrens is een op basis van wetenschappelijke kennis vastgesteld niveau om bovenmatige risico's voor de menselijke gezondheid te voorkomen, dat binnen een bepaalde termijn moet worden bereikt en als het eenmaal bereikt is, niet meer mag worden overschreden. OPM: opgelet hier wordt totaal PM<sub>2.5</sub> bedoeld en niet alleen primair PM<sub>2.5</sub> zoals berekend binnen dit project! (COM(2005)447 Definitief; 2006/C 206/01)

\* Voor de bescherming van de gezondheid van de mens is voor ozon geen jaargemiddelde grenswaarde voorzien. De jaargrenswaarde die hier in de tabel wordt vermeld is deze voor bescherming van materialen blootgesteld aan ozon. Ter bescherming van de gezondheid van de mens voorziet de richtlijn een **informatiedrempel** nl. uurgemiddelde concentratie = 180 µg/m<sup>3</sup> (niveau waarboven kortstondige blootstelling een gezondheidsrisico voor bijzonder gevoelige groepen inhoudt en waarbij geactualiseerde informatie noodzakelijk is) en een **alarmdrempel** nl. uurgemiddelde concentratie = 240 µg/m<sup>3</sup> (niveau waarboven een kortstondige blootstelling een gezondheidsrisico voor de gehele bevolking inhoudt en bij overschrijding waarvan de lidstaten onmiddellijke maatregelen moeten treffen).

\*\* De streefwaarde voor Cd en B(a)P geldt voor het totale gehalte Cd en B(a)P in de PM<sub>10</sub>-fractie, gemiddeld over een kalenderjaar

Tabel 24: Spearman rank correlatie tussen de verschillende jaartotale individuele gesmoothe emissiedrukken (st3) voor 1387 niet-rokende adolescenten. Bijna alle correlaties waren hoog significant ( $p < 0.001$ ). De niet significante correlaties werden cursief gedrukt.

|                   | CO   | Cd   | Benzeen | NO <sub>x</sub> | PM <sub>10</sub> | VOS  | SO <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> | PM <sub>2.5</sub> | B(a)P |
|-------------------|------|------|---------|-----------------|------------------|------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|
| CO                | 1.00 | 0.83 | 0.94    | 0.93            | 0.39             | 0.83 | 0.78            | -0.51           | 0.87              | 0.90  |
| Cd                |      | 1.00 | 0.82    | 0.85            | 0.29             | 0.70 | 0.69            | -0.51           | 0.75              | 0.64  |
| Benzeen           |      |      | 1.00    | 0.87            | 0.39             | 0.83 | 0.74            | -0.51           | 0.82              | 0.85  |
| NO <sub>x</sub>   |      |      |         | 1.00            | 0.47             | 0.83 | 0.87            | -0.47           | 0.92              | 0.81  |
| PM <sub>10</sub>  |      |      |         |                 | 1.00             | 0.56 | 0.51            | -0.02           | 0.65              | 0.37  |
| VOS               |      |      |         |                 |                  | 1.00 | 0.86            | -0.53           | 0.88              | 0.82  |
| SO <sub>2</sub>   |      |      |         |                 |                  |      | 1.00            | -0.50           | 0.91              | 0.80  |
| NH <sub>3</sub>   |      |      |         |                 |                  |      |                 | 1.00            | -0.48             | -0.49 |
| PM <sub>2.5</sub> |      |      |         |                 |                  |      |                 |                 | 1.00              | 0.81  |
| B(a)P             |      |      |         |                 |                  |      |                 |                 |                   | 1.00  |

Tabel 25: Spearman rank correlatie tussen de verschillende gemodelleerde jaargemiddelde concentraties voor de 1387 niet-rokende adolescenten. Alle correlaties waren hoog significant ( $p < 0.001$ ). De niet significante correlaties werden cursief gedrukt.

| Jaargemiddelde gemodelleerde concentratie | O <sub>3</sub> | NO <sub>2</sub> | Primair PM <sub>10</sub> | Primair PM <sub>2.5</sub> | Benzeen | Pb    | Cd    | B(a)P |
|---|----------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|---------|-------|-------|-------|
| O <sub>3</sub>                            | 1.00           | -0.95           | -0.27                    | -0.70                     | -0.73   | -0.35 | -0.35 | 0.30  |
| NO <sub>2</sub>                           |                | 1.00            | 0.22                     | 0.77                      | 0.73    | 0.37  | 0.43  | -0.22 |
| Primair PM <sub>10</sub>                  |                |                 | 1.00                     | 0.62                      | 0.33    | 0.41  | 0.21  | 0.24  |
| Primair PM <sub>2.5</sub>                 |                |                 |                          | 1.00                      | 0.69    | 0.56  | 0.50  | 0.16  |
| Benzeen                                   |                |                 |                          |                           | 1.00    | 0.39  | 0.30  | 0.22  |
| Pb  |                |                 |                          |                           |         | 1.00  | 0.66  | 0.07  |
| Cd  |                |                 |                          |                           |         |       | 1.00  | 0.02  |
| B(a)P                                     |                |                 |                          |                           |         |       |       | 1.00  |

Tabel 26: Spearman rank correlatie tussen de verschillende gemodelleerde 2-daagsgemiddelde concentraties voor de 1387 niet-rokende jongeren. Alle correlaties waren hoog significant ( $p < 0.001$ ).

| 2-daagsgemiddelde gemodelleerde concentraties | O <sub>3</sub> | NO <sub>2</sub> | Primair PM <sub>10</sub> | Primair PM <sub>2.5</sub> | Benzeen | Cd    | B(a)P |
|---|----------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|---------|-------|-------|
| O <sub>3</sub>                                | 1.00           | -0.14           | -0.76                    | -0.85                     | -0.80   | -0.20 | -0.80 |
| NO <sub>2</sub>                               |                | 1.00            | 0.23                     | 0.24                      | 0.27    | 0.19  | 0.15  |
| Primair PM <sub>10</sub>                      |                |                 | 1.00                     | 0.90                      | 0.83    | 0.32  | 0.84  |
| Primair PM <sub>2.5</sub>                     |                |                 |                          | 1.00                      | 0.90    | 0.42  | 0.84  |
| Benzeen                                       |                |                 |                          |                           | 1.00    | 0.39  | 0.81  |
| Cd  |                |                 |                          |                           |         | 1.00  | 0.17  |
| B(a)P   |                |                 |                          |                           |         |       | 1.00  |

Tabel 27: Spearman rank correlatie tussen de verschillende gemodelleerde 7-daagsgemiddelde concentraties voor de 1387 niet-rokende jongeren. Alle correlaties waren hoog significant ( $p < 0.001$ ).

| 7-daagsgemiddelde gemodelleerde concentraties | Primair PM <sub>10</sub> | Primair PM <sub>2.5</sub> | Benzeen | B(a)P |
|---|--------------------------|---------------------------|---------|-------|
| Primair PM <sub>10</sub>                      | 1.00                     | 0.90                      | 0.83    | 0.80  |
| Primair PM <sub>2.5</sub>                     |                          | 1.00                      | 0.91    | 0.84  |
| Benzeen                                       |                          |                           | 1.00    | 0.78  |
| B(a)P   |                          |                           |         | 1.00  |

## 5.3 Vergelijking gemodelleerde vs. gemeten luchtkwaliteit

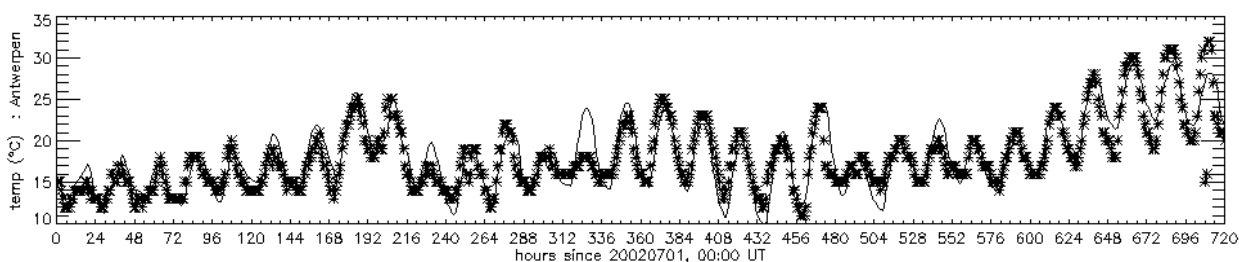
De modeloutput van meteorologische en berekende concentraties werden vergeleken met meteo-gegevens en luchtkwaliteitsgegevens van de VMM.

### 5.3.1 Afwijking van gemodelleerde vs. gemeten gegevens op basis van uurlijkse waarden

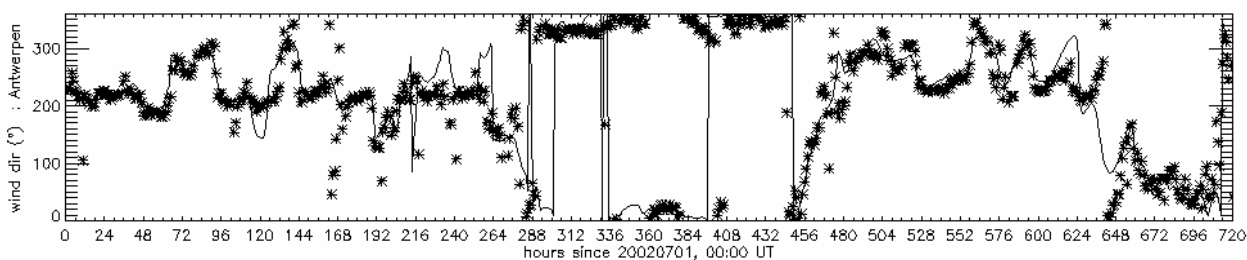
Voor de bepaling van de afwijking tussen gemodelleerde en werkelijk gemeten gegevens werden uurlijkse velden met elkaar vergeleken.

#### 5.3.1.1 Vergelijking gemodelleerde en gemeten meteogegevens

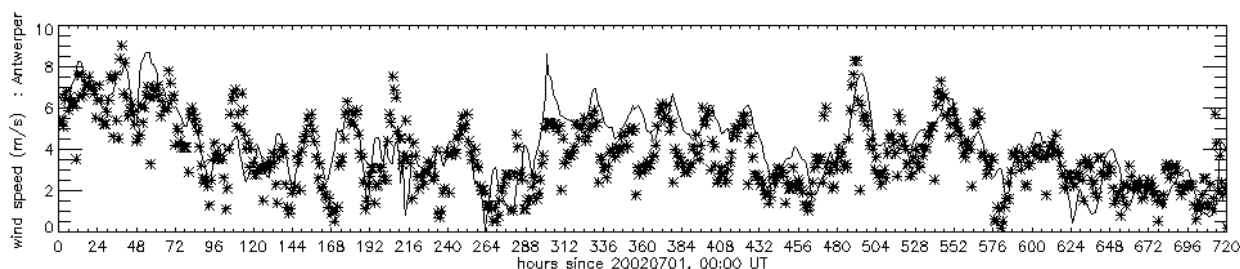
De validatie van de meteogegevens is een belangrijke stap in de modellering van de luchtkwaliteit wegens de dominerende rol van meteorologische variabiliteit op de uurlijkse en dagelijkse variaties in de gemeten luchtkwaliteit. De modelberekeningen van de meteoparameters luchttemperatuur, windsnelheid en windrichting werden vergeleken met gemeten waarden voor verschillende stations van de VMM. Onderstaande figuren (Figuur 48 tot en met Figuur 53) met tijdsreeksen voor de temperatuur, windrichting en windsnelheid nabij het aardoppervlak toonden een goede overeenkomst tussen de ARPS resultaten en de meetwaarden. Zowel de absolute waarden, de amplitude van de waarden en de frequentie van de curves waren gelijklopend.



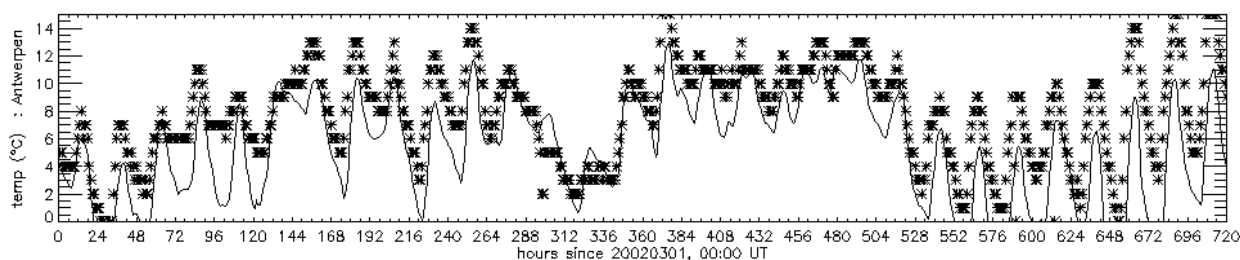
Figuur 48: Tijdsreeks van de uurlijkse temperatuur nabij het aardoppervlak voor de meetpost in Antwerpen (code T2M802, temperatuur op 8m hoogte) voor de maand juli 2002. De volle lijn stelt de modelresultaten voor, de meetwaarden zijn aangeduid met sterretjes.



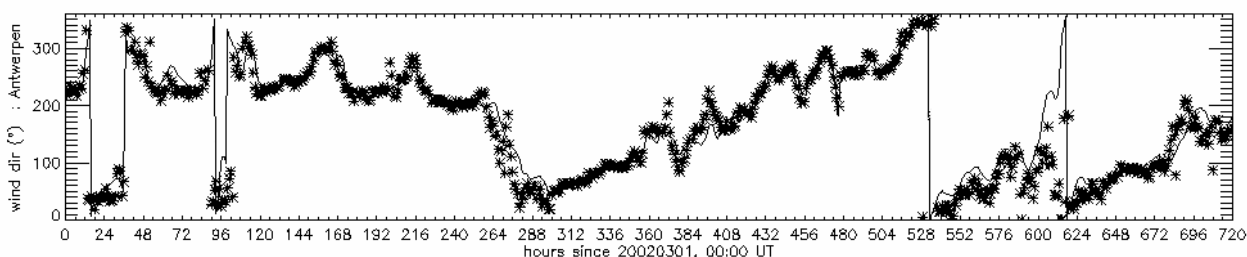
Figuur 49: Tijdsreeks van de uurlijkse windrichting nabij het aardoppervlak voor de meetpost in Antwerpen (code T2M802, gemeten op 30 m hoogte) voor de maand juli 2002. De volle lijn stelt de modelresultaten voor, de meetwaarden zijn aangeduid met sterretjes.



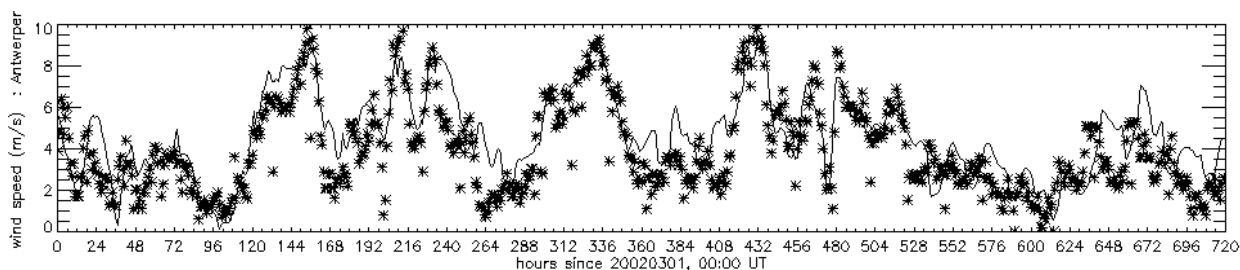
Figuur 50: Tijdsreeks van de uurlijkse windsnelheid nabij het aardoppervlak voor de meetpost in Antwerpen (code T2M802, gemeten op 30 m hoogte) voor de maand juli 2002. De volle lijn stelt de modelresultaten voor, de meetwaarden zijn aangeduid met sterretjes.



Figuur 51: Tijdsreeks van de uurlijkse temperatuur nabij het aardoppervlak voor de meetpost in Antwerpen (code T2M802, temperatuur op 8m hoogte) voor de maand maart 2002. De volle lijn stelt de modelresultaten voor, de meetwaarden zijn aangeduid met sterretjes.



Figuur 52: Tijdsreeks van de uurlijkse windrichting nabij het aardoppervlak voor de meetpost in Antwerpen (code T2M802, gemeten op 30 m hoogte) voor de maand maart 2002. De volle lijn stelt de modelresultaten voor, de meetwaarden zijn aangeduid met sterretjes.



Figuur 53: Tijdsreeks van de uurlijkse windsnelheid nabij het aardoppervlak voor de meetpost in Antwerpen (code T2M802, gemeten op 30 m hoogte) voor de maand maart 2002. De volle lijn stelt de modelresultaten voor, de meetwaarden zijn aangeduid met sterretjes.

Ook de luchttemperatuur, windsnelheid en windrichting van het model waren vergelijkbaar met de werkelijk gemeten waarden in de andere meetstations: Gent (T4M701), Ertvelde (TRM702), Roeselare (T4M705) en Zwijndrecht (T4H801). Ook voor de andere maanden was de overeenkomst tussen model en metingen meer dan behoorlijk. Een uitzondering hierop was april 2002, een maand die gekenmerkt werd door droogte. Hier was de gesimuleerde luchttemperatuur systematisch te laag. Vermoedelijk is dit te wijten aan het feit dat de hoeveelheid bodemvocht in de meteorologische module een constante is en dat deze voor de maand april 2002 op een te hoog niveau stond. De aanwezigheid van wolken was ook niet steeds correct in ARPS, soms gebeurt het dat er te veel, soms te weinig wolken worden gemodelleerd. Dit heeft een invloed op de hoeveelheid straling die het aardoppervlak bereikt, hetgeen dan weer een invloed heeft op de ozonchemie.

### 5.3.1.2 Vergelijking gemodelleerde en door VMM gemeten concentraties

De van VMM afkomstige uurlijkse meetgegevens van de pollutanten  $O_3$ ,  $NO_2$ , benzeen en  $PM_{10}$  werden vergeleken met de modelresultaten in uurlijkse tijdsreeksen. Daarnaast werden correlatiecoëfficiënten berekend op basis van daggemiddelden.

Daarnaast werd in het kader van dit project nog een aantal vergelijkingen gemaakt tussen gemodelleerde waarden en metingen met een mobiele meetwagen. De rapportering van deze resultaten is terug te vinden in VMM (2005)<sup>12</sup>.

#### Ozon en $NO_2$

Figuur 54 tot en met Figuur 57 tonen tijdsreeksen voor  $NO_2$  en  $O_3$  concentraties, telkens voor de meetstations Dessel (landelijk karakter) en Bergerhout (stedelijk karakter), en dit voor de maanden maart 2002 en juli 2002. In deze figuren zijn telkens de modelresultaten voor de 20-km en 4-km simulaties opgenomen.

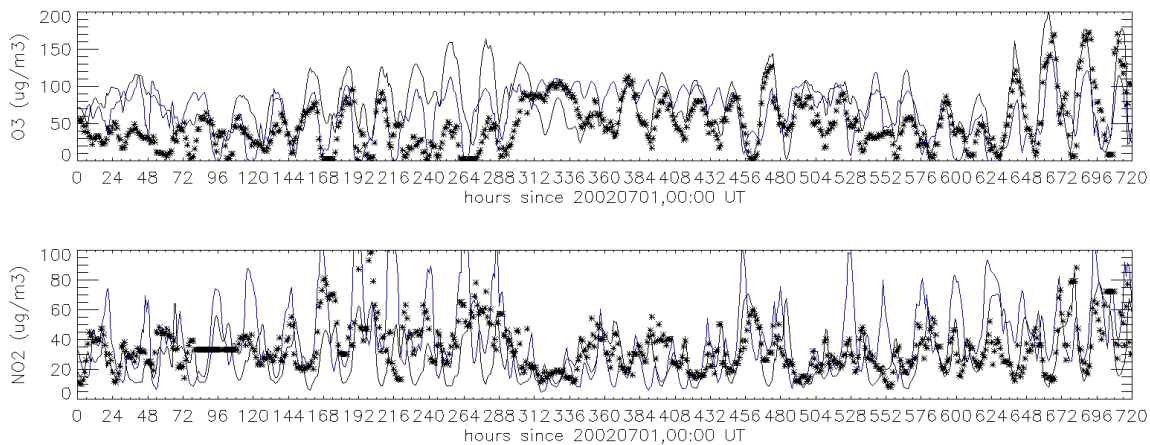
Figuur 58 toont de  $O_3$  concentraties opgemeten in Dessel tijdens de ozonepisode in de zomer van 2003, en Figuur 59 toont deze voor november-december 2003.

Algemeen gesteld zijn de model- en meetresultaten in redelijk goede overeenstemming: de amplitude en frequentie volgen meestal dezelfde dagelijkse cyclus. Opvallend is dat voor ozon in sommige gevallen de 20km simulaties betere resultaten opleveren dan de 4km simulaties. Dit fenomeen werd ook bij andere internationale modelgroepen vastgesteld (Friese et al., 2002). In het

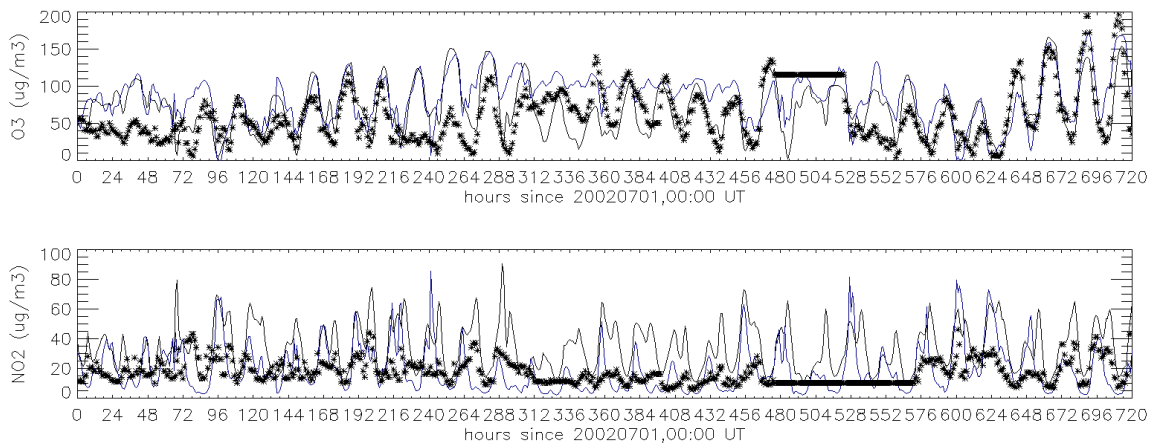
<sup>12</sup> De meetgegevens van de mobiele meetwagen in Knesselare en Zwalm (2 locaties uit het aandachtsgebied "landelijk gebied") leren dat in het VMM achtergrondstation Houtem gelijkaardige of lagere waarden worden gemeten. Ook in het voorstedelijk meetstation Hasselt worden waarden gemeten die zeer dicht aanleunen bij de waarden in Knesselare/Zwalm (VMM, 2005).

geval van  $\text{NO}_2$  is de 4km simulatie overwegend beter dan de 20km. Dit is te verklaren wegens het lokaal karakter van de  $\text{NO}_x$  emissies. Opvallend is ook dat de gemodelleerde  $\text{NO}_2$ -concentraties in het landelijk gelegen Dessel lager liggen dan de gemeten waarden en ook een sterke dagelijkse cyclus bevatten. Dit is een typisch resolutieprobleem tijdens de vergelijking van een roostermodel met data van een meetstation. Het VMM meetstation in Dessel ligt vlak naast een kanaal en kan moeilijk als representatief voor de ganse 4-km resolutie rooster cel worden beschouwd. In de modelrooster cel zijn verkeersemissies aanwezig met een sterke dagelijkse cyclus. De minimale - meer regionale- waarden komen wel goed overeen.

Figuur 58 toont aan dat AURORA in staat is om de hoge  $\text{O}_3$  concentraties opgemeten tijdens de maand augustus 2003 te reproduceren. In sommige gevallen (zoals voor de periode november – december 2003, Figuur 59) geeft AURORA soms te hoge concentraties, dit is te wijten aan het niet-correct simuleren van wolkenparameters door de meteorologische module ARPS (zoals reeds aangestipt in sectie 5.2.2)

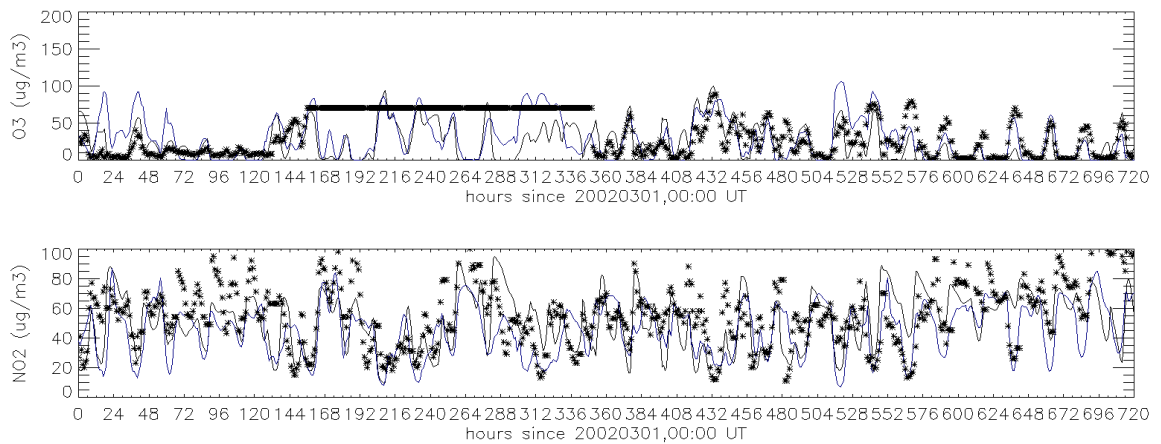


**Figuur 54:** Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor  $\text{O}_3$  (bovenste panel) en  $\text{NO}_2$  (onderste panel) voor Borgerhout, voor de maand juli 2002. De zwarte en blauwe curves corresponderen met de 20 km en 4km simulaties, respectievelijk. De VMM data zijn voorgesteld met sterretjes.

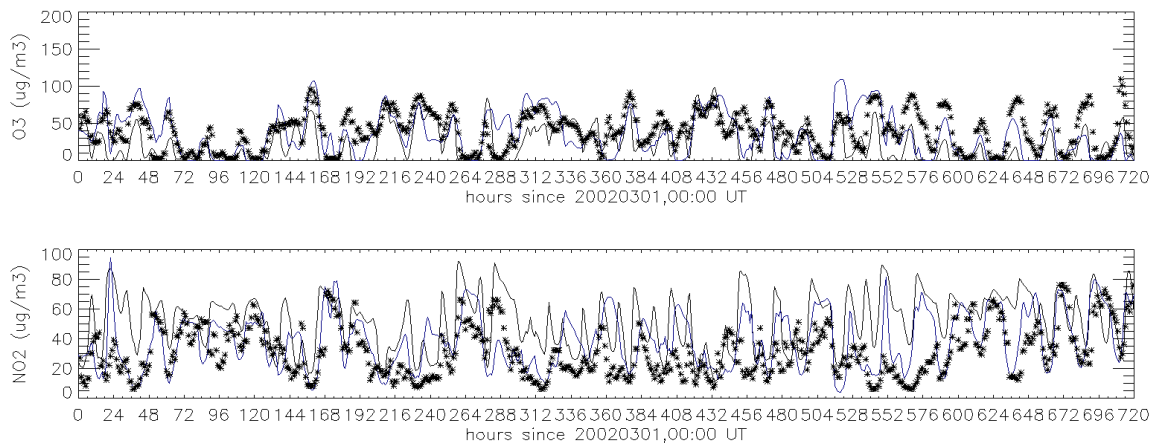


**Figuur 55:** Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor  $\text{O}_3$  (bovenste panel) en  $\text{NO}_2$  (onderste panel) voor Dessel, voor de maand juli 2002. De zwarte en blauwe curves corresponderen met de 20 km en 4km simulaties, respectievelijk. De VMM data zijn voorgesteld met sterretjes. De horizontale lijn in de metingen (constante waarde voor bepaalde tijdsperiode) duidt er op dat voor die tijdsperiode geen meetgegevens beschikbaar zijn. Deze ontbrekende waarden zijn NIET meegenomen in de statistische analyse (zie hoofdstuk 5.3.2).

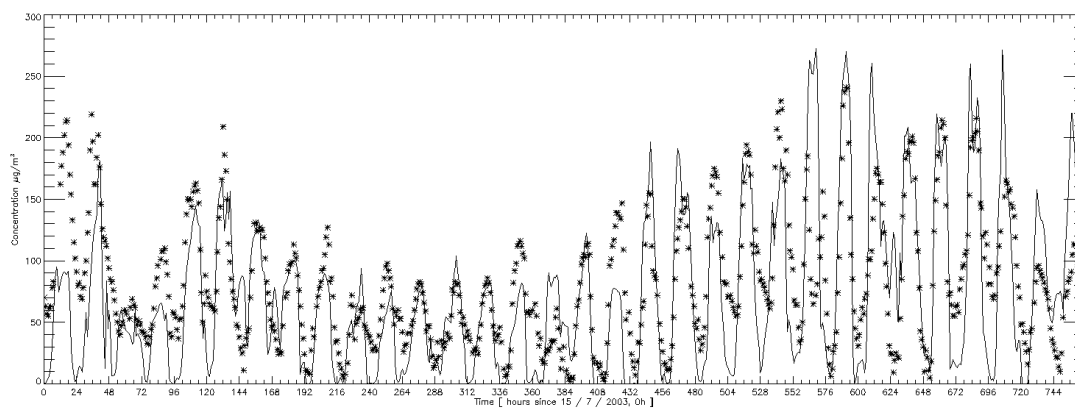




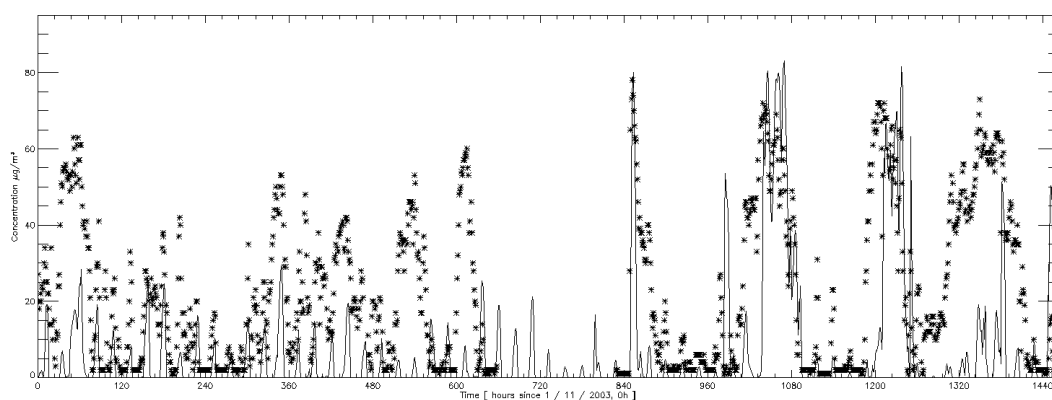
*Figuur 56: Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor O<sub>3</sub> (bovenste panel) en NO<sub>2</sub> (onderste panel) voor Borgerhout, voor de maand maart 2002. De zwarte en blauwe curves corresponderen met de 20 km en 4km simulaties, respectievelijk. De VMM data zijn voorgesteld met sterretjes. Meetwaarden hoger dan 100 µg/m<sup>3</sup> werden verlaagd tot 100 µg/m<sup>3</sup> (einde grafiek NO<sub>2</sub>). De horizontale lijn in de metingen (constante waarde voor bepaalde tijdsperiode) duidt er op dat voor die tijdsperiode geen meetgegevens beschikbaar zijn. Deze ontbrekende waarden zijn NIET meegenomen in de statistische analyse (zie hoofdstuk 5.3.2).*



*Figuur 57: Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor O<sub>3</sub> (bovenste panel) en NO<sub>2</sub> (onderste panel) voor Dessel, voor de maand maart 2002. De zwarte en blauwe curves corresponderen met de 20 km en 4km simulaties, respectievelijk. De VMM data zijn voorgesteld met sterretjes.*



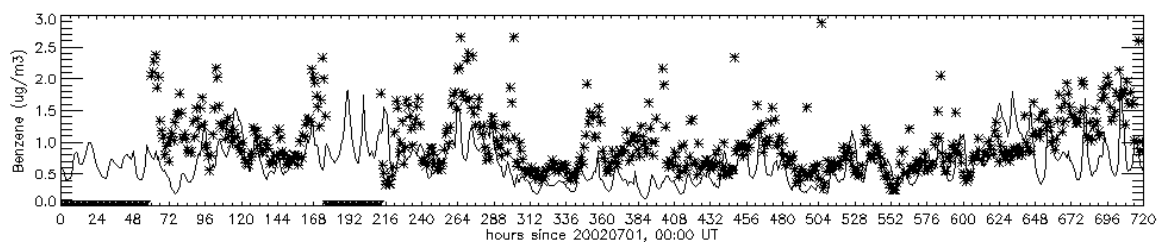
*Figuur 58: Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor O<sub>3</sub> voor Dessel, voor de periode 15/07/2003 – 15/08/2003. De VMM data zijn voorgesteld met sterretjes.*



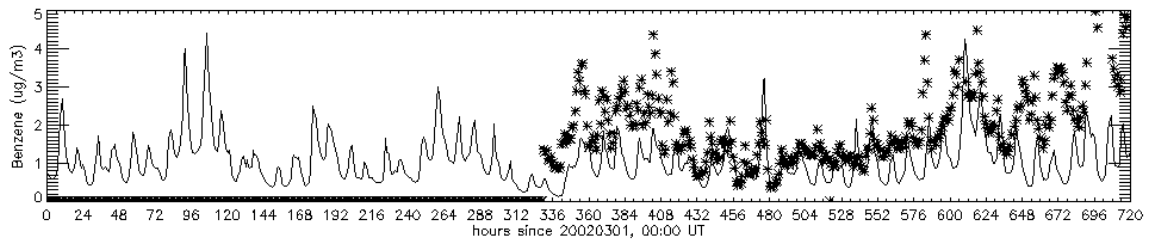
*Figuur 59: Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor O<sub>3</sub> voor Dessel, voor de periode 01/11/2003 – 31/12/2003. De VMM data zijn voorgesteld met sterretjes.*

### Benzeen

Voor de pollutie benzeen is de overeenstemming tussen model en de meetwaarden heel goed. Het model is in staat de dagelijkse variaties goed voor te stellen.



*Figuur 60: Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor benzeen voor Bergerhout, voor de maand juli 2002. De zwarte curve correspondeert met de 4km simulatie, de VMM data zijn voorgesteld met sterretjes. De horizontale lijn in de metingen (constante waarde voor bepaalde tijdsperiode) duidt er op dat voor die tijdsperiode geen meetgegevens beschikbaar zijn.*

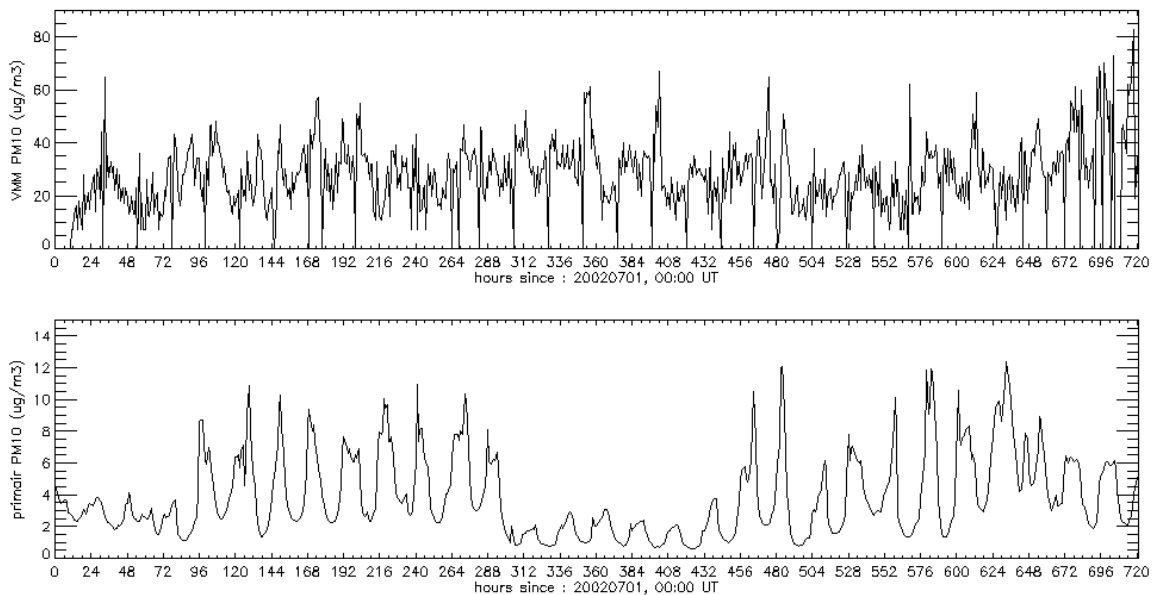


*Figuur 61: Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor benzeen voor Borgerhout, voor de maand maart 2002. De zwarte curve correspondeert met de 4km simulatie, de VMM data zijn voorgesteld met sterretjes. De horizontale lijn in de metingen (constante waarde voor bepaalde tijdsperiode) duidt er op dat voor die tijdsperiode geen meetgegevens beschikbaar zijn.*

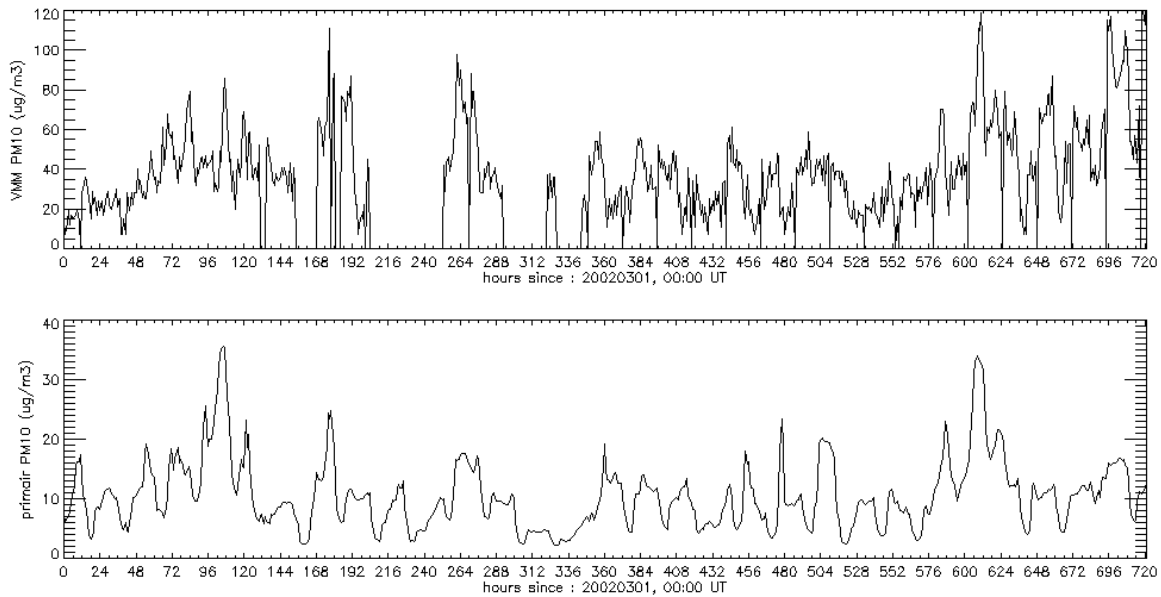
### Primair stof

Vergelijking van de gemeten (primair en secundair) en gemodelleerde (enkel primair) PM<sub>10</sub>-waarden leert dat ongeveer 20 a 33% van de gemeten totale PM<sub>10</sub>-concentraties verklaard kan worden door de primaire PM<sub>10</sub>-bijdrage.

Tijdens de maand juli zijn de gesimuleerde primaire PM<sub>10</sub> waarden veel lager voor de periodes 1-3/7 en 14-18/7, deze periodes worden gekenmerkt door hogere windsnelheden (Figuur 62). Ook voor benzeen werden lagere concentraties gesimuleerd en gemeten voor deze periodes. De gemeten PM<sub>10</sub>-waarden zijn niet merkbaar lager in deze periodes, dit kan te maken hebben met het feit dat vb. er meer opwaaiend stof is voor deze periodes met hogere windsnelheid. De emissie van stof door stofopwaai wordt momenteel niet expliciet berekend op basis van de berekende windvelden. Dit is momenteel een actueel onderzoekstopic.



*Figuur 62: Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor PM<sub>10</sub> voor Borgerhout, voor de maand juli 2002. De bovenste curve is de gemeten totale PM<sub>10</sub> concentraties, de onderste curve de gesimuleerde primaire PM<sub>10</sub>-concentraties. Gemiddeld over de ganse maand bedraagt het aandeel van de gesimuleerde PM<sub>10</sub>-concentraties ongeveer 20%. De nulwaarden in de gemeten PM<sub>10</sub>-waarden duiden op ontbrekende meetwaarden.*



*Figuur 63: Tijdsreeksen van uurlijkse waarden voor  $PM_{10}$  voor Borgerhout, voor de maand maart 2002. De bovenste curve is de gemeten totale  $PM_{10}$ -concentraties, de onderste curve de gesimuleerde primaire  $PM_{10}$ -concentraties. Gemiddeld over de ganse maand bedraagt het aandeel van de gesimuleerde  $PM_{10}$ -concentraties ongeveer 33%. De nulwaarden in de gemeten  $PM_{10}$ -waarden duiden op ontbrekende meetwaarden.*

### 5.3.2 Correlatie tussen gemodelleerde en gemeten gegevens op basis van daggemiddelden

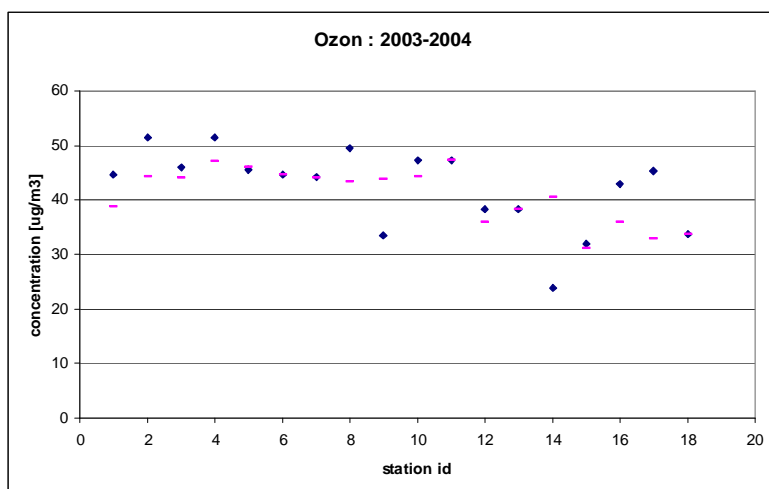
Onderstaande figuren (Figuur 64 - Figuur 68) tonen gemiddelde concentratiewaarden voor de periode juli 2003 – juni 2004 voor verschillende pollutanten, en dit voor de beschikbare VMM meetstations.

In het geval van representatieve meetstations wordt ook de Pearson correlatiecoëfficiënt berekend. Hierbij werd rekening gehouden met ontbrekende waarden in de meetgegevens.

#### **Ozon**

Figuur 64 toont dat algemeen genomen de overeenkomst tussen de berekende en gemeten ozonconcentraties behoorlijk tot goed is. De te lage gemodelleerde  $O_3$ -concentraties voor St-Denijs en St-Kruis-Winkel zijn te wijten aan de zeer hoge  $NO_2$ -concentraties die voor deze stations gemodelleerd worden. De correlatiecoëfficiënt is voor de meeste stations  $> 0.80$ , deze waarden liggen in dezelfde lijn als resultaten van het Chimere model zoals gerapporteerd in Schmidt *et al.* (2001).

| Nr | Naam             | Pearson Corr. |
|----|------------------|---------------|
| 1  | Roeselare        | 0.85          |
| 2  | Moerkerke        | 0.71          |
| 3  | Dessel           | 0.82          |
| 4  | Houtem           | 0.84          |
| 5  | Aarschot         | 0.83          |
| 6  | St-Pieters-Leeuw | 0.81          |
| 7  | Hasselt          | 0.79          |
| 8  | Gellik           | 0.79          |
| 9  | St-Denijs        | 0.87          |
| 10 | Idegem           | 0.80          |
| 11 | Walshoutem       | 0.83          |
| 12 | Gent             | 0.87          |
| 13 | Destelbergen     | 0.83          |
| 14 | St-Kruis-Winkel  | 0.82          |
| 15 | Borgerhout       | 0.87          |
| 16 | Schoten          | 0.84          |
| 17 | Berendrecht      | 0.84          |
| 18 | Mechelen         | 0.77          |

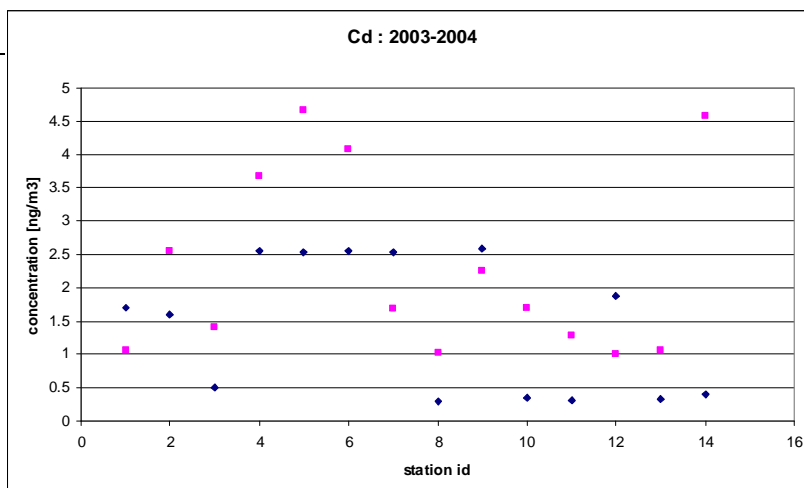


*Figuur 64: Rechts : Gemiddelde O<sub>3</sub>-concentratie over de periode juli 2003 – juni 2004 voor verschillende VMM meetstations, VMM meetwaarden zijn met roze balkjes, AURORA modelresultaten met blauwe vierkantjes weergegeven. Links : index van de VMM stations, met de Pearson correlatiecoëfficiënt (o.b. van. daggemiddelde concentraties) tussen de VMM metingen en de AURORA modelresultaten.*

## Cadmium

*Figuur 65* vergelijkt de gemodelleerde en gemeten Cd-concentraties voor een aantal stations. Er is een grote variatie in de gemeten concentraties, in de gemodelleerde concentraties in mindere mate. We merken hierbij op dat er 2, 4 meetpunten zijn voor Beerse, Hoboken, respectievelijk. Terwijl de gemodelleerde concentraties voor deze sites dezelfde zijn (gegeven dat ze in hetzelfde 4-km roosterpunt gelegen zijn), is er een grote variatie in de VMM meetresultaten. Dit duidt op de beperktheid van de concentratievelden op een resolutie van 4-km die geen fijner ruimtelijk detail toelaten. Meer over de representativiteit van meetstations en de beperktheden van de 4-km resolutie modelresultaten op het einde van deze sectie.

| Nr | Naam       | Pearson Corr. |
|----|------------|---------------|
| 1  | Beerse     | 0.23          |
| 2  | Beerse     | 0.37          |
| 3  | Genk       | < DL          |
| 4  | Hoboken    | 0.12          |
| 5  | Hoboken    | 0.29          |
| 6  | Hoboken    | < DL          |
| 7  | Hoboken    | < DL          |
| 8  | Mechelen   | < DL          |
| 9  | Kruikebeke | 0.46          |
| 10 | Olen       | < DL          |
| 11 | Overpelt   | < DL          |
| 12 | Zelzate    | 0.49          |
| 13 | Borgerhout | < DL          |
| 14 | Lommel     | < DL          |

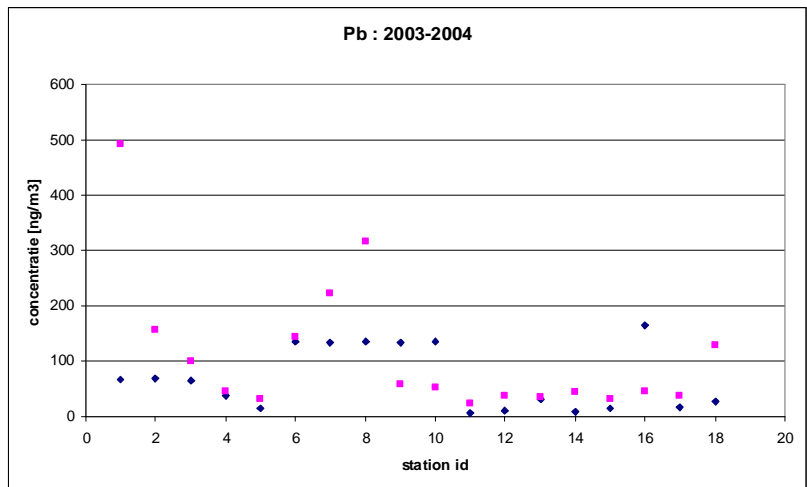


*Figuur 65: Rechts : Gemiddelde Cd-concentratie over de periode juli 2003 – juni 2004 voor verschillende VMM meetstations, VMM meetwaarden zijn met roze balkjes, AURORA modelresultaten met blauwe vierkantjes weergegeven. Links : index van de VMM stations, met de Pearson correlatiecoëfficiënt (o.b. van daggemiddelde concentraties) tussen de VMM metingen en de AURORA modelresultaten. Aanduiding “< DL” duidt erop dat groot deel van de meetwaarden beneden de detectielimiet van 2 ng/m<sup>3</sup> waren waardoor geen correlatiecoëfficiënt kon berekend worden. In VMM data wordt bij meetwaarde < DL, de gemeten waarde vervangen door de helft van de detectielimiet.*

## Lood

*Figuur 66* vergelijkt de gemodelleerde en gemeten Pb-concentraties voor een aantal stations. Evenals bij de Cd-resultaten is er een grote variatie in de VMM meetresultaten voor de verschillende meetpunten in Beerse en Hoboken, terwijl deze variatie niet wordt gereproduceerd door het AURORA-model. Dit duidt op de beperktheid van de concentratievelden op een resolutie van 4-km die geen fijner ruimtelijk detail toelaten. Voor de meetlocaties Genk/Beerse en Lommel worden negatieve correlatiecoëfficiënten gevonden. De verklaring hiervoor is waarschijnlijk de onzekerheid in de emissievelden. Voor zowel Lood, Cadmium en Benzo-a-pyreen zijn de Vlaamse emissiegegevens bekomen door het downscalen van grootschalige 50 op 50 km resolutie emissievelden om aan de randen van Vlaanderen geen discontinuïteiten te hebben (zie *Figuur 9*). In het oosten van Vlaanderen (omgeving Lommel/Genk) is het verschil tussen de gedownscalde (en gebruikte) emissievelden en de emissievelden op basis van de VMM-emissiegegevens. Het gebruik van deze aanpak kan er ook voor zorgen dat er een dislocatie wordt veroorzaakt tussen meetstations dicht bij emissie hotspots en de gebruikte emissievelden waardoor ‘in het model’ een meetpost bijv. niet meer juist georiënteerd is ten opzichte van het ruimtelijk emissiepatroon. Dit kan een verklaring zijn voor de negatieve correlatie in het meetstation Beerse (index 2, op *Figuur 66*).

| Nr | Naam         | Pearson Corr.      |
|----|--------------|--------------------|
| 1  | Beerse       | 0.08               |
| 2  | Beerse       | -0.47              |
| 3  | Beerse       | 0.52               |
| 4  | Genk         | -0.46              |
| 5  | Gent         | 0.05               |
| 6  | Hoboken      | 0.02               |
| 7  | Hoboken      | 0.19               |
| 8  | Hoboken      | 0.18               |
| 9  | Hoboken      | 0.44               |
| 10 | Kruibeke     | 0.25               |
| 11 | Knokke-Heist | 0.82 <sup>13</sup> |
| 12 | Mechelen     | 0.51               |
| 13 | Hasselt      | 0.19               |
| 14 | Olen         | 0.34               |
| 15 | Overpelt     | 0.51               |
| 16 | Zelzate      | 0.72               |
| 17 | Borgerhout   | 0.59               |
| 18 | Lommel       | -0.14              |



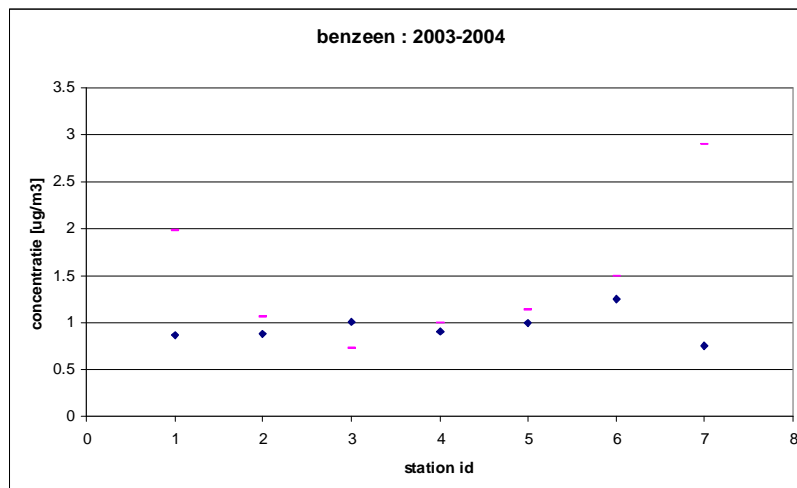
Figuur 66: Rechts : Gemiddelde Pb-concentratie over de periode juli 2003 – juni 2004 voor verschillende VMM meetstations, VMM meetwaarden zijn met roze balkjes, AURORA modelresultaten met blauwe vierkantjes weergegeven. Links : index van de VMM stations, met de Pearson correlatiecoëfficiënt (o.b. van daggemiddelde concentraties) tussen de VMM metingen en de AURORA modelresultaten.

## Benzeen

Figuur 67 vergelijkt de modelresultaten met metingen voor de pollutant benzeen. De ruimtelijke variatie wordt goed weergegeven door het model. De gemeten waarden voor de meetposten Laakdal en Zelzate zijn aan de hoge kant, deze hoge waarden worden niet door het model gereproduceerd. De hoge meetwaarden in Laakdal is te wijten aan de ligging van het station: windafwaarts van BP en de autosnelweg E313. De hoge gemeten waarden in Zelzate worden vermoedelijk veroorzaakt door accidentele lozingen van VFT, een bedrijf in de nabijheid.

<sup>13</sup> Detectielimiet voor Pb in zwevend stof metingen in 2003 door de VMM bedroeg meestal 26 ng/m<sup>3</sup>, uitgezonderd voor Knokke-Heist en Borgerhout waar DL = 6 ng/m<sup>3</sup>.

| Nr | Naam       | Pearson Corr. |
|----|------------|---------------|
| 1  | Laakdal    | -0.04         |
| 2  | Geel       | 0.74          |
| 3  | Mechelen   | -0.17         |
| 4  | Hasselt    | 0.82          |
| 5  | Gent       | 0.89          |
| 6  | Borgerhout | 0.85          |
| 7  | Zelzate    | 0.08          |

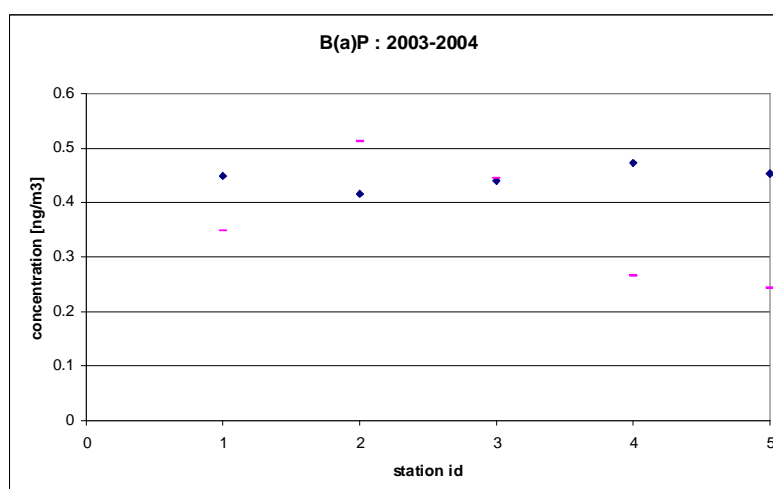


Figuur 67: Rechts : Gemiddelde benzeenconcentratie over de periode juli 2003 – juni 2004 voor verschillende VMM meetstations, VMM meetwaarden zijn met roze balkjes, AURORA modelresultaten met blauwe vierkantjes weergegeven. Links : index van de VMM stations, met de Pearson correlatiecoëfficiënt (o.b. van daggemiddelde concentraties) tussen de VMM metingen en de AURORA modelresultaten.

### Benzo(a)pyreen

Figuur 68 vergelijkt de modelresultaten met metingen voor de pollutant B(a)P.

| Nr | Naam           | Pearson corr. |
|----|----------------|---------------|
| 1  | Aarschot       | 0.91          |
| 2  | Zelzate        | 0.65          |
| 3  | Borgerhout     | 0.79          |
| 4  | Zaventem       | 0.55          |
| 5  | Steenokkerzeel | 0.66          |



Figuur 68: Rechts : Gemiddelde benzeenconcentratie over de periode juli 2003 – juni 2004 voor verschillende VMM meetstations, VMM meetwaarden zijn met roze balkjes, AURORA-



*modelresultaten met blauwe vierkantjes weergegeven. Links : index van de VMM stations, met de Pearson correlatiecoëfficiënt (o.b. van daggemiddelde concentraties) tussen de VMM metingen en de AURORA modelresultaten.*

De correlatiecoëfficiënt is heel goed wat wijst op een goed gesimuleerde evolutie in de tijd met de belangrijke zomer-winter verschillen. Bijna 2/3 van de benzo-a-pyreen emissies worden door de sector bevolking geïmiteerd en deze emissies zijn in het model in de tijd verdeeld via de parameter graaddagen zodat in de winter de hoogste emissies (en concentraties) plaatsvinden. De onzekerheid op de ruimtelijke spreiding is hoger. Benzo-a-pyreen is een pollutant die nog niet gebruikelijk wordt gemodelleerd (Lefebvre e.a., 2006) en waarvan de emissievelden met grote onzekerheden zijn verbonden. Dit in acht genomen is de afwijking op de gemodelleerde waarden niet groot. Lokale effecten en het gebruikte downscalings-algoritme kunnen ook deel van de verschillen verklaren. Verder onderzoek zou dit moeten uitwijzen maar hiervoor was in dit project geen ruimte.

### **5.3.3 Besluit van de concentratieberekeningen**

In het kader van dit project is het AURORA-luchtkwaliteitsmodel toegepast over Vlaanderen voor het ganse jaar 2002, de tweede helft van 2003 en de eerste helft van 2004. Het AURORA-model bestaat uit 2 componenten: een regionale component met variabele resolutie en een straatmodule voor stedelijke omgevingen, in deze studie werd enkel de regionale component gebruikt.

Voor de start van het project was het model nog niet gebruikt voor periodes langer dan enkele weken. Daarom was het noodzakelijk het gebruik van het model te automatiseren. Om de rekentijd te reduceren werd het model ook aangepast voor een migratie van een Windows-omgeving naar een Linux-computeromgeving. Hierdoor kon 50% sneller doorgerekend worden. Het AURORA-model berekent concentratievelden op 12,5 meter boven het aardoppervlak voor elk uur van de simulatieperiode op een resolutie van 4 km.

Na toepassing van het model zijn specifieke postprocessing tools ontwikkeld voor de berekening van persoonsgebonden gemiddelde concentraties. Hierbij hielden we rekening met de thuis –en schoollocaties en een tijdsverdeling tussen beide. De uitmiddellingsperiode is pollutantafhankelijk, gaande van 2 dagen tot een gans jaar voor respectievelijk benzeenblootstelling en astma-aanwezigheid. Hierbij dient natuurlijk nog altijd de kanttekening gemaakt dat een resolutie van 4km beperkingen oplegt. Hele sterke lokale gradiënten in de buurt van industriële hotspots en belangrijke verkeersaders worden niet berekend maar zijn wel “zichtbaar” in de concentratievelden (zie *Figuur 35* en *Figuur 36*).

We evalueerden de berekende concentratievelden door vergelijking met meetwaarden van de VMM. Meetwaarden hebben het voordeel een continue tijdsreeks aan data op te leveren. Belangrijk nadeel van meetwaarden is hun beperkte ruimtelijke representativiteit, dit maakt de vergelijking van beide moeilijk. De lood- en cadmium VMM meetnetten zijn historisch gegroeid voor een monitoring van de industriële hotspots in o.a. Hoboken en Beerse. Hierdoor is de verdeling van de meetstations heel onregelmatig in Vlaanderen. Modelleren daarentegen levert gebiedsbedekkende continue concentratievelden op, maar kampt met problemen zoals het vinden van goede emissiegegevens. Niet alle emissies zijn gekend (diffuse emissies, ongekende bronnen), de karakterisatie van de emissies is met grote onzekerheden verbonden en in het geval van pollutanten met lange atmosferische residentietijden (fijn stof, benzeen, benzo-a-pyreen, ...) is de kennis van de emissies uit de omliggende regio's bepalend voor een goede simulatie. Zeker voor Vlaanderen met de nabij geleiden sterk geïndustrialiseerde regio's Noord-Frankrijk, Maas-Samber vallei, Ruhrgebied. Om dit probleem te verminderen bij de cadmium, lood en benzo-a-pyreenberekeningen is een tool ontwikkeld om de 50-km resolutie basis emissiegegevens van de buurlanden met behulp van CORINE-landgebruikgegevens te brengen op de resolutie van het model, tzt. 4 km. Dit heeft een aanzienlijke verbetering teweeggebracht. Nadeel van deze aanpak is wel dat om discontinuïteitsproblemen te vermijden aan de randen van Vlaanderen, de emissies in Vlaanderen van Cd, Pb en B(a)P ook op deze manier zijn berekend en dat geen gebruik is gemaakt van de EIL-emissiegegevens waardoor er een fout kan ontstaan in de exacte locatie van de emissies. Dit vermoeilijkt de vergelijking van de berekende concentraties met meetwaarden omdat deel van de meetstations specifiek werden gelokaliseerd om industriële hotspots te bemonitoren.

Voor de vergelijking tussen model en meetwaarden is voor elk meetstation voor de periode 2003-2004 de afwijking en correlatiecoëfficiënt tussen de gemeten en gemodelleerde uurlijkse tijdsreeks berekend.

Een algemene vaststelling is dat over het algemeen de gemodelleerde concentraties in goede overeenkomst zijn met de gemeten waarden. De gemodelleerde waarden vertonen minder geografische verschillen dan de gemeten waarden. De gemodelleerde waarden zijn representatief voor een roostercel van 4 op 4 km, zijnde 16 km<sup>2</sup>. De gemeten waarden daarentegen zijn lokale metingen, die beïnvloed kunnen zijn door micro-situaties van zo'n groot detail dat ze niet meegenomen worden in de modelberekeningen. Dit is een beperktheid van modellen zoals AURORA, hierover werd reeds gerapporteerd in publicaties zoals Hurley *et al.* (2003) en Schmidt *et al.* (2001).

Het AURORA model is in staat variaties in tijd en ruimte over geheel Vlaanderen redelijk goed voor te stellen. Tijdens de vergelijking van de modelwaarden met lokale meetgegevens moet evenwel rekening worden gehouden met de beperking in resolutie. Lokale omstandigheden kunnen ervoor zorgen dat scherpe gradiënten optreden die zonder verdere verfijning van de modeloutput niet kunnen worden voorgesteld.

Indien een ranking wordt opgesteld welke gemodelleerde concentraties het best in overeenstemming waren met de meetstationgegevens, dan is dit met enig voorbehoud als volgt (van goed naar minder goed): ozon ~NO<sub>2</sub> ~ benzeen > benzo(a)pyreen ~ lood ~ cadmium

## 5.4 Correlatie milieugegevens vs. biomerkmeteringen

Voor het berekenen van correlatie tussen milieu- en biomerkergegevens werd gebruik gemaakt van lineaire regressiemodellen met de milieudata (en 'host factors', levensstijlfactoren, voeding,...) als verklarende gegevens vs. de biomerkmetering als uitkomstvariabele. Volgende biomerkmeteringen waren niet normaal verdeeld, en worden derhalve logaritmisch getransformeerd (ln-transformatie): lood en cadmium in bloed, cadmium, tt-muconzuur en 1-OH pyreen in urine, en benzeengehalte gemeten op de dosimeter.

Er werden twee typen associaties nagegaan: (i) tussen één pollutant vs. de gehalten ervan gemeten in bloed of urine, (ii) van meerdere pollutanten vs. een integrerende biemerker van blootstelling of effect.

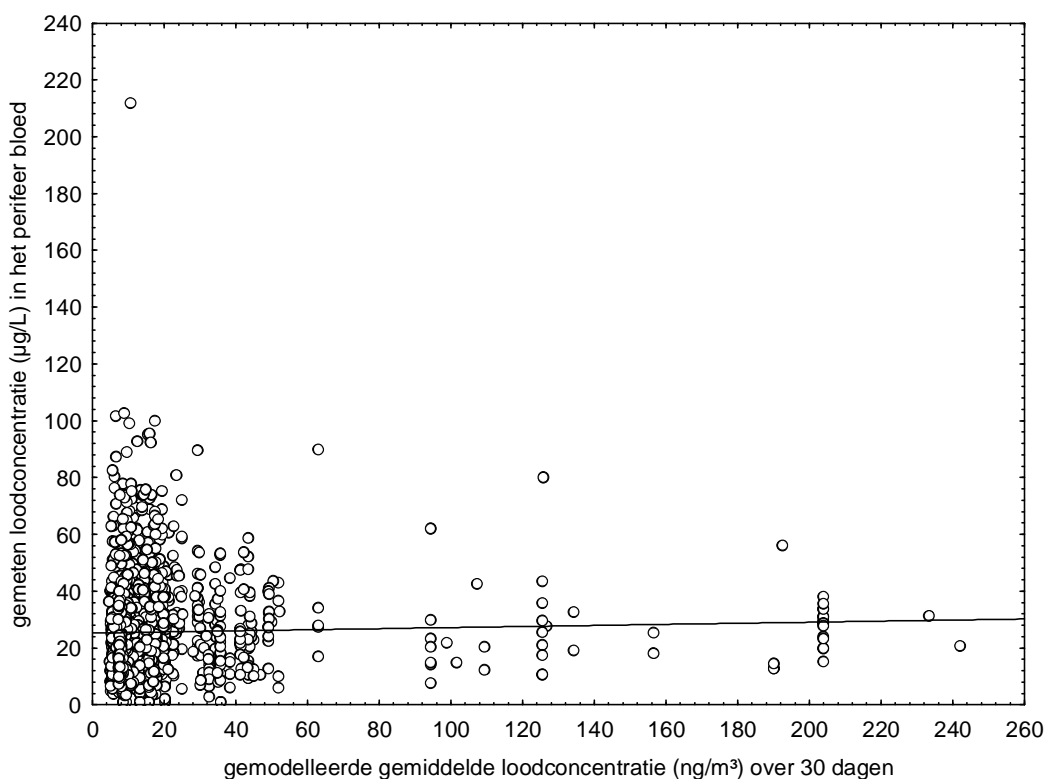
### 5.4.1 Correlatie tussen gemodelleerde concentraties van één pollutant en het gehalte gemeten in bloed of urine van jongeren

In wat volgt, werden associaties nagegaan tussen gemodelleerde concentratie van één bepaalde pollutant vs. de meting van de stof of een metaboliet in bloed of urine. Bij een beperkte groep jongeren kon ook de associatie onderzocht worden tussen gemodelleerde waarden en persoonlijke dosimetrie van benzeen.

#### *Gemodelleerde loodconcentratie vs. lood in bloed*

In geval van lood werden alle jongeren mee opgenomen bij de correlatieberekeningen (N= 1581), gezien roken geen duidelijke bron is van loodblootstelling. Eén jongere werd uitgesloten uit de analyse gezien een erg hoge bloedloodwaarde van 120 µg/L.

Lood in het bloed was licht gecorreleerd met gemodelleerde loodconcentratie voor de periode van 30 dagen voorafgaand aan het onderzoek ( $r= 0.06$ ,  $p=0.026$ , Figuur 69). Via enkelvoudige regressie werden ook andere parameters getest welke een invloed kunnen hebben op het gehalte lood in het bloed van deze 14-15 jarigen (parameters aangeduid in Tabel 28). Significante invloedsparameters voor de bloedloodwaarden waren leeftijd ( $r=0.07$ ,  $p<0.01$ ), geslacht (loodwaarden hoger bij jongens,  $r=0.24$ ,  $p<0.001$ ), BMI ( $r=0.07$ ,  $p<0.01$ ) en consumptie van lokaal vlees ( $r= 0.07$ ,  $p<0.01$ ).



Figuur 69: Scatterplot van gemodelleerde gemiddelde loodconcentraties (ng/m<sup>3</sup>) in de lucht over 30 dagen voorafgaand aan het onderzoek vs. gemeten loodconcentraties in het perifeer bloed van 1581 jongeren.

Alle significante gemodelleerde concentraties en invloedsparameters werden samen in één meervoudig regressiemodel gebracht. De parameters die overbleven zijn opgenomen in Tabel 28. Indien alle factoren in rekening gebracht worden, dan blijft er een significant verband tussen de gemodelleerde loodconcentratie en het gehalte in het bloed van de jongeren. Echter, niet de luchtconcentratie, maar wel het geslacht van de jongeren was de sterkst bepalende factor ( $r^2=0.056$ ,  $p<0.001$ ) voor de bloedloodconcentratie (jongens gemiddeld 34.5% hogere waarden dan meisjes). Wilhelm et al. (2005) rapporteerde eveneens een associatie tussen Pb gehalten in de lucht (berekening met Lagrange dispersiemodel dat gebruik maakt van luchtkwaliteitsmetingen) en bloed-Pb gehalten bij 238 Duitse kinderen tussen 5.5 en 7.7 jaar oud.

Tabel 28: Verklarende parameters voor bloedloodgehalte van 1581 jongeren. De parameters die in het forward stepwise regressiemodel werden gebracht waren: leeftijd, geslacht, BMI, consumptie van lokaal vlees en de 30-dagen gemiddelde gemodelleerde loodconcentratie van elke deelnemer.

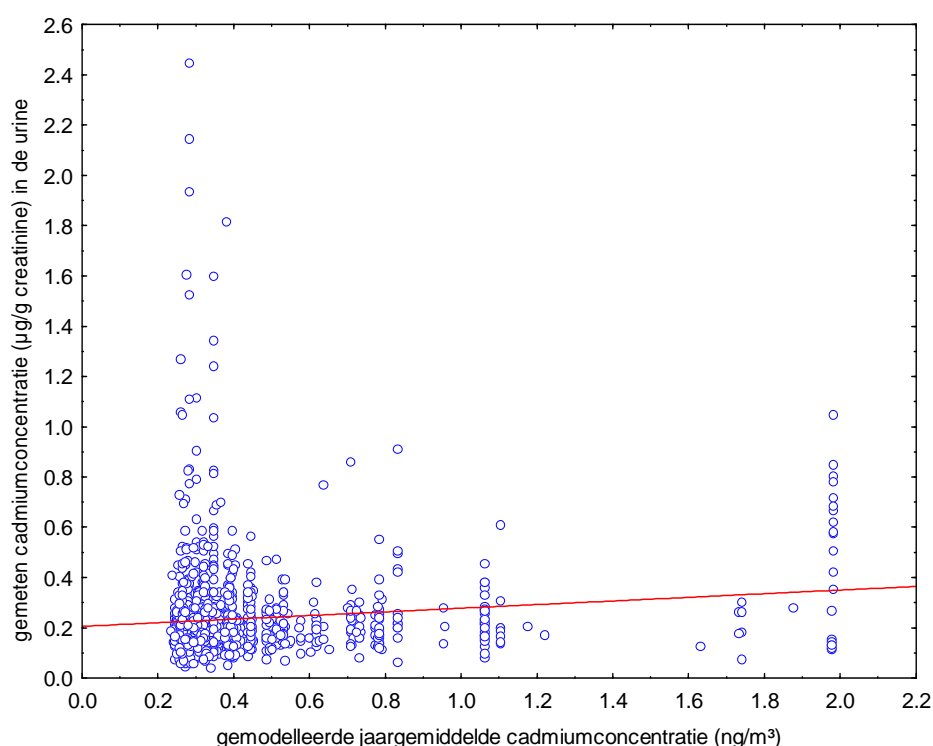
| Invloedsparameter  | Bèta             | Partiële R <sup>2</sup> | p-waarde         |
|--|------------------|-------------------------|------------------|
| Geslacht (jongen vs. meisje)   | 34.5 (33.4↔35.5) | 0.056                   | <0.001           |
| Gemodelleerde loodconcentratie (ng/m <sup>3</sup> ) (30d gemiddelde) | 0.1 (-0.9↔1.2)   | 0.004                   | 0.01             |
| Leeftijd (j)   | -6.6 (-7.6↔-5.6) | 0.003                   | 0.02             |
| Consumptie van lokaal vlees  | 9.0 (8.0↔10.0)   | 0.003                   | 0.03             |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )   | -0.9 (-1.9↔0.1)  | 0.002                   | 0.08             |
| <b>Totaal model</b>  |                  | <b>0.069</b>            | <b>&lt;0.001</b> |

<sup>a</sup> % toename in gemiddelde bloedloodgehalte bij toename (95% betrouwbaarheidsinterval) van invloedsfactor met 1 eenheid.

### *Gemodelleerde cadmiumconcentratie vs. cadmium in bloed of urine*

Bij de correlatieberekeningen werden enkel niet-rokers meegenomen, gezien roken een belangrijke bron is van cadmiumblootstelling. Bij enkelvoudige regressie was de gemodelleerde concentratie van cadmium gemiddeld over 75 dagen niet geassocieerd met het bloedcadmiumgehalte ( $r=0.03$ ,  $p=0.31$ ). Anderzijds was er wel een positieve relatie tussen de jaargemiddelde gemodelleerde concentratie en het cadmiumgehalte in de urine van de jongeren (Figuur 70,  $r=0.13$ ,  $p<0.001$ )

Via enkelvoudige regressie werden ook andere parameters getest welke een invloed kunnen hebben op het urinair cadmiumgehalte van deze 14-15 jarigen (parameters aangeduid in Tabel 29). Significante invloedsparameters waren leeftijd ( $r=0.07$ ,  $p<0.01$ ), BMI ( $r=0.11$ ,  $p<0.001$ ), ferritinegehalte van bloed ( $r=0.07$ ,  $p<0.01$ ), consumptie van groenten van potentieel cadmiumbevattende groenten in g/dag (andijvie, spinazie, salade, knolselder) ( $r=0.06$ ,  $p=0.01$ ) naast een niet-significante parameter 'ouders enkel lager school gevolgd' ( $r=0.04$ ,  $p=0.12$ ).



*Figuur 70: Scatterplot van gemodelleerde jaargemiddelde cadmiumconcentraties ( $\text{ng/m}^3$ ) in de lucht vs. gemeten cadmiumconcentraties ( $\mu\text{g/g creatinine}$ ) in de urine van 1385 niet-rokende jongeren.*

Alle significante gemodelleerde concentraties en invloedsparameters werden samen in één meervoudig regressiemodel gebracht<sup>14</sup>. De parameters die overbleven zijn opgenomen in Tabel 29. Er was positieve associatie tussen deze gemodelleerde jaargemiddelde cadmiumconcentratie en cadmium in de urine ( $r^2=0.017$ ,  $\beta=27.9\%$  bij toename van Cd met  $1 \text{ ng/m}^3$ ,  $p<0.001$ ). De gemodelleerde cadmiumconcentratie was de belangrijkste invloedsfactor, naast BMI, consumptie van groenten die Cd kunnen bevatten en het ferritinegehalte in het bloed. De cadmiumconcentratie in de urine was negatief geassocieerd met de leeftijd. Dit is niet in overeenstemming met een normaal waargenomen trend van toenemende cadmiumopstapeling met de leeftijd. Echter, de leeftijdsrange was erg klein (ca. 1.5 jaar). Bovendien zou het kunnen dat deze trend niet

<sup>14</sup> Twee van de 1385 jongeren hadden een cadmiumwaarden van meer dan  $4 \mu\text{g/g creatinine}$ , het resultaat van de modellering was quasi hetzelfde met én zonder deze 2 personen.

vastgesteld werd, gezien er bij jongeren die volop in de groei zijn, nog geen evenwichtstoestand bereikt kan zijn tussen opstapeling in het bot en voorkomen van cadmium in weke weefsels.

Tabel 29. Verklarende parameters voor urinaire cadmiumgehalten van 1385 jongeren. De parameters die in het forward stepwise regressiemodel werden gebracht waren: leeftijd, BMI, ferritinegehalte in bloed, consumptie van groenten die cadmium kunnen bevatten, opleidingsklasse ouders maximaal lagere school vs. andere en de jaargemiddelde gemodelleerde cadmiumconcentratie van elke deelnemer.

| Invloedsparameter  | Bèta             | Partiële R <sup>2</sup> | p-waarde         |
|--|------------------|-------------------------|------------------|
| Gemodelleerde cadmiumconcentratie (ng/m <sup>3</sup> )                   | 27.9 (26.9↔28.9) | 0.017                   | <0.001           |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> )   | -2.0 (-3.0↔-1.0) | 0.014                   | <0.001           |
| Consumptie van groenten die cadmium kunnen bevatten (g/dag) <sup>b</sup> | 0.2 (-0.9↔1.2)   | 0.006                   | <0.01            |
| Leeftijd (j)   | -7.0 (-8.0↔-6.0) | 0.005                   | <0.01            |
| Ferritinegehalte bloed (µg/L)  | -0.2 (-1.4↔1.1)  | 0.004                   | 0.02             |
| Lagere school is hoogste opleiding ouders vs. hogere opleidingen         | 22.3 (21.3↔23.4) | 0.002                   | 0.08             |
| <i>Totaal model</i>  |                  | <i>0.047</i>            | <i>&lt;0.001</i> |

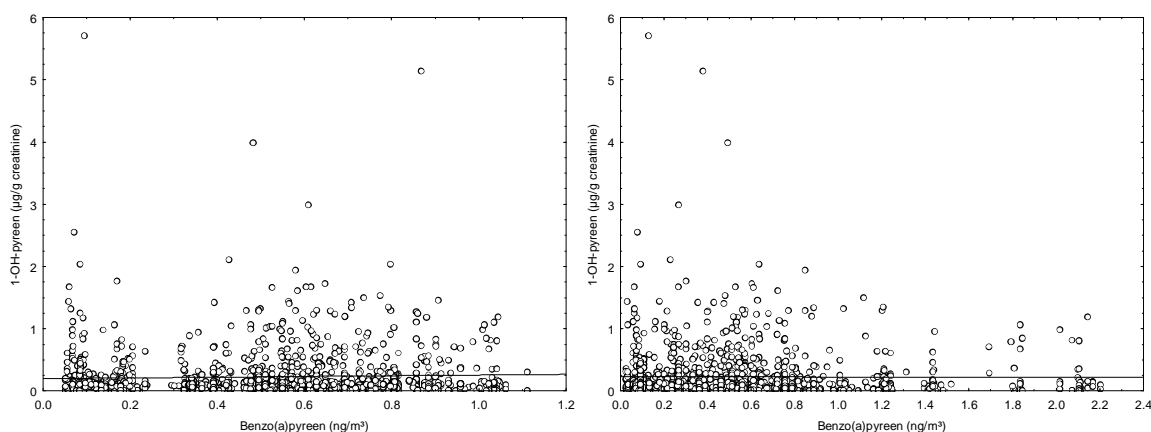
<sup>a</sup> % toename in gemiddelde urinair cadmiumgehalte bij toename (95% betrouwbaarheidsinterval) van invloedsfactor met 1 eenheid.

<sup>b</sup> andijvie, spinazie, salade, knolselder

### Gemodelleerde benzo(a)pyreen-waarde vs. 1-OH pyreen in urine

Noch de 7-dagen gemiddelde, noch de 2-dagen gemiddelde benzo(a)pyreenconcentraties waren gecorreleerd met 1-OH pyreen gemeten in de urine van 1386 niet-rokende jongeren. Dat er geen correlatie werd gevonden tussen de **PAK's metaboliet** en de luchtconcentratie aan PAK's, zou echter vooral kunnen te maken hebben met het feit dat PAK's-blootstelling voornamelijk via andere wegen dan de lucht gaat (Cornelis et al., 2006), of dat pyreen (dat in het lichaam afgebroken wordt tot 1-OH pyreen en wat gemeten werd) en B(a)P (dat gemodelleerd werd) niet steeds in dezelfde verhouding in het PAK's mengsel voorkomen. Daarenboven zijn er niet voldoende gerapporteerde emissies voor PAK's, waarop uiteindelijk de modellering van B(a)P gebaseerd wordt.

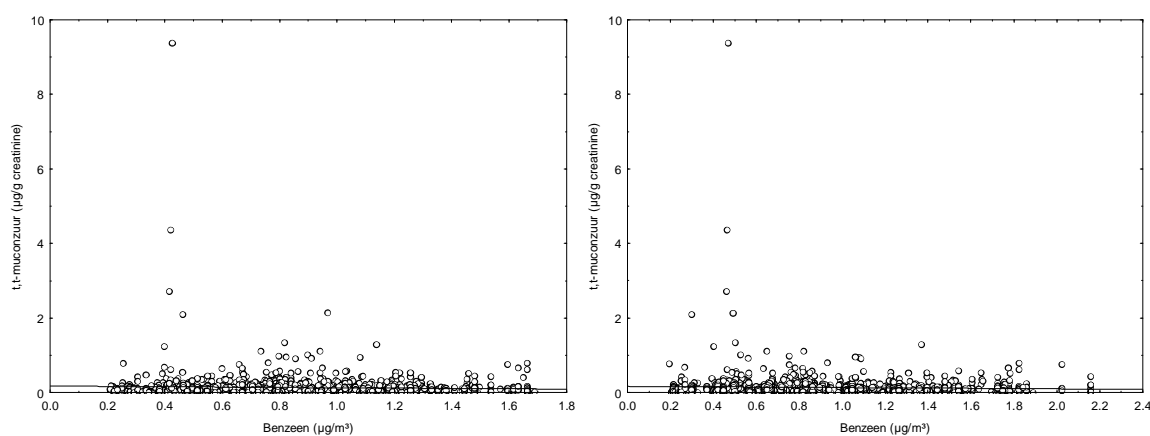
OPM: Voor 1-OH pyreen werd geen verschil gemeten tussen de aandachtsgebieden van de biomonitoring. Andere studies rapporteerden eveneens geen verschil in 1-OH pyreen voor inwoners van urbane en minder urbane regio's (Sorensen et al., 2003; Kyrtopoulos et al., 2001; Scherer et al., 2000). Bij vergelijking van inwoners uit twee Poolse steden werden wel duidelijk hogere 1-OH pyreengehalten gemeten in de stad met PM<sub>10</sub> concentraties boven 120 µg/m<sup>3</sup> (Motykiewicz et al., 1998).



Figuur 71: Scatterplot van gemodelleerde benzo(a)pyreenconcentraties ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) gemiddeld over 7 dagen (links) en 2 dagen (rechts) voor het onderzoek vs. de gemeten 1-OH-pyreenconcentraties ( $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine) in de urine van 1387 niet-rokende jongeren.

### Gemodelleerde benzeenwaarde vs. tt-muconzuur in urine

De gemodelleerde gemiddelde 2-dagen en 7-dagen benzeenconcentraties waren niet gecorreleerd met tt'-muconzuurconcentraties in urine van 1383 niet-rokende jongeren. Ook na inbreng van de parameters leeftijd en geslacht, werd geen significant verband gevonden. Tt'-muconzuur was ook niet gecorreleerd met benzeendosimetrie uitgevoerd bij een subset van jongeren. Hetzelfde werd vastgesteld in de pilootstudie van de humane biomonitoring (1999). Dit zou kunnen wijzen op het feit dat een spot urinaire meting (en niet 24-uur collectie van urine) van de metaboliet misschien te veel momentane (uurlijkse) pieken of dalen in persoonlijke blootstelling weergeeft en niet voldoende accumulerend is om iets te vertellen over (de misschien relevantere) blootstelling tijdens meerdere dagen.



Figuur 72: Scatterplot van gemodelleerde benzeenconcentraties ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gemiddeld over 7 dagen (links) en 2 dagen (rechts) voor het onderzoek vs. de gemeten concentratie t,t-muconzuur ( $\mu\text{g}/\text{g}$  creatinine) in de urine van 1387 niet-rokende jongeren.

### Gemodelleerde benzeenwaarde vs. benzeen gemeten op persoonlijke dosimeter

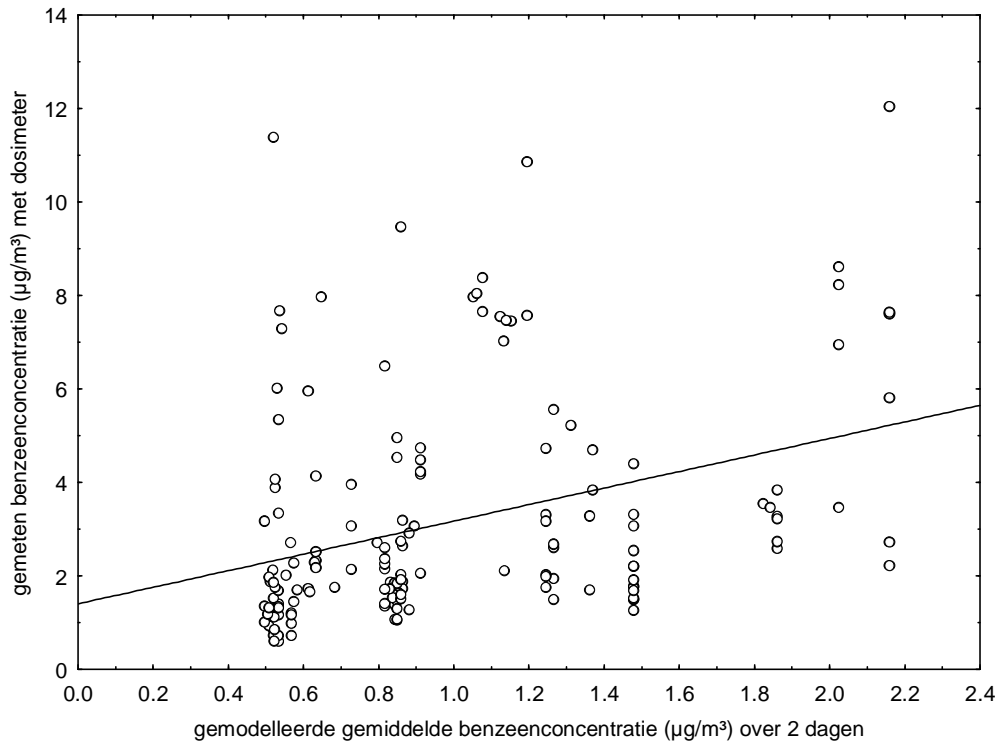
Een deel van de jongeren droegen een dosimeter gedurende twee dagen voorafgaand aan het onderzoek. De benzeen op de dosimeter geeft geen interne concentratie van de stof, maar geeft wel de indoor en outdoor geaccumuleerde gehalten waaraan de jongere in zijn directe leefomgeving blootgesteld werd. De metingen vonden plaats van februari tot begin juni 2004. De gemodelleerde outdoorconcentraties varieerden tussen 0.50 en 2.16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Zoals verwacht waren de concentraties gemeten op de dosimeters hoger (0.60 tot 12.03  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), gezien ook indoorconcentraties geaccumuleerd werden (Tabel 30).

Tabel 30: Individuele gemodelleerde benzeen concentraties en benzeen dosimetrie voor 162 niet-rokende jongeren (2 dagen gemiddelden)

| Benzeen<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Gemiddelde | Geometrisch<br>gemiddelde | Standaard<br>afwijking | 95% BI* |      | Minimum | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | Mediaan | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> | Maximum            |
|---|------------|---------------------------|------------------------|---------|------|---------|-----------------|-----------------|---------|-----------------|-----------------|--------------------|
|   |            |                           |                        | OG      | BG   |         |                 |                 |         |                 |                 |                    |
| gemodelleerd                            | 0.98       | 0.89                      | 0.46                   | 0.91    | 1.05 | 0.50    | 0.52            | 0.57            | 0.85    | 1.26            | 1.82            | 2.16               |
| dosimetrie                              | 3.26       | 2.51                      | 2.85                   | 2.82    | 3.70 | 0.60    | 1.17            | 1.52            | 2.16    | 3.95            | 7.55            | 12.03 <sup>a</sup> |

<sup>a</sup>uitgezonderd de outlier van 22.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Bij de 161 niet-rokers van de groep jongeren die een dosimeter hebben gedragen, waren de waarden van benzeen gemeten op de dosimeter gecorreleerd met de gemodelleerde 2-dagen gemiddelde benzeenconcentratie ( $r=0.34$ ,  $p<0.001$ , Figuur 73). Eén van de jongeren werd uitgesloten gezien een de waarden op de dosimeter meer dan  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bedroeg.



*Figuur 73: Scatterplot van de gemodelleerde gemiddelde atmosferische benzeenconcentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) over 2 dagen voorafgaand aan het onderzoek vs. benzeenconcentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gemeten op de persoonlijke dosimeters van 161 niet-rokende jongeren.*

Via enkelvoudige regressie werd nagegaan welke bevraagde parameters een invloed hadden op de benzeenconcentratie gemeten op de dosimeter. Daaruit bleek dat jongeren waarvan ouders minimaal een hoge school opleiding hadden, lagere benzeenwaarden hadden dan deze waarvan de ouders enkel lager of middelbaar onderwijs hadden gehad. Anderzijds werden hogere benzeendosimeterwaarden gemeten indien jongeren de laatste 3 dagen binnen in een ruimte met open haard of hout/mazout-kachel waren, woonden in buurt met druk verkeer of indien meer autobussen en vrachtwagens dagelijks op minder dan 50 meter van de woning voorbijkwamen. De benzeendosimeterwaarden waren lager bij toenemende dagtemperatuur.

In het multivariate model van gemodelleerde benzeen vs. dosimeterwaarden, werden de parameters 'wonen in buurt van druk verkeer', het 'aantal passerende autobussen of vrachtwagens' en de dagtemperatuur niet meegenomen. Verkeersblootstelling en meteogegevens zitten immers vervat (zijn gebruikt) bij modellering van de luchtconcentratie aan benzeen. **13.7% van de variabiliteit** in benzeenwaarden gemeten op de **dosimeters** was te **verklaren** door de **gemodelleerde outdoor benzeengehalten**.



Tabel 31: Verklarende parameters voor de benzeenconcentratie gemeten op de persoonlijke dosimeter van 161 niet-rokende jongeren. De parameters die in het forward stepwise regressiemodel werden gebracht waren: hoger opleiding van ouders, laatste 2 dagen contact met uitlaatgassen, laatste 3 dagen in ruimte met kachel.

| Invloedsparameter  | Bèta              | Partiële R <sup>2</sup> | p-waarde         |
|--|-------------------|-------------------------|------------------|
| Gemodelleerde benzeenconcentratie (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>r2dagen gemiddelde</sup> | 76.3 (75.0-77.6)  | 0.137                   | <0.001           |
| Laatste dagen in ruimte met open haard of hout/mazoutkachel                          | 40.9 ((39.7-42.2) | 0.041                   | <0.01            |
| Laatste 2 d contact met uitlaatgassen  | 25.4 (24.2-26.7)  | 0.027                   | 0.03             |
| <i>Totaal model</i>  |                   | <i>0.205</i>            | <i>&lt;0.001</i> |

<sup>a</sup> % toename in gemiddelde benzeenconcentratie op de dosimeter bij toename (95% betrouwbaarheidsinterval) van invloedsfactor met 1 eenheid.

#### 5.4.2 Gemodelleerde concentraties aan luchtpolluenten vs. geïntegreerde blootstelling- of effectmetingen bij jongeren

Eén van de belangrijkste problemen bij het nagaan van gezondheidseffecten t.g.v. luchtpolluenten, is het vinden van een goede luchtkwaliteitsparameter (Ihrtst et al., 2004). Luchtpolluenten als NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, partikels (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), benzeen, CO...komen samen voor. Het is vrijwel onmogelijk om de rol van iedere pollutant afzonderlijk na te gaan in een epidemiologische studieopzet. Eén enkele pollutant, zal zo meestal optreden als merker voor een pollutantenmix (Sunyer et al, 1997).

Luchtpolluenten zoals NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, partikels (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), benzeen, CO, zijn vaak positief gecorreleerd. Daarentegen is de relatie van bovenstaande stoffen met ozon vaak negatief. Ozon wordt gevormd als secundair product door de werking van zonlicht op de andere pollutanten. Zo wordt NO<sub>2</sub> door het zonlicht omgezet in NO en molecuulair O. Dit molecuulair O reageert met O<sub>2</sub> om ozon te vormen. Het kan grote afstanden afleggen waardoor de hoogste waarden meestal ver van de bronactiviteit voorkomen. Ozon kan ook weer afgebroken worden door NO ter vorming van NO<sub>2</sub> en zuurstof. In aanwezigheid echter van reactieve koolwaterstoffen (NMVOS) en onder de vereiste meteorologische omstandigheden (zonlicht en hoge temperatuur) wordt enerzijds NO<sub>2</sub> aangemaakt en wordt anderzijds de afbraak van ozon door NO sterk afgeremd. Dit resulteert in een netto aangroei van ozon.

In de literatuur worden een **aantal manieren** beschreven om pollutanten in het luchtmengsel te relateren met een gezondheidseffect:

- Vaak worden eerst de invloed van elk van de pollutanten op het gezondheidseffect nagegaan (in 'single pollutant' multivariate statistische modellen). Daarna wordt een combinatie van twee tot drie pollutanten in **multipolluentmodellen** samengevoegd, om te controleren of de associaties dan significant blijven. Yu et al. (2000) nam de 3 pollutanten CO, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10 of 1.0</sub> voor het nagaan van optreden van astma-symptomen bij 133 astmapatiënten. Sunyer et al. (1997) nam combinaties van SO<sub>2</sub> en zwarte rook, of NO<sub>2</sub> en zwarte rook, of SO<sub>2</sub> en NO<sub>2</sub> om de relatie met astma hospitalisaties na te gaan. In vele gevallen wordt de associatie per pollutant kleiner indien die in zo'n multipolluentmodel gefit worden

- Soms wordt het probleem omzeild door een **index voor gecombineerde blootstelling** te berekenen: Respiratoire gezondheidsdata van de 'health survey for England' werden gelinkt met een luchtkwaliteitsindex gebaseerd op NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en benzeen. Voor 1 km-roosters werden jaargemiddelde pollutant-concentratieschattingen gebruikt. Deze pollutantconcentraties werden vergeleken met air quality guidelines. Een pollutantgehalte dicht bij deze guideline kreeg score '4' in de index. De index werd berekend door de score voor elk van de vier pollutanten op te tellen (Wheeler and Ben-Shlomo, 2005). Ozon werd in de index buiten beschouwing gelaten omdat het andere karakteristieken heeft en bovendien heel verschillende geografische patronen in vergelijking met de andere pollutanten (Wheeler and Ben-Shlomo, 2005).

- Een andere mogelijkheid bestaat erin verkeerstellingen te gebruiken, en het vaststellen van een threshold afstand tot een weg. Nicolai et al. (2003) klasseerde kinderen met minstens één 'traffic count' op minder dan 50 m van de woning, als hoog blootgestelde groep (16.3%). Schikowski et al. (2005) vergeleek COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) voorkomen bij vrouwen welke op minder of meer dan 100 m afstand van een weg met > 10 000 voertuigen per dag woonden.

### **Correlatie tussen gemodelleerde 2-dagen gemiddelde concentraties aan pollutanten en korte-termijn DNA schade gemeten in bloed van de jongeren**

Bij de komeetttest wordt het DNA van bloedcellen in een elektrisch veld gebracht en het (negatief geladen) DNA migreert in dit elektrisch veld naar de positieve pool. Hoe meer beschadigd het DNA is, hoe makelijker het DNA migreert uit de kern. Het % DNA migratie geeft een maat voor de DNA schade of m.a.w. 'verminderde DNA integriteit'. Deze schade werd opgelopen kort voor de bloedname (dagen) en is in principe geen probleem gezien het herstelbaar is. Toch is het interessant deze te bepalen, gezien het een idee kan geven van de **milieudruk** die een individu ondervindt. Verminderde DNA-integriteit wordt veroorzaakt door zowel endogene processen (radicalen gevormd in het lichaam) als door exogene parameters (o.a. sigarettenrook, vervuilende stoffen in lucht, voeding en water). De gemiddelden van de gemodelleerde concentraties aan vervuilende stoffen in de twee dagen voorafgaand aan het bloedonderzoek werden opgenomen in Tabel 32.

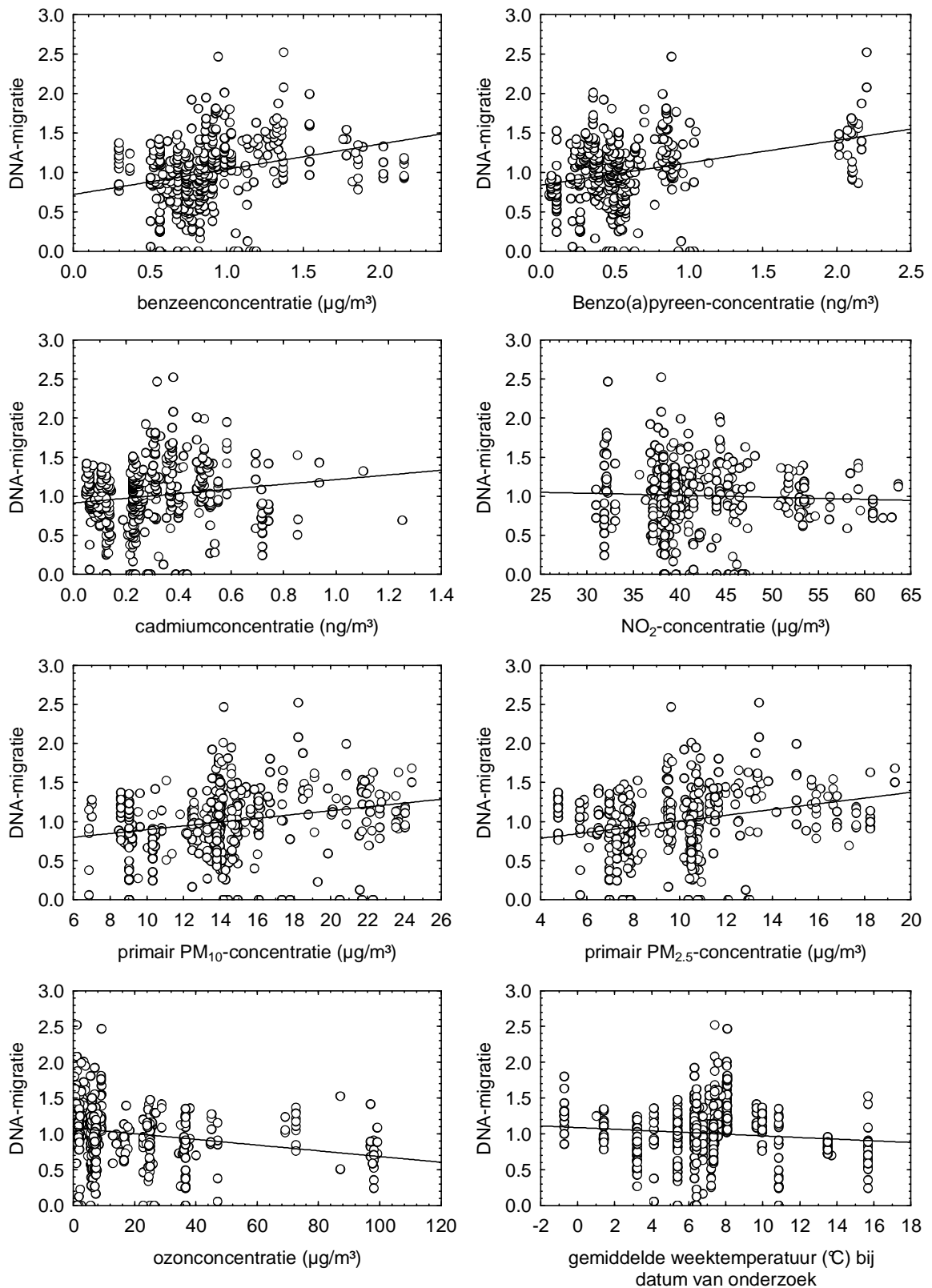
Bij 390 niet-rokende jongeren werd de relatie nagegaan tussen enkele gemodelleerde luchtkwaliteitsparameters en het % DNA-migratie. In eerste instantie werd nagegaan welke van deze parameters significant gerelateerd waren met het % DNA-schade. Enkelvoudige regressie gaf aan, dat zowel PM<sub>2.5\_prim</sub>, PM<sub>10\_prim</sub>, Cd, benzo(a)pyreen, benzeen en ozon gemiddelde over 2 dagen voorafgaand aan de bloedname, significant correleerde met % DNA-migratie van de komeetttest (steeds p<0.01, Figuur 74). De gemodelleerde NO<sub>2</sub>-concentratie was niet significant gecorreleerd met het % DNA-migratie.

Daarnaast werden alle gekende en bevroegde invloedsfactoren opgelijst in

Tabel 10 getest. Hieruit bleek dat enkel het geslacht (jongens meer schade dan meisjes) en de opleiding (minder DNA- schade als middelbaar of hoger onderwijs gevolgd), significante invloedsfactoren waren. Deze factoren werden opgenomen in de multivariate modellen.

*Tabel 32: Individuele gemodelleerde concentraties voor de 390 niet-rokende jongeren waarbij DNA-schade werd gemeten (komeetttest).*

| Gemodelleerde concentraties gemiddeld over 2 dagen voorafgaand aan het onderzoek | Gemiddelde | Geometrisch gemiddelde | Standaard afwijking | 95% BI* |       | Minimum | Mediaan         |                 |                 |                 | Maximum |       |
|--|------------|------------------------|---------------------|---------|-------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-------|
|  |            |                        |                     | OG      | BG    |         | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> |         |       |
|  |            |                        |                     |         |       |         |                 |                 |                 |                 |         |       |
| benzeen (µg/m <sup>3</sup> )   | 0,90       | 0,84                   | 0,36                | 0,86    | 0,94  | 0,30    | 0,56            | 0,68            | 0,83            | 0,99            | 1,36    | 2,16  |
| B(a)P (ng/m <sup>3</sup> )   | 0,59       | 0,46                   | 0,47                | 0,55    | 0,64  | 0,06    | 0,21            | 0,33            | 0,49            | 0,64            | 0,92    | 2,20  |
| cadmium (ng/m <sup>3</sup> )   | 0,31       | 0,25                   | 0,19                | 0,29    | 0,33  | 0,05    | 0,10            | 0,14            | 0,25            | 0,41            | 0,55    | 1,25  |
| NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )   | 41,89      | 41,39                  | 6,71                | 41,22   | 42,56 | 30,99   | 36,04           | 38,22           | 39,88           | 45,18           | 52,97   | 63,63 |
| prim. PM10 (µg/m <sup>3</sup> )  | 14,57      | 13,99                  | 4,16                | 14,16   | 14,99 | 6,85    | 9,03            | 12,47           | 14,00           | 16,07           | 21,73   | 24,41 |
| prim. PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> )   | 10,02      | 9,58                   | 3,09                | 9,71    | 10,33 | 4,75    | 6,97            | 7,60            | 9,67            | 11,30           | 15,05   | 19,32 |
| Ozon (µg/m <sup>3</sup> )  | 18,99      | 8,29                   | 24,68               | 16,53   | 21,45 | 0,32    | 1,13            | 3,17            | 7,29            | 25,10           | 47,09   | 99,27 |



Figuur 74: Relatie van de gemodelleerde concentraties van benzeen, benzo(a)pyreen, cadmium,  $\text{NO}_2$ , primair  $\text{PM}_{10}$ , primair  $\text{PM}_{2.5}$  en ozon gemiddeld over twee dagen voor het onderzoek en de gemiddelde weektemperatuur bij datum van onderzoek ten opzichte van DNA-migratie gemeten met de komeetttest bij 390 niet-rokende jongeren.

Tabel 33 toont het onderling verband tussen de verschillende pollutantenconcentraties gemodelleerd voor de 2 dagen voorafgaand aan het bloedonderzoek van de jongeren. Bijna alle pollutanten waren sterk onderling gecorreleerd. De waarde van benzo(a)pyreen en benzeen was sterk positief gecorreleerd met primair PM<sub>10\_prim</sub> en PM<sub>2.5\_prim</sub>. Ozon was sterk negatief gecorreleerd met PM<sub>10\_prim</sub>, PM<sub>2.5\_prim</sub>, benzeen en benzo(a)pyreen. Cd was sterk gecorreleerd met benzeen.

Tabel 33: Spearman rank correlaties tussen gemodelleerde concentraties gemiddeld over 2 dagen voorafgaand aan het onderzoek voor 390 niet-rokende jongeren waarbij DNA schade werd gemeten (komeetttest).

|                        | Temp | O <sub>3</sub> | NO <sub>2</sub> | PM <sub>10_prim</sub> | PM <sub>2.5_prim</sub> | Benzeen  | Cd       | B(a)P    |
|------------------------|------|----------------|-----------------|-----------------------|------------------------|----------|----------|----------|
| Temp                   | 1.00 | 0.40***        | -0.09           | -0.37***              | -0.40***               | -0.11*   | 0.10     | -0.46*** |
| O <sub>3</sub>         |      | 1.00           | -0.12*          | -0.76***              | -0.94***               | -0.81*** | -0.44*** | -0.72*** |
| NO <sub>2</sub>        |      |                | 1.00            | 0.31***               | 0.01                   | 0.00     | -0.05    | -0.14**  |
| PM <sub>10_prim</sub>  |      |                |                 | 1.00                  | 0.77***                | 0.68***  | 0.41***  | 0.71***  |
| PM <sub>2.5_prim</sub> |      |                |                 |                       | 1.00                   | 0.88***  | 0.57***  | 0.74***  |
| Benzeen                |      |                |                 |                       |                        | 1.00     | 0.74***  | 0.61***  |
| Cd                     |      |                |                 |                       |                        |          | 1.00     | 0.23***  |
| B(a)P                  |      |                |                 |                       |                        |          |          | 1.00     |

\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

Gezien de pollutanten sterk correleerden, werd beslist ze eerst één voor één in het statistisch model te brengen ('single pollutant' model) samen met de invloedsfactoren (geslacht en opleidingsniveau van ouders). Zowel **benzeen, benzo(a)pyreen, PM<sub>10\_prim</sub> en PM<sub>2.5\_prim</sub> waren positief geassocieerd met het %DNA schade** gemeten met de komeetttest. Dit betekent dat de komeetttest bij de 390 niet-rokende jongeren een beeld gaf van de milieudruk van verschillende pollutanten. Benzeen en benzo(a)pyreen zijn gekende kankerverwekkende stoffen. Partikels ontstaan door verbranding, zijn samengesteld uit koolstof waaraan metalen en PAK's adderen. Partikels kunnen in het lichaam aanleiding geven tot vorming van radicalen (=oxidatieve stress) door het inflammatieproces als reactie op hun aanwezigheid (radicalen vrijgezet door macrofagen), door metalen aanwezig op de partikeltjes (fentonreactie), of door quinonen die op partikels aanwezig zijn. Sørensen et al., (2003) en Risom et al. (2005) stelde ook een positief verband vast tussen persoonlijke dosimetrie van PM<sub>2.5</sub> en 8-OH-deoxyguanosine (een DNA-schade merker) gemeten in lymfocyten.

**Ozon was negatief geassocieerd met de komeetttest resultaten**, wat in principe logisch lijkt, gezien de parameters als benzeen, benzo(a)pyreen en partikels sterk negatief geassocieerd waren met ozon. Het is echter in tegenstelling met eerdere bevindingen, waarbij de komeetttestresultaten van 200 Vlaamse jongeren positief geassocieerd waren met ozonwaarden gemeten in het dichtstbijzijnde meetstation (Koppen et al., 2007). Tovalin et al. (2006) stelde ook een positieve relatie vast tussen DNA-schade (gemeten met komeetttest bij outdoor werkers) en PM<sub>2.5</sub>- en ozonblootstelling in Mexico city. Mogelijks zijn deze tegenstrijdige resultaten te wijten aan verschillen in ozonniveaus, locale geografische en/of seizoensvariaties in pollutantenmengselsamenstelling geassocieerd met het voorkomen van ozon.

Er werd in tweede instantie ook nagegaan of de associaties nog golden indien één andere pollutant mee in het model werd genomen (multipolluent-model). De associaties bleven meestal bestaan, zij het minder sterk significant. Indien benzeen en PM<sub>2.5</sub> samen in het model werden opgenomen, bleek geen van beide nog significant, maar deze waren ook sterk multicollineair (sterk gerelateerd).

Tabel 34: Single pollutant modellen voor % DNA-migratie in bloedcellen (komeetttest) bij 390 niet-rokende 14-15 jarigen. De parameters die in het forward stepwise regressiemodel werden gebracht waren: geslacht, opleidingsklasse ouders en respectievelijk 2-dagen gemiddelde benzeen-, benzo(a)pyreen-, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10\_prim</sub>, PM<sub>2.5\_prim</sub>, en ozonconcentratie van elke deelnemer.

|                              | Partiële correlatiecoëfficiënt | Bèta <sup>1</sup> | p-waarde |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------|----------|
| <b>Benzeen</b>               | 0.057                          | 0.29              | <0.001   |
| <b>B(a)P</b>                 | 0.085                          | 0.26              | <0.001   |
| <b>Cd</b>                    | 0.009                          | 0.20              | 0.06     |
| <b>NO<sub>2</sub></b>        | 0.003                          | -0.003            | 0.31     |
| <b>PM<sub>10_prim</sub></b>  | 0.044                          | 0.02              | <0.001   |
| <b>PM<sub>2.5_prim</sub></b> | 0.056                          | 0.03              | <0.001   |
| <b>O<sub>3</sub></b>         | 0.050                          | -0.003            | <0.001   |

<sup>1</sup>Toename van DNA migratie bij toename van pollutentconcentratie met één eenheid.

### Correlatie van gemodelleerde jaarconcentraties en/of jaaremissie-drukken en luchtwegklachten bij jongeren

De gemodelleerde concentraties en de emissiedrukken van de meeste luchtpolluenten werden gerelateerd aan luchtwegklachten (astma vastgesteld door de arts, ooit astmaklachten en luchtweginfecties). Daarvoor werden jaargemiddelden van deze stoffen berekend. In principe zou het interessant zijn om lange termijn gemiddelden van bv 5 jaar te linken met astma (Schikowski et al., 2005), gezien het stabielere pollutentconcentraties kan geven. De relaties werden enkel onderzocht bij niet-rokende jongeren.

De correlatie tussen jaargemiddelde concentraties van NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, primair PM<sub>2.5</sub> en <sub>10</sub>, Cd, Pb, B(a)P, benzeen en luchtwegklachten (huidig astma, doctor diagnosed astma, ooit astmasymptomen en luchtweginfecties) werd nagegaan via enkelvoudige logistische regressie. Hieruit bleek, dat enkel 'doctor diagnosed astma', maar meer nog, 'ooit astmasymptomen' negatief correleerde met ozon en positief met NO<sub>2</sub> en met benzeen. Tabel 35 geeft een overzicht van de waarden waaraan de jongeren met of zonder astmasymptomen werden blootgesteld.

Tabel 35: Individuele gemodelleerde concentraties voor niet-rokende jongeren die ooit of nooit astmatische symptomen vertoonden

| Gemodelleerde jaargemiddelde concentraties over de periode voorafgaand aan het onderzoek | Gemiddelde | Geometrisch gemiddelde | Standaard afwijking | 95% BI* |       | Minimum         |                 | Mediaan         |                 | Maximum |       |       |
|--|------------|------------------------|---------------------|---------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-------|-------|
|  |            |                        |                     | OG      | BG    | P <sub>10</sub> | P <sub>25</sub> | P <sub>75</sub> | P <sub>90</sub> |         |       |       |
|  |            |                        |                     |         |       |                 |                 |                 |                 |         |       |       |
| <b>277 niet-rokende jongeren die ooit astmasymptomen hadden</b>                          |            |                        |                     |         |       |                 |                 |                 |                 |         |       |       |
| ozon (µg/m <sup>3</sup> )  | 45,86      | 45,42                  | 6,07                | 45,14   | 46,58 | 31,99           | 34,14           | 42,53           | 46,85           | 50,54   | 53,02 | 56,71 |
| NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )   | 39,80      | 38,98                  | 8,40                | 38,80   | 40,79 | 25,46           | 30,54           | 33,78           | 37,79           | 44,42   | 54,24 | 61,13 |
| benzeen (µg/m <sup>3</sup> )   | 0,89       | 0,88                   | 0,16                | 0,87    | 0,91  | 0,64            | 0,72            | 0,78            | 0,83            | 0,97    | 1,15  | 1,30  |
| <b>919 niet-rokers die nooit astmasymptomen hadden</b>                                   |            |                        |                     |         |       |                 |                 |                 |                 |         |       |       |
| ozon (µg/m <sup>3</sup> )  | 46.98      | 46.63                  | 5.43                | 46.63   | 47.33 | 31.38           | 39.14           | 44.49           | 47.82           | 50.64   | 53.13 | 56.21 |
| NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )   | 38.05      | 37.37                  | 7.60                | 37.56   | 38.54 | 25.02           | 29.82           | 32.78           | 36.59           | 40.62   | 50.11 | 62.87 |
| Benzeen (µg/m <sup>3</sup> )   | 0.86       | 0.84                   | 0.14                | 0.85    | 0.87  | 0.64            | 0.70            | 0.78            | 0.81            | 0.89    | 1.07  | 1.30  |

Daarnaast werden de invloedsparameters welke astma of astmaklachten kunnen beïnvloeden ook via enkelvoudige regressie getest (Tabel 36). Hieruit volgde dat beide luchtwegklachten meer voorkwamen indien: één van de ouders astma had (familiaal astma), bij ernstige luchtweginfectie gedurende eerste twee levensjaren van de adolescent, indien de ouders enkel een opleiding secundair of lager onderwijs hadden, bij jongeren die regelmatig in file zaten, of indien de klas slecht verlucht was (laatste twee factoren enkel significante invloed bij astmasymptomen). Indien bovenstaande parameters in rekening werden gebracht, bleef er nog een positief significant verband voor 'ooit astmasymptomen' en **doctor diagnosed astma** met de **gemodelleerde jaarconcentraties van benzeen en NO<sub>2</sub>** (Tabel 36). Bij een toename van blootstelling aan benzeen met 1 µg/m<sup>3</sup> was de odds op het optreden van astmasymptomen ca. 4 maal hoger OR = 4.34). Bij een toename van NO<sub>2</sub> concentratie met 10 µg/m<sup>3</sup> nam de odds ('kans') op het voorkomen van astmasymptomen toe met iets meer dan eenderde (39%) Analoog werd het verband tussen luchtwegklachten en berekende emissiedrukken<sup>15</sup> van benzeen, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, B(a)P, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub> berekend. Opnieuw waren **benzeen** en **NO<sub>x</sub> emissiedrukken** gerelateerd met 'ooit astmasymptomen', zij het iets minder significant dan bij gebruik van gemodelleerde benzeenconcentraties (OR's van resp. 3.2 (1.30-7.89) en 1.006 (1.002-1.01) per g/m<sup>2</sup>/j toename in emissiedruk).

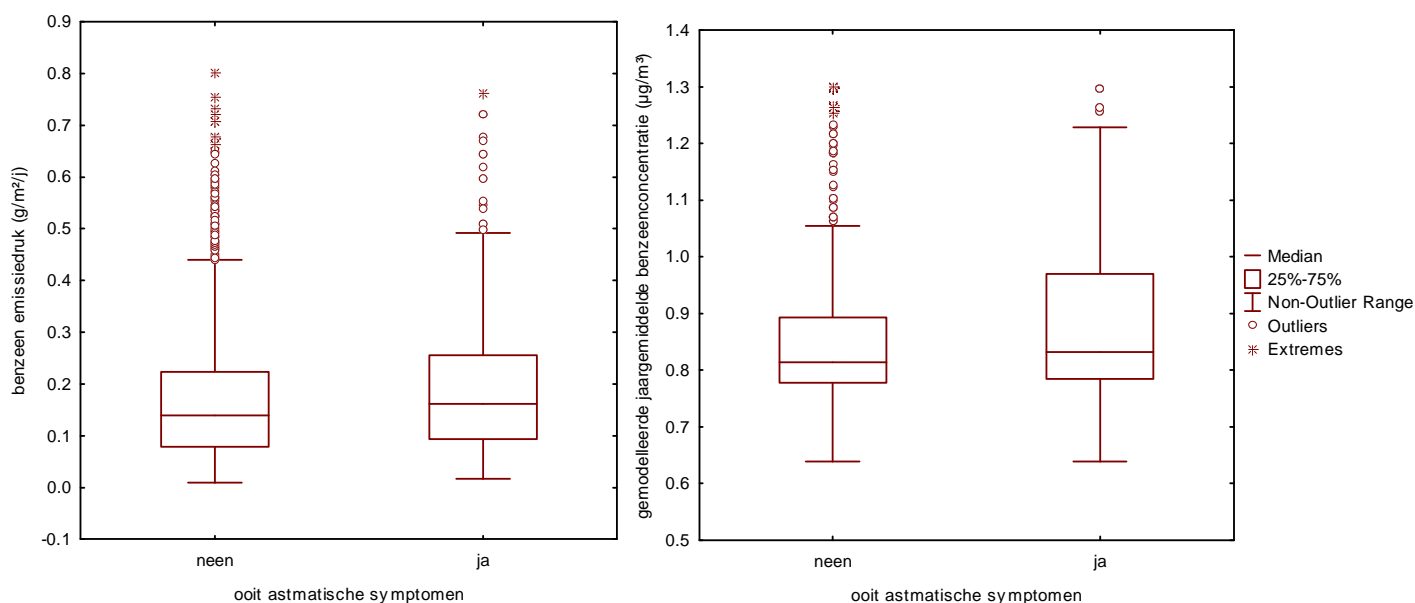
Tabel 36: Associatie van respiratoire aandoeningen met blootstelling aan luchtpolluenten bij 14-15 jarige jongeren. In de tabel zijn odds ratio's (OR) met het 95% confidentie-interval (CI) opgenomen

|  | Gemodelleerde luchtconcentraties |  |                                | Emissiedruk                    |  |
|--|----------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|--|
|  | Benzeen<br>+ 1 µg/m <sup>3</sup> | NO <sub>2</sub><br>+10 µg/m <sup>3</sup> | Ozon<br>+ 10 µg/m <sup>3</sup> | Benzeen<br>g/m <sup>2</sup> /j | NO <sub>x</sub><br>g/m <sup>2</sup> /j |
| <b>Doctor diagnosed astma (N=1261)</b> | 3.26<br>(0.89-11.97)             | 1.33 *<br>(1.04-1.69)                    | 0.66 *<br>(0.47-0.94)          | 1.58<br>(0.42-5.89)            | 1.00<br>(0.99-1.021)                   |
| <b>Ooit astma-symptomen (N=1138)</b>   | 4.34 **<br>(1.74-10.80)          | 1.39 ***<br>(1.17-1.64)                  | 0.64 ***<br>(0.50-0.81)        | 3.2 *<br>(1.30-7.86)           | 1.006 **<br>(1.002-1.01)               |
| <b>Luchtweg-Infecties (n=1463)</b>     | 0.94<br>(0.33-2.69)              | 1.06<br>(0.87-1.29)                      | 0.91<br>(0.69-1.20)            | 0.82<br>(0.30-2.20)            | 0.99<br>(0.99-1.005)                   |

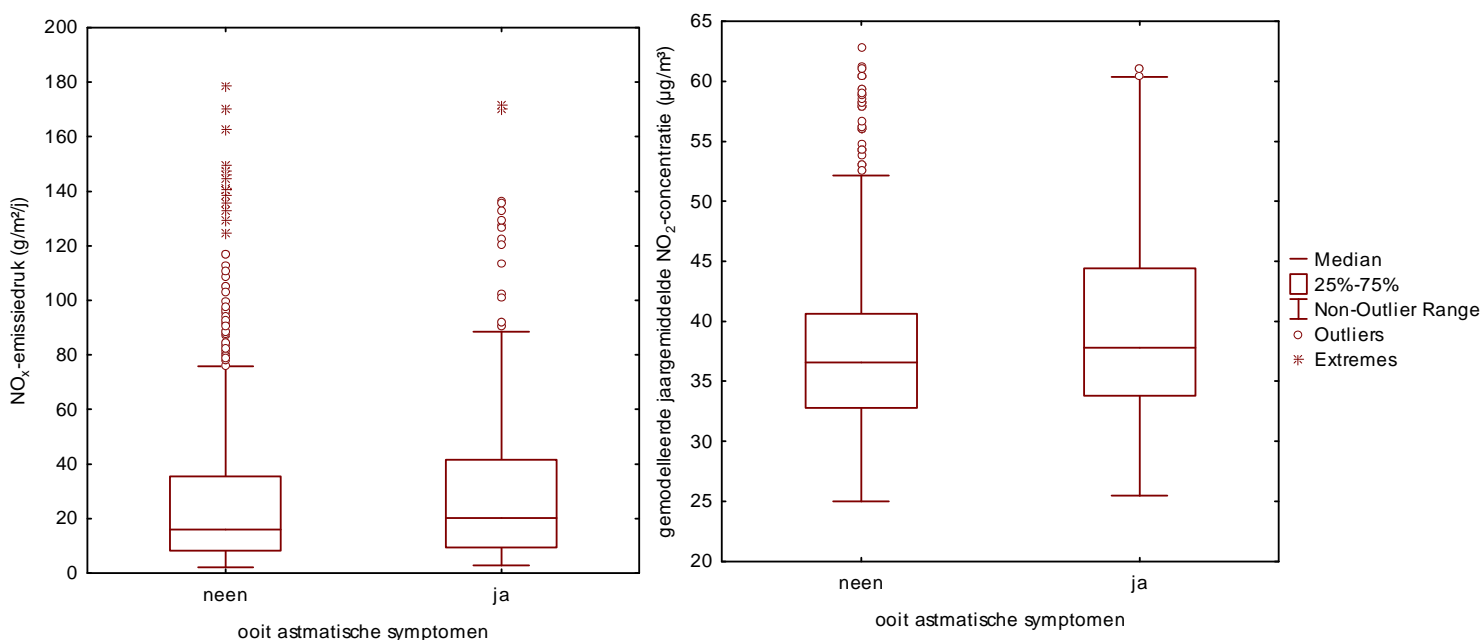
<sup>a</sup> gecorrigeerd voor familiaal astma, ernstige luchtweginfectie gedurende eerste twee levensjaren adolescent, ouders enkel opleiding secundair of lager onderwijs, \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001

De relatie tussen luchtwegklachten en benzeen werd eerder gerapporteerd. Hirsch et al. (1999) vond een toename van prevalentie van ochtend-hoesten en bronchitis bij hogere blootstelling aan benzeen, (resp. OR= 1.15 (1.04-1.27) en 1.11 (1.03-1.19), bij toename van benzeen met 1 µg/m<sup>3</sup>). Dit werd onderzocht bij een groep van 5421 Duitse kinderen (< 11 jaar) uit de stad Dresden. Dezelfde vaststelling werd gedaan voor NO<sub>2</sub> en CO. Nicolai et al. (2003) rapporteerde dat 'huidig astma' geassocieerd werd met (door een verkeersmodel) berekende roet- en benzeenwaarden (OR=2.05 (1.23-3.41), bij vergelijking van het hoogste tertiële blootgestelden vs. de anderen). Korte-termijn (acute) ozonblootstelling wordt soms geassocieerd met verhogingen van astma-opnames of astma-aanvallen (Koren, 1995; Burnett et al., 2001). Een meta-analyse uitgevoerd door Anderson et al. (2004) gebaseerd op (slechts) drie studies naar respiratoire ziekenhuisadmissies van 0-14j, 15-64j en >64j groepen, tonen een niet significant verband met ozon (Anderson et al., 2004). In de huidige studie werd een negatief verband gevonden tussen jaargemiddelde ozonconcentraties en 'ooit astmasymptomen'. Ook Hirsch et al. (1999) rapporteerde een negatief verband tussen jaargemiddelde ozonwaarden en ochtendlijk hoesten (OR= 0.80 (0.65-0.98)) en bronchitis (OR=0.83 (0.73-0.96)) bij kinderen (telkens voor toename van ozon met 10 µg/m<sup>3</sup>). In onderstaande figuren zijn de concentraties en emissiedrukken weergegeven bij de kinderen die al dan niet astmasymptomen rapporteerden.

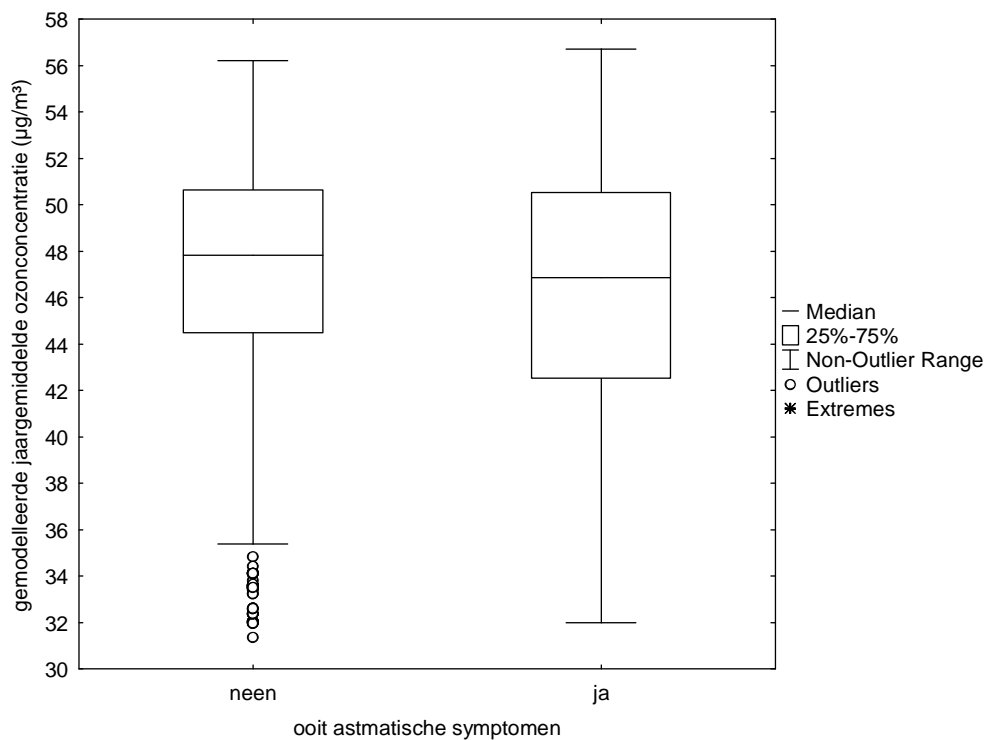
<sup>15</sup> De correlatie met emissiedrukken was het sterkste indien een gemiddelde werd genomen van de emissiedrukken van alle de naburige roosterzellen rondom de woonplaats.



*Figuur 75: Jaargemiddelde benzeenconcentraties ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (links) of jaartotale benzeen-emissiedrukken (gemiddelde voor de naburige roostercellen rond de woonplaats,  $\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$ ) (rechts) voor de 277 niet-rokende jongeren die het laatste jaar ooit astmatische symptomen hadden, vs. de 919 niet-rokende jongeren die geen astmatische symptomen*



*Figuur 76: Jaargemiddelde  $\text{NO}_2$ -concentraties ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (links) of jaartotale  $\text{NO}_x$ -emissiedrukken (gemiddelde voor de naburige roostercellen rond de woonplaats,  $\text{g}/\text{m}^2/\text{j}$ ) (rechts) voor de 277 niet-rokende jongeren die het laatste jaar ooit astmatische symptomen hadden, vs. de 919 niet-rokende jongeren die geen astmatische symptomen*



*Figuur 77:* Jaargemiddelde ozonconcentraties ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) voor de 277 niet-rokende jongeren die het laatste jaar ooit astmatische symptomen hadden, vs. de 919 niet-rokende jongeren die geen astmatische symptomen

### 5.4.3 Correlatie tussen concentraties gemeten door VMM en biomerkers gemeten bij jongeren

Voor de meetstationgegevens van Pb en Cd werd getracht een relatie te berekenen met de bloed/urine-waarden van de respectievelijke metalen en met de komeettstgegevens. Het aantal jongeren wonend binnen een 2-km straal van de metalen-metstations varieerde tussen 69 en 97. Bij alle werden metalen gemeten, en bij slechts 15 van hen werd ook de komeettst uitgevoerd. Echter de jongeren woonden in de buurt van 2 tot 3 Antwerpse meetstations, wat niet genoeg was om te correleren met de biomerkers.

Voor ozon werd een andere benadering gevolgd, voor elke jongere werd een relatie berekend tussen de ozonwaarde op de dichtst bijzijnde meetstation en de gemeten DNA-schade in het bloed. De correlatiecoëfficiënt was negatief en bedroeg 0.44 ( $p < 0.001$ ). Dit was een bevestiging van de negatieve correlatie gevonden tussen gemodelleerde ozonwaarden en de komeettst.



## 6 AANBEVELINGEN EN SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK

Het onderzoek naar de associatie tussen biomerkers en milieudata is nog in volle ontwikkeling. Dit project was een eerste stap om in Vlaanderen milieudata en biomonitoringsdata samen te verwerken en te linken.

In eerste instantie dient benadrukt, dat met de beschikbare gegevens of mits enkele bijkomende berekeningen nog een aantal verwerkingen zouden kunnen uitgevoerd worden. Zo zou het nuttig zijn om nog het volgende te doen:

- Onderzoek van relatie tussen luchtwegklachten en milieumeetgegevens van laatste jaren (vb. 5 jaargemiddelde emissiedrukken i.p.v. enkel 1-jaargemiddelden).
- Afstand tot meetpost groter nemen (straal van 4km) en nagaan van correlatie tussen meetstationwaarden en biomarkerwaarden.
- Hoogste gemodelleerde regio's t.o.v. laagste plaatsen en kijken of significant verschil in biomarkerwaarden tussen beide.
- Nagaan van de relatie tussen astma en de afstand tot dichtst bijzijnde autowegen (gebruik van informatie uit verkeerstellingen).

Daarnaast kunnen aanbevelingen worden gemaakt, zowel wat betreft de biomonitoring (aanpak + biomerkers), als wat betreft de organisatie van de milieumetingen, de gebruikte modellering (inzoomen of niet):

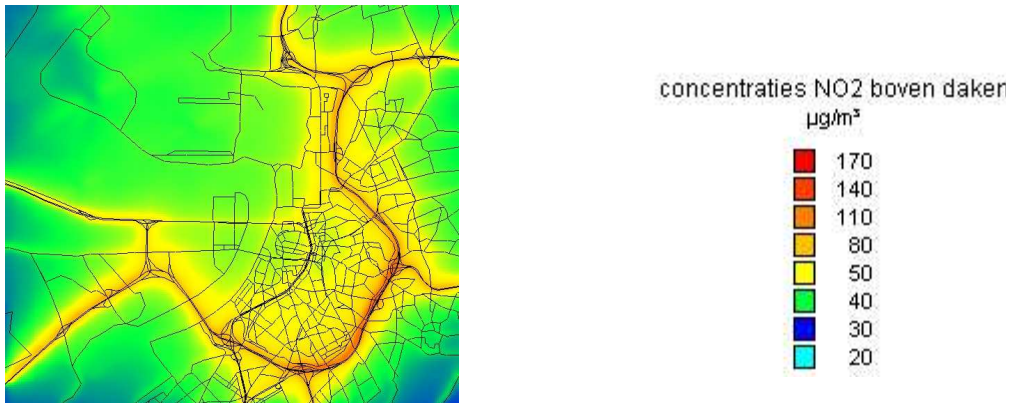
### **Biomonitoring**

- Het zou interessant zijn de humane biomonitoring meer verspreid en gebiedsdekkend uit te voeren voor Vlaanderen. Op die manier kan voor alle regio's een link gemaakt worden met emissiedrukgegevens op 500x500m niveau. Het zou ook toelaten om meer meetstationgegevens te gebruiken bij het onderzoek naar de link tussen blootstelling en biomarkermetingen. OPM: in de huidige studie waren de jongeren verdeeld over 163 4x4 km roostercellen.
- In tweede instantie kan ingezoomd worden op hotspots (bij meer mensen meten) en daar kan de blootstelling beter berekend worden door aangepaste en meer verfijnde modellen (zie modelleren). M.a.w. enkel inzoomen bij specifieke vraagstukken.
- Om de tijdstrend in luchtpolluenten na te gaan, is het vooral interessant om lange termijn biomerkers te gebruiken. Dit geldt eveneens voor het opsporen van geografische verschillen.
- Korte-termijn biomerkers kunnen interessant zijn bij bestuderen van hotspots. Gedurende de monitoringsperiode zou dan een meetwagen luchtpolluenten kunnen meten of (als het mogelijk is) persoonlijke dosimetrie kunnen gebeuren.
- Sommige adolescenten springen nonchalant om met hun dosimeter, wat maakt dat ze hun meter soms vergeten dragen of evt. niet meer vinden. Bij uitzondering werden er ook erg hoge meetwaarden opgetekend, wat laat vermoeden dat ze vermoedelijk (opzettelijk) in de nabijheid van een bron werden gelegd. Hier is het dus erg belangrijk om duidelijke informatie te geven omtrent het belang van het persoonlijk dragen van de dosimeter.
- Het zou interessant zijn een PAK's biomarker mee te nemen die specifiek is voor langere termijn blootstelling aan PAK's (cf. DNA adducten).
- Verschillende luchtpolluenten komen vaak samen voor en niet alle polluenten kunnen gemeten of gemodelleerd worden. Het zou derhalve interessant kunnen zijn in de periode van de biomonitoring, de blootstelling van de deelnemers in te schatten via effectgerichte metingen van luchtmonsters. Bij dit laatste worden luchtmonsters (deposities) geëxtraheerd en onderzocht op toxische, immunotoxische, genotoxische,.... eigenschappen.
- Het is interessant om opnieuw na te gaan in een volgende biomonitoringsproject of de hypothese kan bevestigd worden dat Cd op stofdeeltjes, de urinaire Cd concentraties beïnvloedt.
- Misschien is het interessant om het effect van veranderende temperatuur en daarmee gepaard gaande verandering in luchtpolluentconcentraties, ergens mee op te nemen in toekomstige biomonitoringscampagnes.

- In het licht van het onderzoek naar de relatie tussen luchtpollutie en biomerkers is het belangrijk een goede spreiding van de rekrutering te hebben over de seizoenen heen.
- Bij het onderzoek naar de link tussen de luchtpollutie en de biomerkers is het interessanter rokers niet mee te nemen, gezien roken een erg belangrijke bron is van de meeste bestudeerde pollutanten. In het huidige rapport werden de rokers (met uitzondering van blootstelling en meting van lood in het bloed) niet meegenomen.
- Adolescenten zijn een interessante groep bij de studie naar link tussen luchtpolluenten en biomerkers, gezien ze leven en naar school gaan in een vrij beperkte geografische regio (geen woon-werk verkeer bv.). Bovendien is er quasi nog geen beroepsblootstelling in deze leeftijdsgroep.

### **Modellering**

- In dit project werden de pollutantconcentraties gemodelleerd voor geheel Vlaanderen en voor verschillende tijdperiodes. Slechts een klein deel van de gemodelleerde concentraties werd uiteindelijk effectief gebruikt, namelijk enkel de concentraties in roostercellen die in de buurt van de scholen of de woonplaatsen van de adolescenten lagen (zie Figuur 2 en Figuur 3). De concentraties van de overige roostercellen werden niet gebruikt. Daarom kan het, afhankelijk van de ruimtelijke verdeling van de geselecteerde deelnemers nuttig zijn in volgende studies niet meer voor heel Vlaanderen te modelleren, maar enkel voor geselecteerde gebieden. Vito heeft de MOBILEE-aanpak ontwikkeld die reeds voor de stedelijke gebieden Antwerpen, Gent en Brugge is toegepast. In deze aanpak wordt gebruik gemaakt van de modellen IFDM, OSPM en MIMOSA om gedetailleerde pollutantconcentraties te berekenen voor een gebied van +/- 20 km x 20 km op een resolutie van 50 à 100 m. IFDM is een bi-Gaussische model, aangeduid als het referentiemodel in de Vlaamse milieureglementering VLAREM II, dat op lokale schaal concentraties van verontreinigende stoffen modelleert. OSPM is een 'street canyon'-model dat pollutantconcentraties berekent op straatniveau. De verkeersemisies worden aangeleverd door MIMOSA. Figuur 78 geeft een voorbeeld voor de stad Antwerpen. Met de MOBILEE-aanpak kunnen in principe enkel passieve pollutanten worden gemodelleerd gezien de Gaussiaanse aanpak geen omzettingsreacties toelaat. Om uiteindelijk toch tot NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> concentraties te bepalen werd nadien gebruik gemaakt van BeEUROS NO, NO<sub>2</sub> en O<sub>3</sub> berekende concentraties evenals van gemeten PM<sub>10</sub>-concentraties van het VMM-meetnet. In de toekomst kan men een totaalaanpak gebruiken: BeEUROS-AURORA evenals VMM-meetwaarden voor de randvoorwaarden en MOBILEE-aanpak voor locale detaillering indien gewenst. Bijkomende analyse van bestaande gegevens is aangewezen om de belangrijke gradiënten nabij grote verkeersaders/kruispunten beter in te schatten. Voor nieuwe of nog schaars bemonsterde pollutanten (vb. B(a)P) kan het nodig zijn bijkomende achtergrondgegevens te verzamelen. Indien deze hoge concentratievelden worden gebruikt kan het ook nodig worden gedetailleerdere informatie te bekomen betreffende het verplaatsingspatroon van de deelnemer zodat nadien een dynamische persoonlijke blootstelling kan berekend worden. In het kader van dit project was dit echter niet het einddoel. De huidige aanpak met 8 aandachtsgebieden focust meer op verschillen tussen aandachtsgebieden.



*Figuur 78: NO<sub>2</sub> concentratieveld voor de stad Antwerpen in 2003.*

- In deze studie werd betreffende fijn stof enkel de gemodelleerde primaire concentratie PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> in rekening gebracht. Dit is slechts een kleine fractie van het totale fijn stof aanwezig in de atmosfeer. Indien de secundaire deeltjesfractie ook wordt beschouwd, kan dit mogelijks tot andere resultaten leiden alhoewel analyse van secundaire fijn stof velden leert dat de ruimtelijke verschillen van de belangrijkste secundaire componenten klein zijn (Deutsch et al., 2007).
- Ook de chemische samenstelling van het fijn stof kan een belangrijke rol spelen in de gezondheidseffecten. Het BelEUROS-model is uitgerust met een fijn stof module die toelaat zowel de massa concentratie, de chemische samenstelling als de grootte verdeling (PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>) van het fijn stof te berekenen. Zo kan men nagaan welke onderdelen van het fijn stof met welke gezondheidseffecten associëren.
- Het gebruik van BelEUROS en AURORA voor de modellering van de ozon- en fijn stof concentraties is rekenintensief en vraagt een grote hoeveelheid invoergegevens. Een interessant alternatief voor ozon en fijn stof kan het gebruik van RIO zijn. RIO is een interpolatiemodel specifiek ontwikkeld voor de aanmaak van NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> en PM<sub>10</sub> gebiedsdekkende kaarten met een huidige resolutie van 4km. Tijdsresolutie is uurlijks. RIO is oorspronkelijk ontwikkeld voor ozon en nadien ook aangepast voor NO<sub>2</sub> en fijn stof. Het wordt momenteel operationeel gebruikt door de Intergewestelijke cel voor het leefmilieu (IRCEL-CELINE).

## 7 GEBRUIKTE BEGRIPPEN EN AFKORTINGEN

### 7.1 Gebruikte begrippen

**afwijking:** absoluut verschil in gemiddelde waarde tussen gemodelleerde en gemeten waarden over een bepaalde periode, al of niet uitgedrukt in absolute waarde of procentueel ten opzichte van de meetwaarden.

**concentratie:** het gehalte van een pollutant of vervuilende stof in de atmosfeer. Synoniem voor concentratie is immissie of immissiewaarde. Soms wordt ook wel eens de term immissieconcentratie gebruikt. De eenheid is massa-eenheid per volume-eenheid. Indien men een eenheid wil die onafhankelijk is van druk en temperatuur in de atmosfeer kan de eenheid ppm (parts per million volumedelen) gebruikt worden.

**correlatie:** Een correlatiecoëfficiënt is een maat voor de correlatie tussen twee stochastische grootheden (of stochastische variabelen). Men spreekt van correlatie als er tussen de beide grootheden een zekere lineaire samenhang is, in die zin dat waarden van de beide grootheden dezelfde of een tegengestelde tendens vertonen. Zo is er sprake van correlatie tussen de grootheden lengte en gewicht bij (volwassen) mensen. Met toenemende lengte neemt gemiddeld gezien ook het gewicht toe. Correlatie kan, maar hoeft niet op een causaal verband te duiden.<sup>16</sup>

**correlatiecoëfficiënt:** De correlatiecoëfficiënt is een getal dat de mate van correlatie tussen twee grootheden of variabelen aangeeft. Dit getal wordt aangeduid met de letter R en ligt tussen -1 en +1. In de grensgevallen  $R = -1$  en  $R = +1$  is er sprake van volledige correlatie. Bij  $R = -1$  is dat volledige negatieve correlatie en bij  $R = +1$  volledige positieve correlatie. Als er geen sprake is van enige correlatie, dan geldt  $R = 0$ . Stel dat het verband tussen twee grootheden  $x$  en  $y$  wordt onderzocht en dat er  $n$  punten  $(x_i, y_i)$  gegeven zijn. Voor de Pearson correlatiecoëfficiënt geldt dan:

$$R(x,y) = \frac{\text{Cov}(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Hierbij is  $\sigma_x$  en  $\sigma_y$  de standaardafwijking op de grootheden  $X$  en  $Y$ , respectievelijk.  $\text{Cov}(x,y)$  is de covariantie tussen de 2 grootheden, dit is een maat voor de spreiding van twee gekoppelde variabelen. De covariantie van  $x$  en  $y$  wordt aangeduid met  $\text{Cov}(x, y)$ . Als  $\text{Cov}(x, y)$  een positief getal is, dan is er sprake van positieve correlatie en als  $\text{Cov}(x, y)$  een negatief getal is, dan is er sprake van negatieve correlatie. Als er geen sprake is van enige correlatie, dan geldt  $\text{Cov}(x, y) = 0$ .

Laat een koppeling tussen twee variabelen  $x$  en  $y$  gegeven zijn door  $n$  punten  $(x_i, y_i)$ . De covariantie wordt dan :

$$\text{Cov}(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x) \cdot (y_i - \mu_y)}{n}$$

<sup>16</sup> Wanneer bij een onderzoek een hoge correlatie tussen twee variabelen wordt gevonden kan niet direct worden geconcludeerd dat de een oorzaak en de ander gevolg is. Ook een gemeenschappelijke oorzaak zou de grondslag kunnen zijn, of een algemene trend. Een bekend voorbeeld is de correlatie in de 20e eeuw tussen het vóórkomen van kanker en het aantal antennes op de daken van de huizen: beide namen gedurende enkele decennia sterk toe, maar er was geen enkel oorzakelijk verband. Een (significante) correlatie drukt dus niet noodzakelijk ook een oorzakelijk verband uit. Stel dat er een verband wordt gevonden tussen verhoogde agressiviteit bij kinderen en het aantal uren dat ze naar TV kijken. Dan is daarmee niet bewezen dat kinderen "agressief worden" van het televisiekijken. Net zo goed kan men beweren dat kinderen die in aanleg meer neigen tot agressiviteit ook vaker het televisiekijken als vrijetijdsbesteding kiezen. Er is in dit geval dus slechts sprake van een statistisch verband, en niet van een oorzakelijk verband.

Een andere valkuil is het zoeken naar een correlatie. Wanneer men enkele tientallen variabelen bestudeert en paarsgewijze correlaties uitrekent, komt men eenvoudig aan honderden correlatiecoëfficiënten. Zelfs wanneer de variabelen allemaal niets met elkaar te maken hebben kan er toevallig best een goede correlatie voorkomen. Een mooi voorbeeld is de correlatie tussen het vóórkomen van de ooievaar en het aantal baby's dat wordt geboren dat soms wordt gevonden voor bepaalde periodes van jaren in een bepaald land: er zijn heel veel jaren in heel veel landen waar deze correlatie niet opgaat, maar het is eenvoudig om deze even te vergeten en alleen naar het interessante resultaat te kijken (<http://nl.wikipedia.org>).

Hierbij zijn  $\mu_x$  en  $\mu_y$  de gemiddelde van de x-waarden en y-waarden, respectievelijk.

**emissie:** de uitstoot in de atmosfeer van milieuvervuilende stoffen ten gevolge van menselijke activiteiten. Emissies worden voor een bepaald gebied of regio meestal uitgedrukt in een massa-eenheid per tijdseenheid, bijv. ton/jaar of g/s.

**emissiedrukken:** genormaliseerde emissies per oppervlakte-eenheid en worden uitgedrukt in een massa-eenheid per tijdseenheid per oppervlakte-eenheid, bijv. kg/s/m<sup>2</sup> of ton/jaar/km<sup>2</sup>.

**immissie:** zie concentratie

**luchtkwaliteitsmodel:** vereenvoudigd is een luchtkwaliteitsmodel een rekenmodel dat vertrekkende van emissievelden en meteovelden, concentratievelden berekend voor een gekozen regio/gebied. Afhankelijk van de gewenste resolutie van de concentratievelden en de benodigde nauwkeurigheid zijn een gans gamma van soorten luchtkwaliteitsmodellen aanwezig.

**odds:** een odds wordt berekend door het aantal gebeurtenissen dat bestudeerd wordt (bv. de geboorte van een jongen), te delen door het aantal keren dat de bestudeerde gebeurtenis niet voorkomt (in ons voorbeeld de geboorte van een meisje). Stel dat je 100 geboorten hebt, waarvan 54 jongens en 46 meisjes, dan is de odds op een jongen = 54/46=1.17.

**OR: odds ratio:** verhouding van twee 'odds': de 'odds' in de aan vervuiling blootgestelde groep gedeeld door de 'odds' in de niet aan vervuiling blootgestelde groep. De OR is te interpreteren als het aantal maal hoger risico op de positieve respons bij blootgestelden t.o.v. niet-blootgestelden. De OR is statistisch significant indien de waarde '1' niet binnen het betrouwbaarheidsinterval ligt.

**p-waarde:** geeft de mate waarin de statistisch gevonden relatie of de gemeten verschillen betrouwbaar zijn. Een p-waarde van 0.05 betekent dat er 5% kans bestaat dat de gevonden relatie of het verschil berusten op toeval.

**polluent:** schadelijke stof in de atmosfeer, al of niet rechtstreeks door de mens uitgestoten of gevormd in de atmosfeer (fotochemisch of fysisch-chemisch). De eerste soort noemt men primaire pollutanten (CO, primair fijn stof, koolwaterstoffen, vluchtige organische stoffen, persistente organische stoffen, koolstofoxiden, zwaveldioxide, ammoniak, zware metalen), de tweede soort worden aangeduid met secundaire pollutanten. De belangrijkste voorbeelden zijn ozon en secundair fijn stof.

## 7.2 Afkortingen

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>AURORA</b>               | Air quality modelling in Urban Regions using an Optimal Resolution Approach                                   |
| <b>ARPS</b>                 | Advanced Regional Prediction System   |
| <b>B(a)P</b>                | Benzo-a-pyreen  |
| <b>BMI</b>                  | Body mass index   |
| <b>ECMWF</b>                | European centre for medium-range weather forecast ( <a href="http://www.ecmwf.int">http://www.ecmwf.int</a> ) |
| <b>GIS</b>                  | Geografisch informatie-systeem  |
| <b>PAK's</b>                | Poly-aromatische koolwaterstoffen   |
| <b>PM<sub>10</sub></b>      | Particulate Matter with aerodynamic diameter < 10 µm (fijn stof)  |
| <b>PM<sub>10-prim</sub></b> | De primaire fractie van PM <sub>10</sub>  |
| <b>VOS</b>                  | Vluchtige Organische Stoffen  |

## 8 REFERENTIES

Anderson R, Atkinson R, Peacock JL, Marston L, Konstantinou K (2004) Metaanalysis of time-series and panel studies on Particulate Matter and ozone (O<sub>3</sub>), WHO task group. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen 2004 (EUR/04/5042688),

<http://www.apheis.net/FinalReportNew/WP5OAPAppendix1.pdf>

Brits E., Schoeters G. and Verschaeve L. (2004) Genotoxicity of PM<sub>10</sub> and extracted organics collected in an industrial, urban and rural area in Flanders, Belgium. *Environ Res* 96, 109-118

Burnett RT, Smith-Doiron M, Stieb D, Raizenne ME, Brook JR, Dales RE, Leech JA, Cakmak S, Krewski D (2001) Association between ozone and hospitalization for acute respiratory diseases in children less than 2 years of age. *Am.J.Epidemiol.* 153: 444-452.

Cornelis, C., J. Bierkens, I. De Vlieger, I. Liekens, J. Nouwen, J. Provoost, R. Weltens, M. Wevers, G. Wouters, V. Du Four, N. Van Larebeke (2005). Evaluatie van de blootstelling aan PAK's – Inventarisatiestudie deel I: voorstel gidsstoffen en inventarisatie emissie, immissie en omzettingsreacties. VITO-rapport 2005/IMS/R/058.

Cornelis, C., Lefebvre, F., Janssen, L., Van De Weghe, H., Wevers, M & G. Wouters (2006) Evaluatie van de blootstelling aan PAK's – inventarisstudie. WP6: Bepaling van de blootstelling. VITO-rapport 2006/IMS/R/199.

Council Directive 96/62/EC of 27 September 1996 on ambient air quality assessment and management, Document 396L0062, Official Journal L 296, 21/11/1996, p. 0055-0063.

Deutsch, F., Vankerkom, J., Janssen, L. and C. Mensink (2007). Verdere validatie van het geoptimaliseerde BelEUROS model voor Vlaanderen en omliggende regio's. Vito-rapport 2007/IMS/R/009

EMEP (<http://www.emep.int>)

EMEP (2003) Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe, PART 1 – Unified EMEP Model Description, EMEP Status Report 2003, by David Simpson, Hilde Fagerli, Jan Eiof Jonson, Svetlana Tsyro, Peter Wind and Juha-Pekka Tuovinen, MSC-W.

Friese, E., Jakobs, H.J., Memmesheimer, M., Feldmann, H., Kessler, C., Piekorz, G. & A. Ebel (2002). ANABEL (Ausbreitungsrechnungen für Nordrhein-Westfalen zur Anwendung im Rahmen der Beurteilung der Luftqualität nach EU-Richtlinien), Förderverein des Rheinischen Instituts für Umweltforschung an der Universität zu Köln im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen.

Gery, M.W., Whitten, G.Z., Killus, J.P & Dodge M.C. (1989) A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling, *Journal of Geophysical Research*, 94 (D10), 12925-12956.

Heymann, Y., Steenmans, C., Croisille, G. & M. Bossard (1994), 'Corine land cover – Technical guide', *Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg*.

Hirsch, T., Weiland, S.K., von Mutius, E., Safeca, A.F., Gräfe, H., Csaplovics, E., Duhme, H., Keil, U. & W. Leupold (1999) Inner city air pollution and respiratory health and atopy in children. *European Respiratory Journal*, 14: 669-677.

Hurley, P., Manins, P., Lee, S., Boyle, R., Ng, Y.L. & P. Dewundege (2003), 'Year-long, high-resolution, urban airshed modelling : verification of TAPM predictions of smog and particles in Melbourne, Australia.', *Atmospheric Environment* 37, 1899.

Ihorst, G., Frischer, T., Horak, F., Schumacher, M., Kopp, M., Forster, J., Mattes, J. & J. Kuehr (2004) Long- and medium-term ozone effects on lung growth including a broad spectrum of exposure. *Eur. Respir. J.*, 23: 292-299.

Koppen, G., Verheyen, G., Maes, A., Van Gorp, U., Schoeters, G., Den Hond, E., Steassen, J., Nawrot, T., Roels, H., Vlietinck, R. & L. Verschaeve (2007) A battery of DNA effect biomarkers to evaluate environmental exposure of Flemish adolescents. *Journal of Applied Toxicology*, 26 (in press).

Koren HS. (1995) Associations between criteria air pollutants and asthma, *Environmental Health Perspectives*, 103: 235-242.

Kyrtopoulos, S.A., Georgiadis, P., Aytrup, H., Demopoulos, N., Farmer, P., Haugen, A., Katsouyanni, K., Lambert, B., Ovrebo, S., Sram, R., Stefanou, G. & J. Topinka (2001) Biomarkers of genotoxicity of urban air pollution. Overview and descriptive data from a molecular epidemiology study on populations exposed to moderate-to-low levels of polycyclic aromatic hydrocarbons: the AULIS project. *Mutat. Res.* 496: 207-228.

Lefebre, F., De Ridder, K., Lewycky, N., Janssen, L., Geyskens, F., Mensink, C. (2003). Evaluation of AURORA simulated benzene concentrations for the urban area of Antwerp, Proc. 26<sup>th</sup> NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Applications, Istanbul, Turkey, 26-30 May 2003, Preprints, p. 444-451.

Lefebre, F., K. Van de Vel, J. Vliegen, J. Vankerkom, L. Janssen, F. Deutsch (2006). Evaluatie van de blootstelling aan PAK's, Inventarisatiestudie - WP4: Immissiemodellering PAK's. Vito-rapport 2006/IMS/R/0082.

Louie MM, Kolaczyk ED. A multiscale method for disease mapping in spatial epidemiology (2002). *Statistics in Medicine*, 25, 1287-1306.

Mather FJ, White LA E, Cullen Langlois E, Franklin Shorter C, Swalm CM, Shaffer JG, and Hartley WR (2004). *Statistical Methods for Linking Health, Exposure, and Hazards*, *Environ Health Perspect.* 112(14): 1440–1445.

Mensink, C., De Ridder, K., Lewycky, N., Delobbe, L., Janssen, L., Van Haver, P. (2001). Computational aspects of air quality modelling in urban regions using an optimal resolution approach (AURORA), Large-scale scientific computing lecture notes in computer science, 2179, 299-308.

Motykiewicz, G., Michalska, J., Pendzich, J., Malusecka, E., Strozyk, M., Kalinowska, E., Butkiewics, D., Mielzynska, D., Midro, A., Santella, R.M. & M.A. Chorazy (1998) A molecular epidemiology study in women from Upper Silesia, Poland. *Toxicol. Lett.*, 96-97: 195-202.

Nicolai, T., Carr, D., Weiland, S.K., Duhme, H., von Ehrenstein, O., Wagner, C. & E. Von Mutius (2003) Urban traffic and pollutant exposure related to respiratory outcomes and atopy in a large sample of children. *European Respiratory Journal*, 21: 956-963.

Pew Environmental Health Commission 2000. America's Environmental Health Gap: Why the Country Needs a Nationwide Health Tracking Network. Technical Report. Baltimore, MD: Pew Environmental Health Commission.

Risom, L., Møller, P. & S. Loft (2005) Oxidative stress-induced DNA damage by particulate air pollution. *Mutation Research, Fundamental and molecular mechanisms of mutagenesis*, 592(1-2): 119-137.

Scherer, G., Frank, S., Riedel, K., Meger-Kossien, I. & T. Renner (2000) Biomonitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons of nonoccupationally exposed persons. *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.*, 9: 373-380.

Schikowski, T., Sugiri, D., Ranft, U., Gehring, U., Heinrich, J., Wichmann, H.E. & U. Krämer (2005) Long-term air pollution exposure and living close to busy roads are associated with COPD in women. *Respiratory Research*, 6: 152.

Schmidt, H., Derognat, C., Vautard, R., and Beekmann, M. (2001) A comparison of simulated and observed ozone mixing ratios for the summer of 1998 in Western Europe. *Atmospheric Environment*, **35**, 2449-2461.

Schoeters G., Brits E., Torfs R. (2003) In vitro onderzoek naar de effecten van zwevend stof  
Verslagboek bij het Symposium "10 jaar Milieu en Gezondheid in Vlaanderen en Europa", Leuven 43-56. ISBN 908082

Sørensen, M., Autrup, H., Hertel, O., Wallin, H., Knudsen, L.E. & S. Loft (2003) Personal exposure to PM<sub>2.5</sub> and biomarkers of DNA damage. *Cancer Epidemiology, biomarkers & prevention*, **12**: 191-196.

Staessen JA, Nawrot T, Hond ED, Thijs L, Fagard R, Hoppenbrouwers K, Koppen G, Nelen V, Schoeters G, Vanderschueren D, Van Hecke E, Verschaeve L, Vlietinck R, Roels HA. (2001) Renal function, cytogenetic measurements, and sexual development in adolescents in relation to environmental pollutants: a feasibility study of biomarkers. *Lancet*. 2001 May 26;357(9269):1660-9.

Stokstad, E. (2004) Biomonitoring: pollution gets personal. *Science*, **304**(5679): 1892-1894.

Sunyer, J., Spix, C., Quénel, P., Ponce-de\_Leon, A., Pönka, A., Barumandzadeh, T., Touloumi, G., Bacharova, L., Wojtyniak, B., Vonk, J., Bisanti, L., Schwartz, J. & K. Katsouyanni (1997) Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA Project. *Thorax*, **52**: 760-765.

Torfs R., Schrooten L., Int Panis L., Bleux N., Hooyberghs J., Mensink C., Schoeters G., Brits E., De Nocker L., Wouters G., Stranger M., Van Grieken R. (2004) Evaluatie van beleidsscenario's met betrekking tot fijn stof (PM2.5) Rapport Vito

Tovalin, H., Valverde, M., Morandi, M.T., Blanco, S., Whitehead, L. & E. Rojas (2006) DNA damage in outdoor workers occupationally exposed to environmental air pollutants. *Occupational and Environmental Medicine*, **63**: 230-236.

Thunis, P., Galmarini, S., Martilli, A., Clappier, A., Andronopoulos, S., Bartzis, J., Vlachogiannis, D., De Ridder, K., Moussiopoulos, N., Sahm, P., Almbauer, R., Sturm, P., Oettl, D., Dierer, S., Schlunzen, K.H. (2003). An inter-comparison exercise of mesoscale flow models applied to an ideal case simulation, *Atmos. Envir.*, **37**(3), 363-382.

Van Larebeke, N en R. De Bont, (2002) literatuurstudie Benzeen: het risico op kanker, Steunpunt Milieu en Gezondheid, Vakgroep Radiotherapie, Kerngeneeskunde en Experimentele Cancerologie, Universiteit Gent

VMM (2003). Luchtkwaliteit in het Vlaamse gewest – 2002. Vlaamse milieumaatschappij, Aalst. 266 pp + bijlagen.

VMM (2005) Immissiemetingen te Knesselare en Zwalm, periode januari 2004 – januari 2005, Vlaamse Milieumaatschappij, december 2005

Voorstel voor een richtlijn van de Raad betreffende grenswaarden voor benzeen en koolmonoxide in de lucht, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen 1999/C/53/07.

[www.radiello.com](http://www.radiello.com) [2004]

Wheeler, B.W. & Y. Ben-Shlomo (2005) Environmental equity, air quality, socioeconomic status, and respiratory health: a linkage analysis of routine data from the Health Survey for England. *J. Epidemiol. Community Health*, **59**: 948-954.

WHO (1993). ICPS, Environmental Health Criteria 150: Benzene.



Wilhelm, M., Eberwein, G., Holzer, J., Begerow, J. Sugiri, D., Glatke, D. & U. Ranft (2005) Human biomonitoring of cadmium and lead exposure of child-mother pairs from Germany living in the vicinity of industrial sources (hot spot study NRW). *J. Trace Elem. Med. Biol.* 19(1): 83-90.

Xue, M., K. K. Droegemeier, and Wong, V. (2000). The Advanced Regional Prediction System (ARPS) - A multiscale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction tool. Part I: Model dynamics and verification. *Meteor. Atmos. Physics.*, 75, 161-193.

Yu, O., Sheppard, L., Lumley, T., Koenig, J.O. & G.G. Shapiro (2000) Effects of ambient air pollution on symptoms of asthma in Seattle-area children enrolled in the CAMP study. *Environmental Health Perspectives*, 108(12): 1209-1214.

## 9 BIJLAGEN

### Bijlage 1: Geografische spreiding van de emissiegegevens

De totale emissiecijfers per sector en per jaar voor Vlaanderen uit de VMM-rapporten moeten geografisch gespreid worden om als invoergegevens door het roostermodel AURORA te worden ingelezen. Er werd per sector een geografische opdeling toegepast. Voor bepaalde sectoren, zoals de grote industriële schoorsteenbronnen, vormt dit geen probleem daar de VMM emissie-inventaris deze bronnen nauwkeurig kent naar plaats, hoogte van de schoorsteen etc. De verkeeremissies werden berekend met het MIMOSA-verkeeremissiemodel dat op basis van de beschikbare verkeersstroomgegevens toelaat geografisch opgedeelde emissies te berekenen. Voor andere sectoren zoals de sector "bevolking" zijn enkel de totale brandstofverbruiken gekend en moet een algoritme worden toegepast om deze emissies te spreiden over Vlaanderen.

De emissiedrukkaarten werden aangemaakt met een resolutie van 500 op 500 meter.

Hieronder volgt een beknopte beschrijving van de werkwijze. Meer informatie over de gebruikte gegevens en methode kan worden nagelezen in Colles et al. (2004)

#### **Sector bevolking**

Voor de sector 'bevolking' werd gebruik gemaakt van het aantal wooneenheden per gemeente (2002 en 2003) zoals gerapporteerd door NIS op de webpagina van Ecodata (Federale overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie) en de woonzone in de gewestplannen (GIS Vlaanderen, 2001). Het aantal wooneenheden doet dan dienst als verdeelsleutel over de gemeenten en de woonzone van de gewestplannen werd gebruikt voor de toewijzing aan de cellen van het rooster met een resolutie van 500 meter. Op basis van het aantal wooneenheden werd voor elke gemeente de bijdragefractie bepaald ten opzichte van het totaal aantal wooneenheden in Vlaanderen. Deze fractie werd vermenigvuldigd met het emissiecijfer voor de sector 'bevolking', wat emissies per gemeente opleverde. Deze emissies werden toegekend aan de woonzone van elke gemeente op basis van de gewestplannen. Hiervoor werd in een GIS-omgeving de intersectie berekend van de woonzones van de gemeenten en de roostercellen van 500m x 500m. Voor elke gemeente werd het aandeel van deze woonzone per cel vermenigvuldigd met de emissie van die gemeente, wat resulteerde in een emissiecijfer per cel.

#### **Sectoren industrie, energie, crematoria, aanverwante petroleumsector, afvalverwerking en individuele bedrijven**

Voor de sectoren 'industrie' en 'energie' en de handel en diensten deelsectoren 'crematoria', 'aanverwante petroleumsector', 'afvalverwerking' en 'individuele bedrijven' zijn de geografische coördinaten van de afzonderlijke bedrijven bekend met emissies per bedrijf of per puntbron.

#### **Sector landbouw**

*Veelteelt (stallen en opslag, weide en uitrijden van dierlijk mest)*

Door MIRA werden totale NO<sub>x</sub>-emissies voor Vlaanderen per jaar doorgegeven. Deze werden omgezet in emissies per VHA-zone aan de hand van gegevens over de hoeveelheid gebruikte dierlijke mest per VHA-zone, uitgedrukt in kg N. Dit zijn zones beschreven in de Vlaamse Hydrografische Atlas welke datasets bevat in verband met oppervlaktewater, waterlopen, waterbekkens, waterwingebieden, ed. (OC-GIS Vlaanderen). De emissies per VHA-zone werden dan toegekend aan de landbouwgebruikspercelen voor graasdierhouderijen en intensieve veeteelt voor 2001 (tabel B1-1). De emissies zullen dus niet over de hele VHA-zone wordt gespreid, maar

enkel aan de geselecteerde landbouwzones. Hierop werd een rooster gelegd met een resolutie van 500 meter en werd voor elke cel bepaald welk percentage door de landbouwzones wordt ingenomen wat uiteindelijk resulteerde in emissies per cel.

*Tabel B1-1: Gebruikspcelen voor graasdierhouderijen en intensieve veeteelt*

| <b>Deelsector</b> | <b>Gebruikspceel</b> |
|-------------------|----------------------|
| Graasdierhouderij | gras (permanent)     |
|                   | gras (tijdelijk)     |
|                   | stal-gebouwen        |

### *Kunstmestgebruik in de landbouw*

De emissies door kunstmestgebruik werden aangeleverd per gemeente. Ook hier werd gekozen voor het spreiden volgens de landbouwgebruikspcelen van 2001. In dit geval werden de pcelen van akkerbouw (tabel B1-2), tuinbouw (tabel B1-3) en blijvende teelten (tabel B1-4) samengenomen. De emissies per cel werden op gelijkaardige wijze bepaald als beschreven voor veeteelt.

*Tabel B1-2: gebruikspcelen voor akkerbouw*

| <b>Deelsector</b> | <b>Gebruikspceel</b>            |
|-------------------|---------------------------------|
| Akkerbouw         | Aardappelen                     |
|                   | Ander vlinderbloemig gewas      |
|                   | Andere                          |
|                   | Braak                           |
|                   | Cichorei                        |
|                   | Erwten/bonen droge peulvruchten |
|                   | Graszoden                       |
|                   | Haver                           |
|                   | Klaver                          |
|                   | Koolzaad                        |
|                   | Luzerne                         |
|                   | Maïs                            |
|                   | Rogge                           |
|                   | Spelt                           |
|                   | Suikerbieten                    |
|                   | Tabak                           |
|                   | Triticale                       |
|                   | Vlas                            |
|                   | Voederbieten                    |
|                   | Wintergerst                     |
|                   | Wintertarwe                     |
|                   | Zomergerst                      |
| Zomertarwe        |                                 |

Tabel B1-3: gebruikspcelen voor tuinbouw

| Deelsector         | Gebruikspceel                  |
|--------------------|--------------------------------|
| vollegrondtuinbouw | Ajuin                          |
|                    | Erwten/bonen voor industrie    |
|                    | Erwten/bonen voor vers gebruik |
|                    | Groenten voor de industrie     |
|                    | Groenten voor vers gebruik     |
|                    | Hop                            |
|                    | Sierplanten                    |
|                    | Sjalotten                      |
|                    | Witlof                         |
|                    | Wortelen industrie             |
|                    | Wortelen vers gebruik          |

Tabel B1-4: gebruikspcelen voor blijvende teelten

| Deelsector        | Gebruikspceel   |
|-------------------|-----------------|
| Blijvende teelten | Boomkweek       |
|                   | Fruit(bomen)    |
|                   | Fruit(struiken) |

### *Brandstofverbruik in de landbouw (akkerbouw, volle grond tuinbouw en veeteelt) en in de glastuinbouw*

De emissies ten gevolge van brandstofgebruik in de akkerbouw, veeteelt, open lucht tuinbouw en glastuinbouw werden verdeeld over de landbouwgebruikspcelen (tabel B1-1, tabel B1-2, tabel B1-3, tabel B1-4 en tabel B1-5) per gemeente. Als verdeelsleutel over de gemeenten werd het aandeel van de gemeenten in akkerbouw, veeteelt, tuinbouw en glastuinbouw ten opzichte van Vlaanderen bepaald uit de NIS-bestanden (tabel B1-6). De bekomen fractie per gemeente werd vermenigvuldigd met de totale Vlaamse emissies voor de betreffende deelsector, wat resulteerde in een emissie per gemeente. Deze emissies werden toegekend aan de geschikte landbouwgebruikspcelen binnen de gemeente. De emissies per cel werden op gelijkaardige wijze berekend als voor veeteelt.

Tabel B1-5: gebruikspcelen voor glastuinbouw

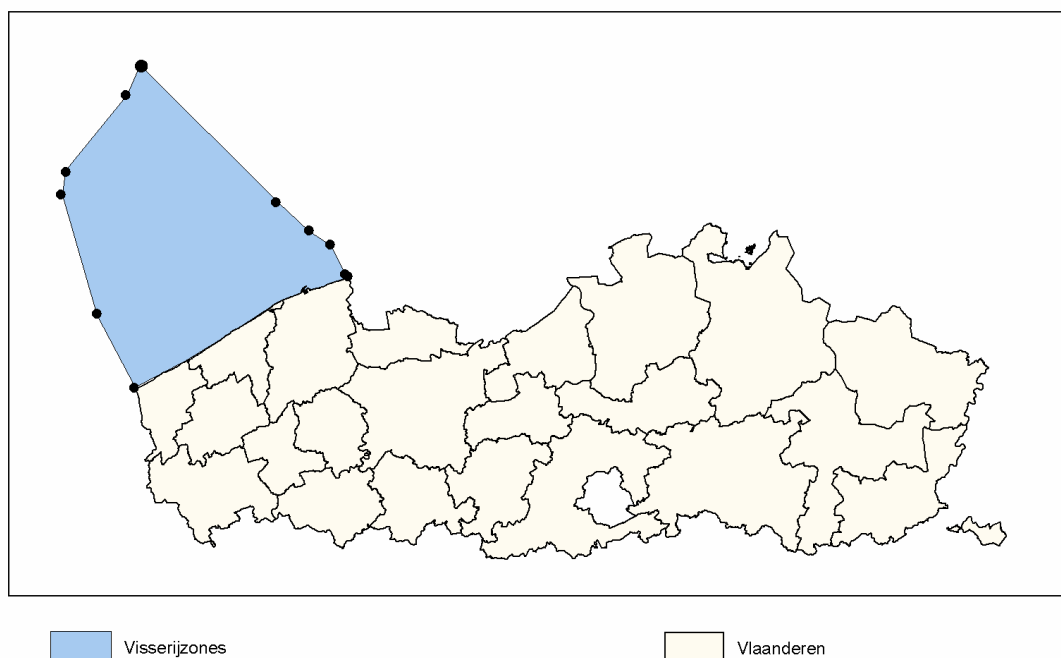
| Deelsector   | Gebruikspceel   |
|--------------|-----------------|
| Glastuinbouw | Andere gebouwen |

Tabel B1-6: geselecteerde NIS-codes voor 2002.

|              | Code    | Omschrijving                |
|--------------|---------|-----------------------------|
| akkerbouw    | C100000 | Bouwland                    |
|              | O020000 | Nateelten                   |
| veeteelt     | A100000 | Totaal aantal runderen      |
|              | A200000 | Totaal aantal varkens       |
|              | A300000 | Totaal aantal schapen       |
|              | A400000 | Totaal aantal geiten        |
|              | A500000 | Totaal aantal paardachtigen |
|              | A600000 | Totaal aantal pluimvee      |
| Tuinbouw     | C200000 | Teelt vaste planten         |
|              | O070000 | Totaal nieuwe aanplantingen |
| Glastuinbouw | C400000 | Teelten in serres           |
|              | O030000 | Kampnoelieteelt             |
|              | O040000 | Forcerie van witloof        |

### Visserij

Voor de visserij werden de emissies gelijkmatig gespreid over de visserijzones in de Belgische territoriale wateren (BMM) (figuur B1-1). Hierover werd een rooster gelegd met resolutie van 500 meter en het aandeel per cel wordt bepaald.



Figuur B1-1: zone bestemd voor visserijemissies, gebaseerd op de territoriale wateren.

## **Sector verkeer en vervoer**

### *Wegverkeer*

Voorlopig worden de verkeersemisssies door VMM gerapporteerd als een totaal cijfer voor Vlaanderen per jaar, zonder geografische spreiding. Door de verkeersemisssies te berekenen met het MIMOSA-model, is het wel mogelijk een geschikte geografische spreiding van deze emisssies te bekomen.

Het MIMOSA-model werd ontwikkeld in opdracht van AMINABEL (sectie Lucht) (Lewyckij et al., 2002) en heeft al verschillende verfijningen en aanpassingen ondergaan (Lefebvre et al., 2003b, Vankerkom et al., 2005). Het model berekent op basis van verkeersstromen verkeersemisssies per lijnstuk en per oppervlakte-eenheid op basis van de voertuigaantallen en –snelheden gegeven door het verkeersmodel, emissiefactoren uit MEET/COPERT-III en een opgegeven wagenpark. Deze methodologie is coherent met andere modellen die gebruikt worden op Vlaams niveau door zowel VITO (TEMAT) als de overheid (COPERT-III).

Voor deze studie werd MIMOSA voorzien van een rooster met een resolutie van 500 meter in plaats van het standaard 1 km rooster. De door MIMOSA berekende emisssies vertonen een lichte afwijking ten opzichte van de door MIRA gerapporteerde emisssies. Deze afwijking is vooral te wijten aan een verschil in gebruikte inputgegevens (hoofdzakelijk het aantal voertuigkilometers). Om toch met officieel gerapporteerde cijfers te werken en een geografische spreiding mogelijk te maken, werd voor alle cellen van het rooster de verhouding van de emisssies per cel ten opzichte van de totaal berekende MIMOSA-emisssies bepaald. Deze verhouding werd doorgerekend naar de totale verkeersemisssies voor Vlaanderen zoals gerapporteerd door MIRA. Dit leverde nieuwe emisssies per rooster cel zodat gewerkt werd met de door MIRA gerapporteerde cijfers, maar deze werden procentueel over de rooster cellen verdeeld volgens de MIMOSA-berekening. Deze aanpassing zal in de toekomst niet meer nodig zijn, omdat vanaf 2005, de VMM het COPERT model gaat vervangen door het MIMOSA-model in combinatie met verkeersgegevens op basis van verkeersstellingen aangeleverd door het verkeerscentrum AWV gevestigd te Wilrijk ([www.verkeerscentrum.be](http://www.verkeerscentrum.be)).

### *Luchtvaart*

Deze sector omvat 3 burgerluchthavens (Zaventem, Oostende en Deurne) en 6 militaire luchthavens (Kleine Brogel, Brasschaat, Sint-Truiden, Goetsenhoven, Koksijde en Melsbroek). Voor de 3 burger luchthavens en voor Melsbroek waren afzonderlijke emisssies beschikbaar. Voor de overige militaire luchthavens was er slechts één emissiecijfer per jaar voor de 5 luchthavens samen. Voor deze 5 luchthavens werd het emissiecijfer over de luchthavens verdeeld overeenkomstig hun respectievelijk oppervlakte. Voor de geografische toekenning van de emisssies werd de oppervlakte van de luchthavens bepaald alsook het middenpunt van de domeinen. Rond dit punt werd dan een cirkel getrokken met dezelfde oppervlakte als de oppervlakte van het domein. De luchthavens werden beschouwd als oppervlaktebronnen met de coördinaten van het middenpunt en een diameter gelijk aan de diameter van de berekende cirkel.

Voor de luchthaven van Melsbroek werden in de gewestplannen enkel gebouwen aangetroffen, grenzend aan het domein van de luchthaven van Zaventem. De militaire luchthaven Melsbroek maakt gebruik van de landingsbanen van de burger luchthaven Zaventem. Om die reden werden de emisssies van Melsbroek en Zaventem opgeteld en toegekend aan de oppervlaktebron Zaventem.

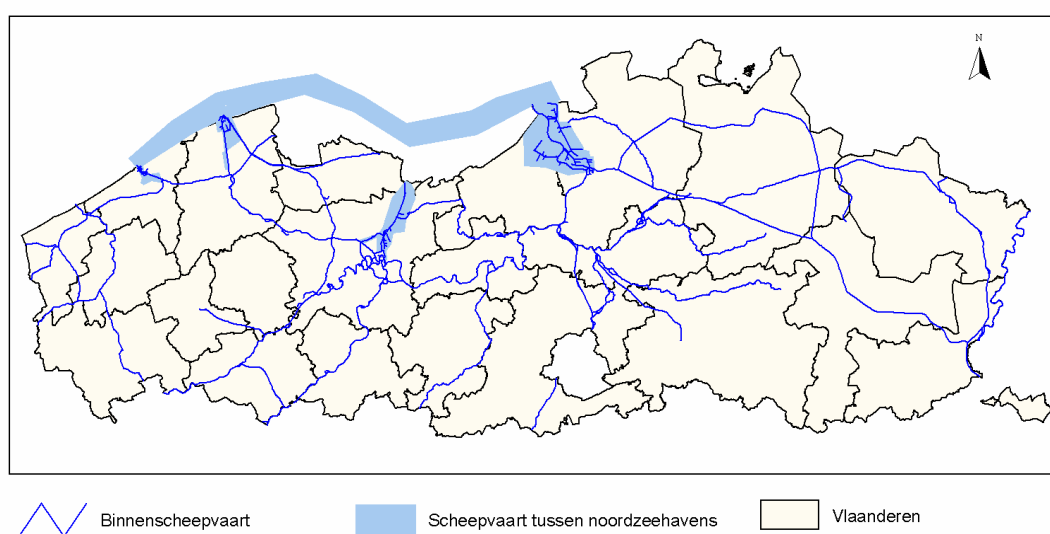
### *Scheepvaart*

#### - binnenscheepvaart

Uit de dataset waterlopen in Vlaanderen (Streetnet, TeleAtlas) werden de bevaarbare waterlopen geselecteerd (figuur B1-2) en de totale lengte berekend. Na intersectie van deze waterlopen met een rooster met resolutie van 500m x 500m werd de fractie van de waterlopen in elke cel bepaald. Door deze fractie te vermenigvuldigen met de totale emissies voor Vlaanderen werden emissies per cel bekomen. De emissies werden gelijkmatig over de bevaarbare waterlopen gespreid.

#### - scheepvaart tussen Noordzeehavens

De emissies werden gelijkmatig verdeeld over de havens van Antwerpen, Gent, Oostende en Zeebrugge en een zelf bepaalde verbinding tussen de havens op basis van de scheepvaartroutes (figuur B1-2). Ook hier werd terug in ArcView de intersectie gemaakt tussen deze gebieden en een 500m x 500m rooster om de fractie per cel te bekomen die vermenigvuldigd werd met de emissies.



Figuur B1-2: domein Noordzeehavens, scheepvaartroutes en binnenscheepvaart

### Spoorverkeer

Uit een dataset van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI) konden de spoorwegen gevisualiseerd worden in ArcView en werd de totale lengte bepaald. Na intersectie met een 500m x 500m rooster kon de fractie per cel worden bepaald die werd vermenigvuldigd met de emissies voor Vlaanderen. De emissies werden gelijkmatig gespreid over het spoorwegennet.

## **Sector handel en diensten**

### Tankstations

De emissiegegevens van de tankstations werden geografisch gespreid, gebruik makend van het aantal tankstations per gemeente zoals geregistreerd in 2002 en 2003 door Fapetro. Gezien enkel de adressen van de tankstations beschikbaar waren en niet de geografische coördinaten, werden deze gegevens toegewezen aan een combinatie van woongebied en KMO-zone uit de gewestplannen. Voor elke gemeente werd het aandeel van deze zone per cel van 500 m x 500 m bepaald, wat dan vermenigvuldigd werd met de fractie tankstations die de gemeente bevat t.o.v. het totaal aantal tankstations in Vlaanderen. Het zo bekomen cijfer per cel werd vermenigvuldigd met de totale emissies, wat emissies per cel opleverde.

## *Gebouwenverwarming in de handel- en dienstensector*

De emissies voor gebouwenverwarming in de handel- en dienstensector werden toegewezen aan de combinatie woonzone – KMO-zone van de gemeenten en hierover gespreid op basis van het aantal werknemers per gemeente (RSZ-gegevens) en het aantal ondernemingen per gemeente (Ecodata). Voor elke gemeente werden het aantal werknemers en het aantal ondernemingen opgeteld. Dan werd per gemeente de fractie van deze som bepaald ten opzichte van het totaal voor Vlaanderen. Uit de gewestplannen werden de nodige zones geselecteerd en de intersectie gemaakt met het 500 m x 500 m rooster. Voor elke cel werd dan de fractie van deze zone bepaald en vermenigvuldigd met de fractie werknemers + ondernemingen van die gemeente. Het zo bekomen cijfer per cel werd vermenigvuldigd met de totale emissies, zodat emissies per cel werden verkregen.

### Referenties

Colles, A., Janssen, L en C. Mensink (2004) *Optimalisatie OPS model*. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij. VITO-rapport n°2005/IMS/R/029

Federale overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie  
[http://ecodata.mineco.fgov.be/Nl/begin\\_nl.htm](http://ecodata.mineco.fgov.be/Nl/begin_nl.htm)

GIS Vlaanderen (2001) CD-ROM: Gewestplan: Digitale vectoriële versie van de geactualiseerde gewestplannen van Vlaanderen, op schaal 1/10.000 opgemaakt door MVG, LIN, AROHM, afdeling Ruimtelijke Planning.

GIS Vlaanderen: VHA-zones:

[http://web.gisvlaanderen.be/gis/producten/middenschalig/Bmid\\_vha.jsp](http://web.gisvlaanderen.be/gis/producten/middenschalig/Bmid_vha.jsp)

Lefebvre, F., Lewyckyj, L., Janssen, L., Ruts, M. en C. Mensink (2003) Milieu- en Natuurrapport Vlaanderen (MIRA): Uitbreiding van de MIMOSA milieu-impactmodule voor de berekening van verkeersemisies in Vlaanderen. VITO rapport 2003/TAP/R/013.

Lewyckyj, N., Colles, A., Cornelis, J., Janssen, L., Cornelis, E., De Vlieger, I., Verlinden, K. en C. Puttemans (2002) Uitbouw milieu-impactmodule gekoppeld aan multi-modale verkeers- en vervoersmodellen. VITO-rapport 2002/TAP/R/019

Vankerkom, J., Lefebvre, F., De Vlieger, I., Cornelis, E., Schrooten, L., Peetermans, E., Puttemans, C., Verlinden, K. (2005). Gecombineerd gebruik van verkeerstellingen en TRIPS/32 modeloutput binnen MIMOSA: implementatie, validatie en afstemming met TEMAT en FOD mobiliteit (MIMOSA 3). Eindrapport. VITO rapport 2005/IMS/R/XXX.

Vlaamse Landmaatschappij (VLM) CD-ROM: De mestbank: Landbouwgebruikspercelen 2001.



## Bijlage 2: Omrekeningsinformatie PM<sub>2.5</sub>

Bij gebrek aan PM<sub>2.5</sub>-emissies van de afzonderlijke bedrijven, werd de onderlinge bijdrageverhouding van de door deze bedrijven gerapporteerde deeltjesemissies tot de totale Vlaamse deeltjesemissies voor de respectievelijke sectoren bepaald. De bekomen emissiebijdrage per bedrijf werd doorgerekend naar PM<sub>2.5</sub>-emissie per bedrijf op basis van sectorspecifieke deeltjesgrootteverdelingen beschikbaar bij het MIRA-team van de VMM. De hiervoor nodige emissiefactoren werden voor Vlaanderen opgesteld door Schroten et al. (2002). De gerapporteerde sector PM<sub>2.5</sub>-emissies staan opgelijst in Tabel 13.

In de Vlaamse emissie-inventaris was tot voor kort zeer weinig informatie aanwezig over PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub>. Zo is het bijvoorbeeld voor industriële puntbronnen wel verplicht om jaarlijks te rapporteren over de totale deeltjesuitstoot en de samenstellende componenten zoals zware metalen, maar niet over PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub>. De in Vlarem II beschreven meetmethodes laten ook niet toe deze fracties te bepalen. Daarom werd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij door Vito een gedetailleerde studie uitgevoerd. In deze studie bepalen Schroten et al (2002) emissiefactoren voor de in MIRA gebruikte sectoren. Deze factoren zijn voor belangrijke bronnen gestaafd op metingen en experimenten (bijvoorbeeld energiecentrales en huisvuilverbrandingsinstallaties) en voor andere sectoren afgeleid uit literatuurgegevens (voornamelijk TNO, 2001). Bovenstaande emissiegegevens zijn tot stand gekomen door de geschikte emissiefactor te vermenigvuldigen met statische informatie. De aard van de statische informatie is afhankelijk van de wijze waarop de emissiefactor wordt uitgedrukt. Zo wordt de emissiefactor voor huisverwarming uitgedrukt in ton/PJ. Deze wordt vermenigvuldigd met de hoeveelheid verbruikte brandstof afkomstig uit de energiebalans (Aernouts en Jaspers, 2002) en uitgedrukt in PJ. Voor eenzelfde sector kunnen andere emissiefactoren bestaan voor totaal stof, PM<sub>10</sub> en PM<sub>2.5</sub>, wat leidt tot verschillende emissies voor deze pollutanten voor dezelfde sector. Uit de in MIRA-T 2003 gerapporteerde emissies kan onderstaande verhouding tussen de PM<sub>10</sub>- en PM<sub>2.5</sub>-emissies worden afgeleid (tabel B2-1).

Tabel B2-1: verhouding van PM<sub>2.5</sub>-emissies tot de PM<sub>10</sub>-emissies zoals in MIRA-T 2003

| AURORA-sector  | % PM <sub>2.5</sub> van PM <sub>10</sub> |
|----------------|--|
| verbranding    | 59,67                                    |
| raffinaderijen | (70,00) geschat                          |
| industrie      | 81,79                                    |
| solventen      | /  |
| huisverwarming | 96,62                                    |
| verkeer        | 87,78                                    |
| natuur         | /  |
| landbouw       | 4,10                                     |

Naast een verschil in deeltjesgrootte is er ook een verschil in samenstelling. Zoals reeds hoger vermeld, bestaat fijn stof enerzijds uit primaire deeltjes die rechtstreeks worden uitgestoten, maar bevat het ook secundaire deeltjes die na de emissie uit de bron in de atmosfeer gevormd worden door chemische en fysische processen. Deze secundaire fractie wordt voor een groot deel gevormd uit zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), ammoniak (NH<sub>3</sub>) en vluchtige organische stoffen (VOS). Zowel de primaire als de secundaire deeltjes kunnen van natuurlijke en antropogene oorsprong zijn.

De chemische samenstelling van de deeltjes is ook sterk afhankelijk van het type bron waarvan ze afkomstig zijn. Hierbij kan een onderscheid gemaakt worden op basis van de verhouding elementaire koolstof (EC), organische koolstof (OC) en mineralen. Zo wordt door Aben et al. (2002) een onderscheid gemaakt tussen koolstofhoudend stof, voornamelijk bestaande uit elementaire en organische koolstof, secundaire stof opgebouwd uit ammoniumzouten met nitraten en sulfaten dat ook SIA genoemd wordt (secondary inorganic aerosol) en natuurlijk stof dat hoofdzakelijk bestaat uit zeezout en bodemstof. Secundair organisch aerosol (SOA) kan zowel afkomstig zijn van antropogene als natuurlijke bronnen. De elementaire koolstof en ammoniumzouten zijn chemisch goed te definiëren, maar de overige fracties bestaan meestal uit een mengsel van chloriden,

metaaloxiden, silicaten en een brede waaier organische componenten. De organische koolstoffractie (OC) bestaat uit een mengeling van verschillende primaire organische componenten en secundaire componenten gevormd door fotochemische oxidatie van koolwaterstoffen. Elementaire koolstof (EC) heeft een chemische structuur gelijkaardig aan onzuivere grafiet en wordt vooral als primaire deeltjes uitgestoten bij verbrandingsprocessen (EPA, 1996). In West Europa wordt de bijdrage van dieselemissies tot de EC-concentraties geschat op 70% tot 90% (Hamilton en Mansfield, 1991). Om die reden worden ook hogere concentraties aangetroffen in stedelijke gebieden in vergelijking met eerder landelijke gebieden.

Hanssen et al. (1999) vonden in atmosferische fijn stof metingen in Birkenes dat secundaire anorganische aerosolen (SIA) de belangrijkste fractie van  $PM_{2,5}$  uitmaken, gevolgd door roet en hiermee verbonden organische componenten ten gevolge van verbrandingsprocessen. Zeezout en mineralen zouden een minder belangrijke plaats innemen. EMEP geeft de verhouding van de EC, OC en minerale fractie van  $PM_{2,5}$  voor de verschillende EMEP-sectoren (tabel B2-2). Hiervoor baseert EMEP zich op de bevindingen van Andersson-Sköld en Simpson (2001).

Tabel B2-2: EMEP-verdeling van  $PM_{2,5}$  over de verschillende chemische componenten

| EMEP-sectoren                                   | % OC | % EC | % Mineralen |
|---|------|------|-------------|
| Energieproductie                                | 33   | 33   | 33          |
| Niet-industriële verbranding                    | 50   | 20   | 30          |
| Industriële verbranding                         | 33   | 33   | 33          |
| Productieprocessen                              | 0    | 20   | 80          |
| Ontginnen en verdelen van fossiele brandstoffen | 40   | 50   | 10          |
| Solventen                                       | 40   | 20   | 40          |
| Verkeer   | 40   | 20   | 40          |
| Andere mobiele bronnen                          | 40   | 20   | 40          |
| Afvalbehandeling                                | 10   | 60   | 30          |
| Landbouw  | 70   | 0    | 30          |

Vertaald naar de AURORA-sectoren geeft dit volgende verdeling (tabel B2-3).

Tabel B2-3:  $PM_{2,5}$ -verdeling in chemische componenten per AURORA-sector

| BelEUROS-sector | % OC | % EC | % Mineralen |
|-----------------|------|------|-------------|
| Verbranding     | 33   | 33   | 33          |
| Raffinaderijen  | 40   | 50   | 10          |
| Industrie       | 14   | 38   | 48          |
| Solventen       | 40   | 20   | 40          |
| Verkeer         | 40   | 20   | 40          |
| Huisverwarming  | 60   | 10   | 30          |
| Natuur          | /    | /    | /           |
| Landbouw        | 70   | 0    | 30          |

## Referenties

Aben, J., Ameling, C.B., Beck, J., Boere, A.J.F., van Breugel, P.B., ten Brink, H.M., van den Brink, R.M.M., Buijsman, E., Brunekreef, B., Buringh, E., Cassee, F.R., Dekkers, A.L.M., Dolmans, J., Eerens, H.C., Fischer, P.H., van Harmelen, A.K., Keuken, M.P., Kooter, I.M., van Loon, M. van, van Loveren, H., Marra, M., Matthijsen, J., Noordijk, H., Opperhuizen, A., Schaap, M., Schlesinger, R.B., Slanina, J., Smeets, P., Smeets, W.L.M., Spoelstra, H., Steerenberg, P.A., Visschedijk, A.J.H., Visser, H., de Vries, W.J., Weijers, E., en R. de Winter. (2002) On health risks of ambient PM in the Netherlands. RIVM rapport 650010 032.

Aernouts, K. en K. Jespers (2002) Energiebalans Vlaanderen 2000: onafhankelijke methode. Vito rapport 2002/IMS/R/075

Andersson-Sköld, Y. and Simpson, D. , (2001) Secondary organic aerosol formation in Northern Europe: a model study, *J. Geophys. Res.*, 106, No. D7, 7357-7374.

EPA. (1996) Air quality criteria for particulate matter. North Carolina, U.S. Environmental Protection Agency (EPA/600/P-95/001)

Hanssen, E. J., Maenhaut, W. en A. Semb (1999) Chemical composition of PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> at Birkenes. In: EMEP-WMO workshop on fine particles – emissions, modelling and measurements, Ed. Hanssen, Ballaman en Gehrig, Interlaken, Zwitserland.

Schrooten, L., Van Rompaey, H., Berghmans, P., Vanderreydt, I. en N. Bleux (2002) Deel A: Emissie-inventaris fijn stof Vlaanderen voor 1995 en 2000. Deel B: monitoring fijn stof emissies voor industriële bronnen. Vito-rapport 2002/IMS/R/200.

## Bijlage 3: Berekening B(a)P-emissies uit PAK-emissies met gebruik omrekeningsfactoren

Emissie van B(a)P is enkel gekend indien de afzonderlijke PAK-componenten in de emissiestroom gemeten worden. Binnen het AMINAL project "Onderzoek naar bruikbare indicatoren voor impact op de gezondheid ten gevolge van blootstelling aan PAKs in de omgeving en risico-inschatting van PAKs als voorbereiding voor de ontwikkeling van richtlijnen - Evaluatie van de blootstelling aan PAKs - Inventarisatiestudie" werden tijdens het jaar 2004 emissies samengesteld van bepaalde gidsstoffen (Cornelis et al., 2005), waaronder hoogstwaarschijnlijk B(a)P. Hiervoor werden emissieprofielen gedefinieerd die in voorliggende studie zullen worden meegenomen.

Het opmaken van een emissie-inventaris in het PAK's-project is enerzijds gebaseerd op metingen en anderzijds op literatuurgegevens. Dit gaat gepaard met enkele problemen. Zo is er een gebrek aan volledige datareeksen, zijn er voor sommige sectoren geen metingen voorhanden, worden niet altijd dezelfde componenten gemeten en is in de literatuur niet altijd vermeld welke PAK-samenstelling behandeld wordt. Volgende combinaties kunnen worden onderscheiden:

- **De 6 van Borneff:** benzo(b)fluorantheen, indeno(1,2,3-c,d)pyreen, benzo(k)fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(g,h,i)peryleen en fluorantheen;
- **De 10 van VROM:** indeno(1,2,3-c,d)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(g,h,i)peryleen, fluorantheen, naftaleen, anthraceen, fenantheen, chryseen en benzo(a)anthraceen;
- **De 16 van EPA:** benzo(b)fluorantheen, indeno(1,2,3-c,d)pyreen, benzo(k)fluorantheen, benzo(a)pyreen, , benzo(g,h,i)peryleen, fluorantheen, naftaleen, anthraceen, fenantheen, acenafteen, chryseen, benzo(a)anthraceen, fluoreen, pyreen, acenaftyleen en dibenzo(a,h)anthraceen;
- **De 10 van de Internationale Noordzeeconferentie:** fluoreen, naftaleen, anthraceen, fenantheen, acenaftaleen, bifenyl, chloroanthrachinon2, chloronaftaleen (alle isomeren), hexachloronaftaleen en 1,2,3,4,7,7-hexachloronorboreen.

Om emissiebestanden voor B(a)P aan te maken werden voor de Vlaamse bronnen enerzijds B(a)P-emissies aangeleverd door de Emissie-Inventaris Lucht (EIL) en anderzijds totale PAK-emissies in de MIRA-overzichtstabel. Ook hier wordt de MIRA-indeling in 27 sectoren gevolgd (Tabel 5). De B(a)P-emissies werden afgeleid uit de PAK-emissies van de MIRA-overzichtstabel op basis van omrekeningsfactoren. In de PAK-studie van Cornelis et al. (2005) werden de emissiepatronen van enkele sectoren meer in detail bekeken. Het betreft volgende activiteiten:

- Verbranding van huishoudelijk afval
- Gebouwenverwarming op fossiele brandstoffen
- Verbranding van tuinafval in tonnetjes en open vuren
- De productie van asfalt
- Wegverkeer

Op basis van deze gegevens werden voor B(a)P omrekeningspercentages verkregen (tabel B3-1) ten opzichte van de 16 gemeten EPA PAK's: Deze percentages werden gebruikt om de emissiebestanden voor B(a)P samen te stellen.

Tabel B3-1: Bijdrage B(a)P in % tot 16 gemeten PAK's (Cornelis et al., 2005).

| Sector  | Bijdrage B(a)P |
|---|----------------|
| Huishoudelijke verwarming op steenkool (6exp) | 0,91 %         |
| Huishoudelijke verwarming op hout (21 exp)    | 0,77 %         |
| Tuinafvalverbranding in tonnetjes (12 exp)    | 2,23 %         |
| Tuinafvalverbranding in open vuren (8 exp)    | 1,11 %         |
| Asfaltcentrales (21 exp)                      | 0,1 %          |
| Huishoudelijke afvalverbranding (21 exp)      | 0,98 %         |
| Verkeer (gemiddelde over 6 jaar)              | 0,11 %         |

## Sector Bevolking

De MIRA-overzichtstabel rapporteert voor deze sector PAK-emissies voor afvalverbranding in tonnetjes en open vuren (2002 – 2003) en gebouwenverwarming (1990 – 2003). De PAK-emissies afkomstig van afvalverbranding in tonnetjes en open vuren werden vermenigvuldigd met een omrekeningsfactor, welke het gemiddelde is van de percentages voor tonnetjes en open vuren vermeld in tabel B3-1.

$$B(a)P = PAK \times 0,00167$$

De PAK-emissies ten gevolge van gebouwenverwarming in deze sector werden vermenigvuldigd met een omrekeningsfactor die het gemiddelde is van de percentages voor hout- en steenkoolverwarming in tabel B3-1. Naast hout en steenkool wordt voor de verwarming van particuliere woningen ook stookolie en aardgas gebruikt. Voor deze brandstoffen zijn geen emissieprofielen beschikbaar. Wanneer gekeken wordt naar de emissiefactoren gebruikt voor huishoudelijke verwarming, dan wordt duidelijk dat vooral verwarming op hout de grootste bijdrage levert aan de PAK-emissies in deze sector (onbehandeld hout 236,8 g/ton, behandeld hout 466,0 g/ton, stookolie 1 g/ton, steenkool 0,7 g/ton en aardgas 0,002 g/m<sup>3</sup>).

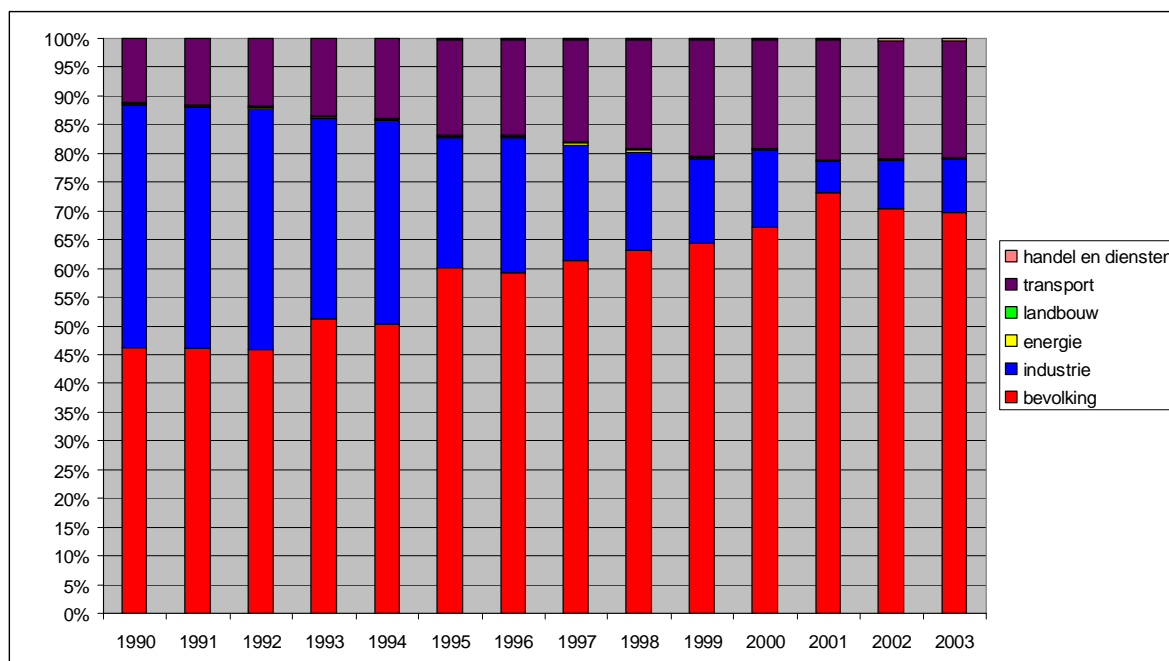
$$B(a)P = PAK \times 0,0084$$

De som van beide resulteert dan in de B(a)P-emissie voor deze sector.

## Sectoren 2 – 12 Industrie en Energie

Gezien de beperkte volledigheid van de afzonderlijk gerapporteerde bedrijfsemissies in de BEMAS-bestanden, werden de B(a)P-emissies ook voor deze sectoren afgeleid uit de PAK-emissies. In de MIRA-overzichtstabel werden voor deze sectoren enkel PAK-emissies vermeld als verbrandingsemissies. Uit de MIRA-cijfers blijkt ook dat deze sectoren slechts in beperkte mate (7,9 %) bijdragen tot de totale PAK-emissies (MIRA-T 2003 en figuur B3-1). Om deze redenen werden de B(a)P-emissies berekend uit de PAK-emissies en de omrekeningsfactor voor gebouwenverwarming.

$$B(a)P = PAK \times 0.0084$$



Figuur B3-1: Procentuele bijdrage van de verschillende sectorengroepen tot de PAK-emissies voor 1990 tot en met 2003.

## Sectoren Brandstofverbruik in de landbouw en glastuinbouw

Uit de MIRA-cijfers (figuur B3-1) blijkt dat de bijdrage van de landbouwsector tot de totale Vlaamse PAK-emissies verwaarloosbaar klein is. De PAK-emissies in deze sector zijn uitsluitend afkomstig van brandstofgebruik. Om deze redenen worden ook hier de B(a)P-emissies berekend uit de PAK-emissies met de omrekeningsfactor voor gebouwenverwarming.

$$B(a)P = PAK \times 0,0084$$

## Sectoren Visserij, Wegverkeer, Luchtvaart, Scheepvaart en Spoorverkeer

In het kader PAK-project (Cornelis et al., 2005) werden de PAK-emissies van de sectoren verkeer en vervoer herbekeken. In vergelijking met de officiële MIRA-cijfers (tabel B3-4) van het MIRA-2004 rapport zijn de nieuwe cijfers gelijklopend maar iets hoger (tabel B3-2). Daarom werd beslist de bestaande officiële MIRA-2004 cijfers te behouden, ook omdat in het PAK's-project geen nieuwe cijfers voor het jaar 2003 werden aangemaakt.

*Tabel B3-2: Bijdragen van de verschillende deelsectoren van de sector verkeer aan de totale PAK-emissie in Vlaanderen anno 2002 bekomen in het kader van het PAK's-project (Cornelis et al., 2005). De rechterkolom bevat het percentage ten opzichte van de totale Vlaamse PAK's-emissies.*

| <b>Verkeer en vervoer</b> | <b>Emissie in kg/jaar</b> | <b>%</b>     |
|---------------------------|---------------------------|--------------|
| <i>Totaal</i>             | <b>70 851</b>             | <b>20,64</b> |
| Personenwagens            | 63 178                    | 18,40        |
| Bussen                    | 74                        | 0,02         |
| Motorrijwielen            | 175                       | 0,05         |
| Lichte vrachtwagens       | 4 584                     | 1,34         |
| Zware vrachtwagens        | 1 133                     | 0,33         |
| Dieseltreinen             | 384                       | 0,11         |
| Binnenvaartschepen        | 1 304                     | 0,38         |
| Luchtvaart                | 20                        | 0,01         |

Voor de spreiding van de totale B(a)P verkeersemissies werd de CO-spreiding berekend met het MIMOSA-model overgenomen. Als omrekeningsfactor werd 0,11% genomen:

$$B(a)P = PAK \times 0,0011$$

## Sector Afvalverwerking

Door de PAK-emissies in deze sector te vermenigvuldigen met de omrekeningsfactor voor huishoudelijk afvalverbranding uit tabel B3-1, werden B(a)P-emissies bekomen.

$$B(a)P = PAK \times 0,0098$$

## Sector Gebouwenverwarming bij handel en diensten

Net zoals bij gebouwenverwarming onder de sector bevolking werd ook hier de B(a)P emissie berekend uit de PAK-emissie en de omrekeningsfactor, welke het gemiddelde is van de percentages voor hout- en steenkoolverwarming uit tabel B3-1.

$$B(a)P = PAK \times 0,0084$$

Onderstaande tabel B3-3 geeft een duidelijk overzicht welke omrekeningsfactoren er per MIRA-sector werden gebruikt.

Tabel B3-3: B(a)P-omrekeningsfactoren per sector (g.d. = geen PAK-emissies)

| Nieuwe sectorenindeling |   | B(a)P<br>omrekeningsfactor |
|-------------------------|---|----------------------------|
| 1                       | bevolking – gebouwenverwarming  | 0,0084                     |
|                         | Bevolking – tonnetjes en open vuren   | 0,0167                     |
| 2                       | chemie  | 0,0084                     |
| 3                       | ijzer, staal, non ferro, automobiel en machinebouw  | 0,0084                     |
| 4                       | voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie   | 0,0084                     |
| 5                       | textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid  | 0,0084                     |
| 6                       | papier- en papierwaren industrie  | 0,0084                     |
| 7                       | andere industrieën (bouw, asfalt & beton, rubber, hout, afvalrecuperatie, minerale niet-metaal                | 0,0084                     |
| 8                       | winning en bewerking van steenkool  | 0,0084                     |
| 9                       | cokesovenbedrijven  | 0,0084                     |
| 10                      | raffinaderijen  | 0,0084                     |
| 11                      | productie, transport en distributie van elektriciteit en warmte (incl. productie van splijt- en kweekstoffen) | 0,0084                     |
| 12                      | productie en distributie van gas  | g.d.                       |
| 13                      | veeteelt (stallen & opslag, weide en uitrijden van dierlijk mest)   | g.d.                       |
| 14                      | kunstmestgebruik in de landbouw   | g.d.                       |
| 15                      | glastuinbouw  | 0,0084                     |
| 16                      | brandstofverbruik in de landbouw uitgezonderd glastuinbouw en visserij  | 0,0084                     |
| 17                      | visserij  | 0,0011                     |
| 18                      | wegverkeer  | 0,0011                     |
| 19                      | luchtvaart  | 0,0011                     |
| 20                      | scheepvaart tussen Noordzeehaven en binnenscheepvaart   | 0,0011                     |
| 21                      | spoorverkeer  | 0,0011                     |
| 22                      | aanverwanten petroleumsector  | g.d.                       |
| 23                      | afvalverwerking   | 0,0098                     |
| 24                      | individuele bedrijven   | g.d.                       |
| 25                      | tankstations  | g.d.                       |
| 26                      | crematoria  | g.d.                       |
| 27                      | gebouwenverwarming in de handel- en dienstensector  | 0,0084                     |

Tabel B3-4: Vlaamse PAK-emissies per deelsector voor 2002 en 2003.

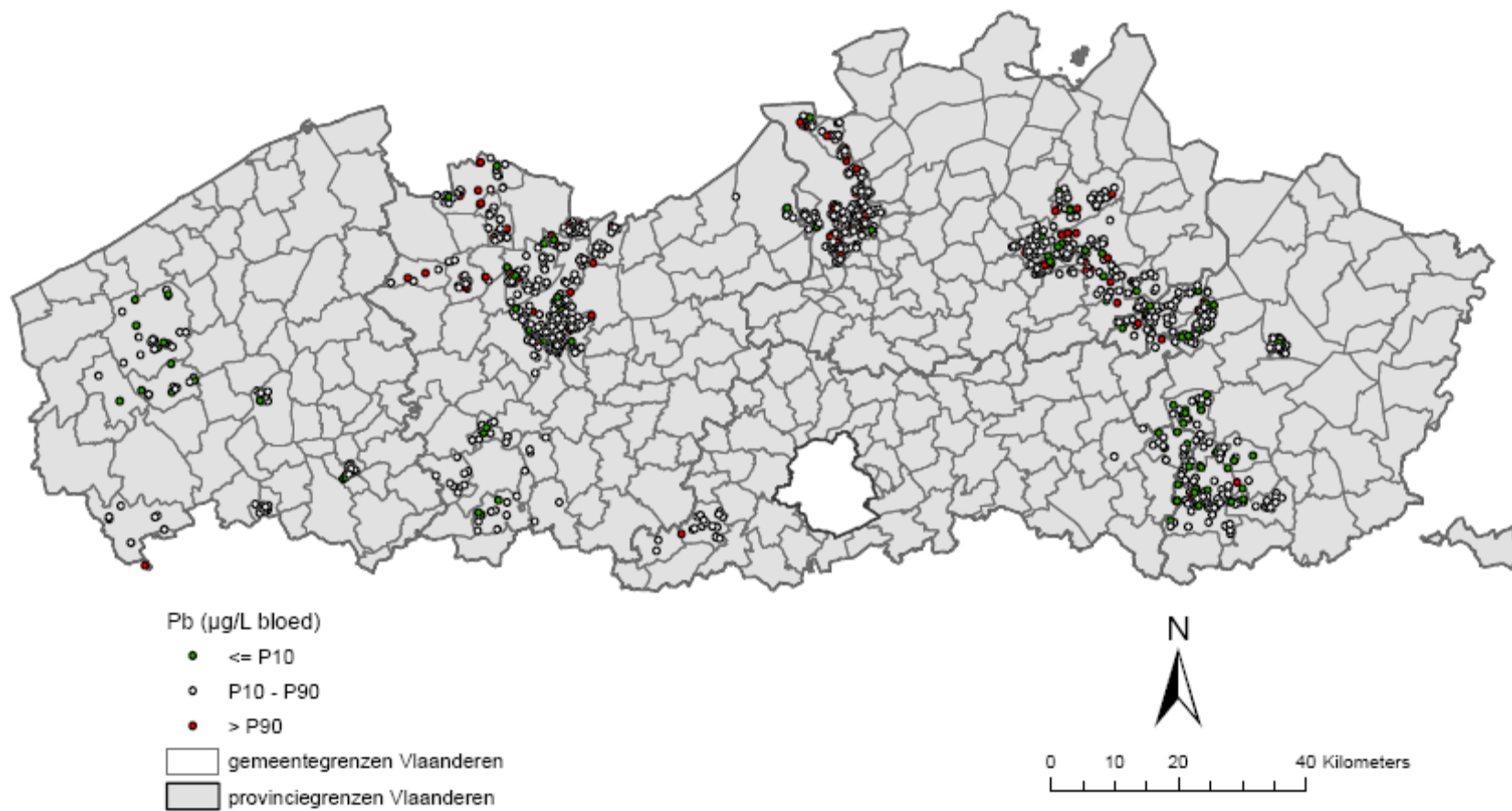
| Sector                | Deelsector  | PAK (kg)<br>(2002) | PAK (kg)<br>(2003) |
|-----------------------|---|--------------------|--------------------|
| Bevolking             |   | 240631             | 241033             |
| Industrie             | Chemie  | 323                | 299                |
|                       | IJzer staal, non-ferro, automobiel- en machinebouw                        | 3105               | 3509               |
|                       | Voeding-, drank- en genotsmiddelenindustrie                               | 375                | 315                |
|                       | Textiel-, schoen-, leder- en kledingnijverheid                            | 124                | 116                |
|                       | Papier- en papierwarenindustrie, grafische nijverheid, uitgeverijen, e.d. | 52                 | 47                 |
|                       | Andere industrieën (bouw, asfalt, rubber, afvalrecuperatie, ...)          | 24632              | 27897              |
| Energie               | Raffinaderijen  | 231                | 233                |
|                       | Productie en distributie van elektriciteit                                | 377                | 393                |
| Landbouw              | glastuinbouw  | 52                 | 51                 |
|                       | Brandstofverbruik in de landbouw  | 161                | 158                |
| Verkeer<br>en vervoer | visserij  | 347                | 341                |
|                       | Wegverkeer  | 67200              | 67800              |
|                       | Luchtvaart  | 14                 | 14                 |
|                       | Scheepvaart tussen Noordzeehaven en binnenscheepvaart                     | 2066               | 1331               |
| Handel<br>en diensten | Spoorverkeer  | 413                | 367                |
|                       | Afvalverwerking   | 34                 | 34                 |
|                       | Gebouwenverwarming handel en diensten                                     | 1581               | 1731               |

#### Referenties

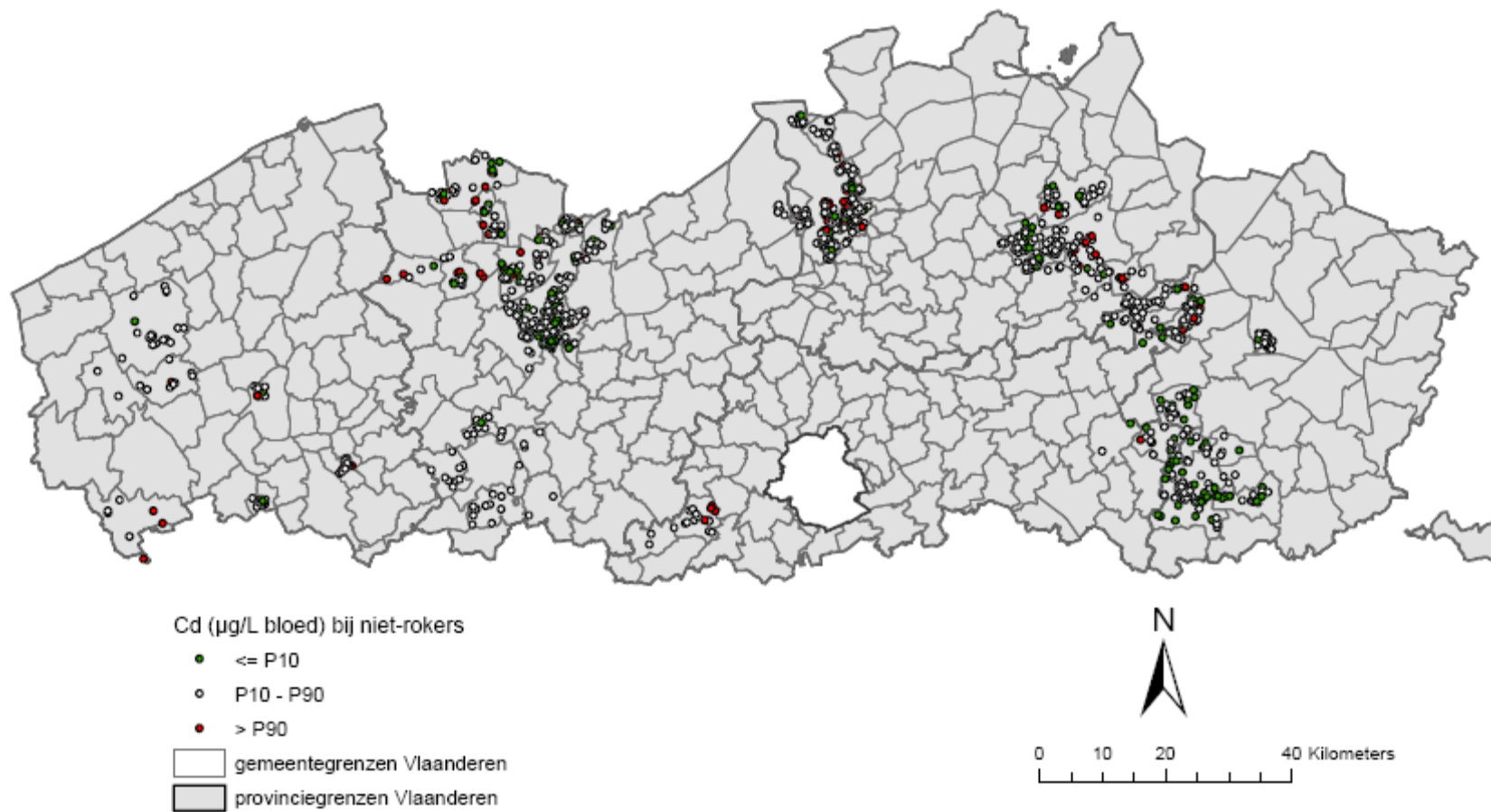
Cornelis, C., J. Bierkens, I. De Vlieger, I. Liekens, J. Nouwen, J. Provoost, R. Weltens, M. Wevers, G. Wouters, V. Du Four, N. Van Larebeke (2005). Evaluatie van de blootstelling aan PAK's – Inventarisatiestudie deel I: voorstel gidsstoffen en inventarisatie emissie, immissie en omzettingsreacties. VITO-rapport 2005/IMS/R/058.



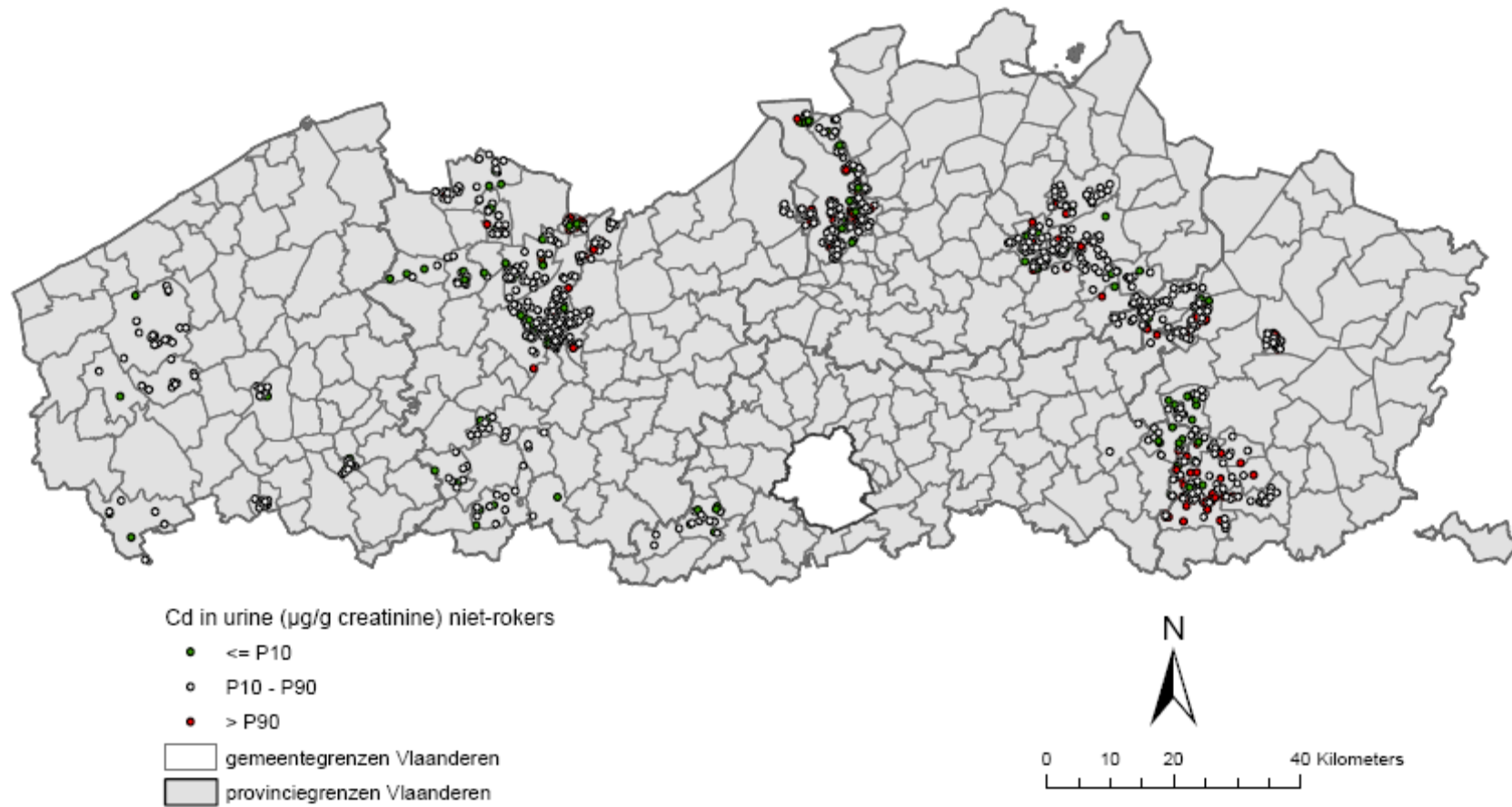
## **Bijlage 4: Visualisatie gemeten biomerkerwaarden bij de adolescenten**



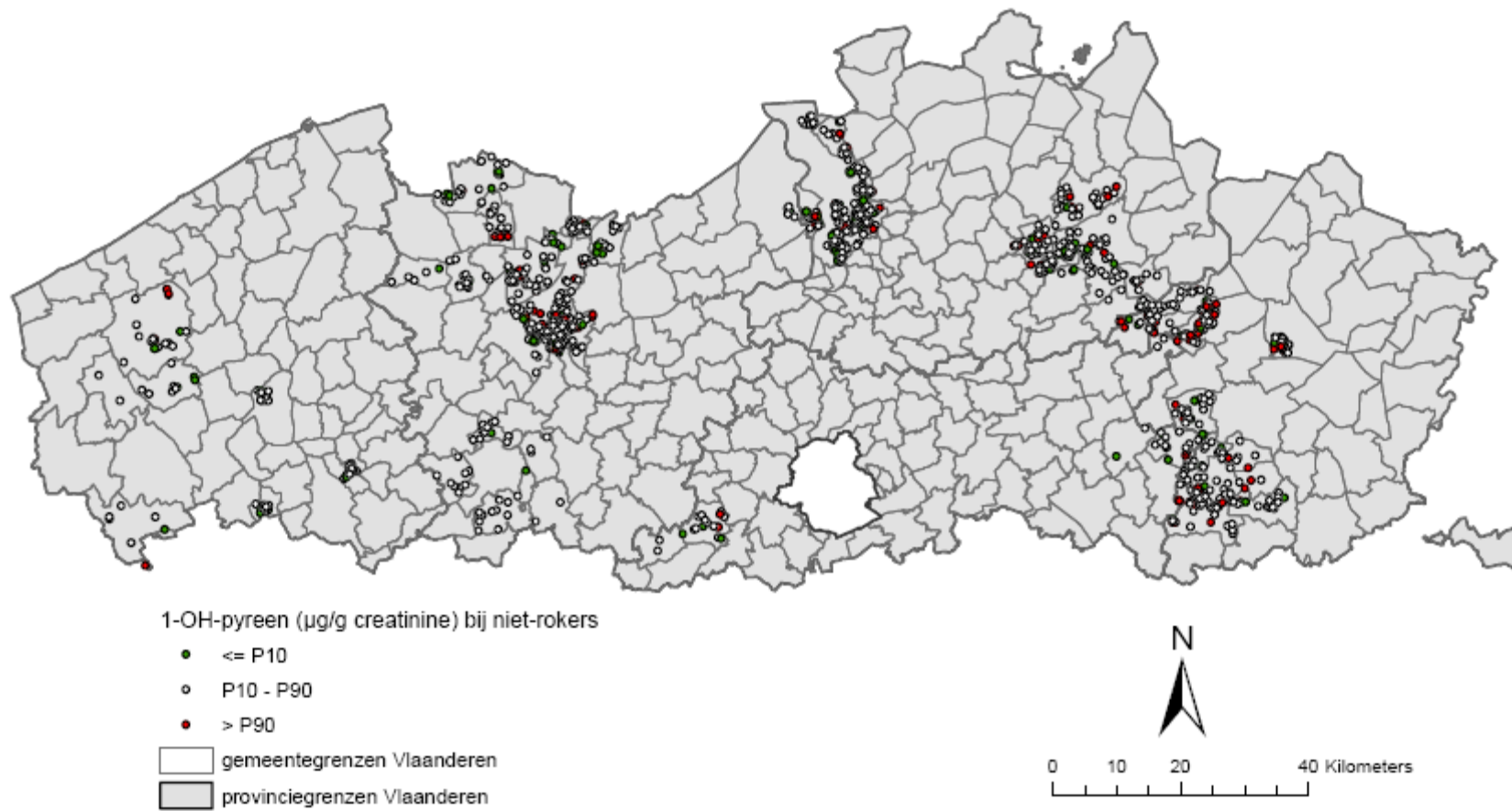
Figuur B4-1: Gemeten loodconcentraties ( $\mu\text{g/L}$ ) in het perifeer bloed van de deelnemende adolescenten ( $n = 1581$ ).



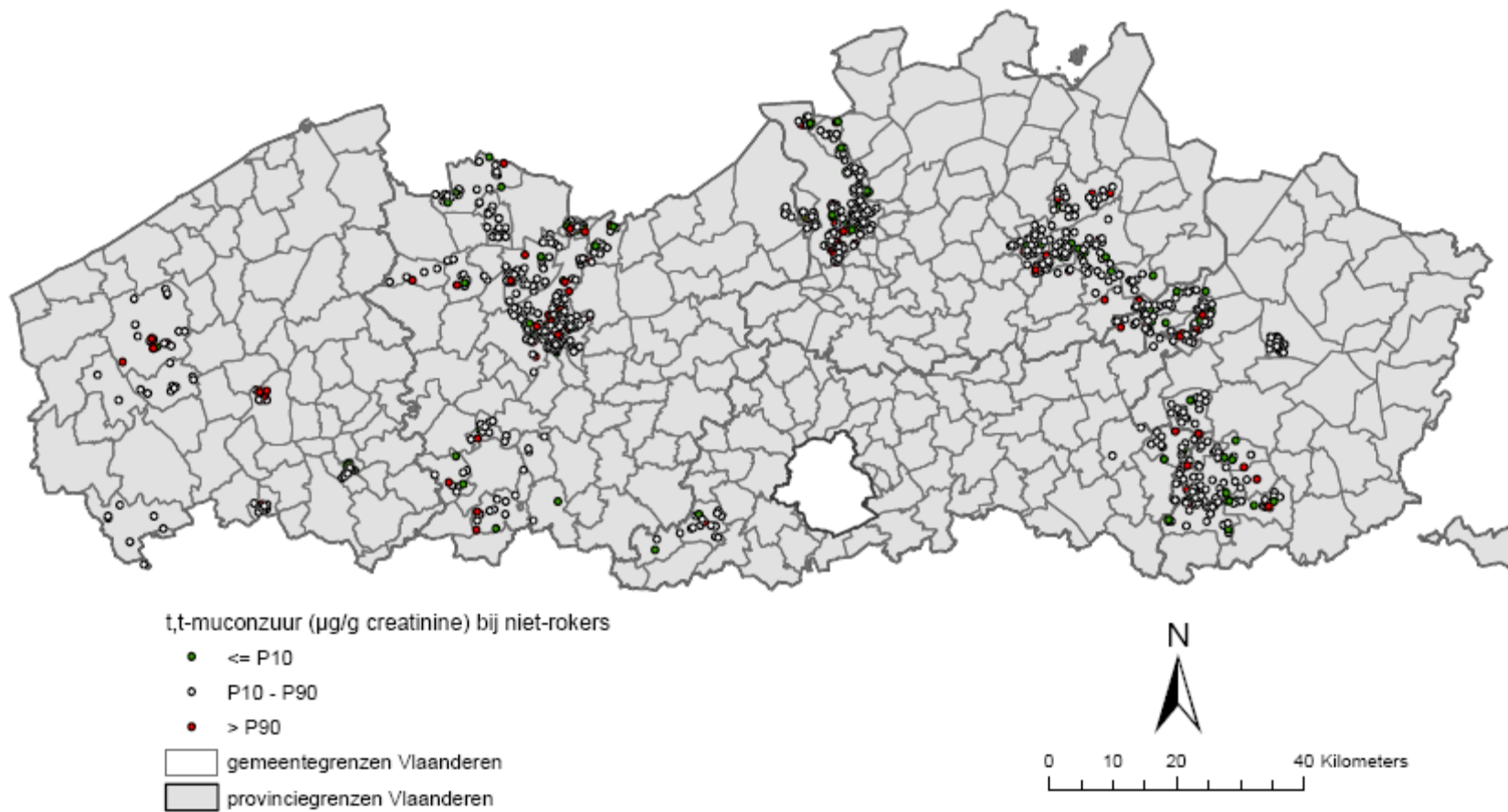
Figuur B4-2: Gemeten cadmiumconcentraties ( $\mu\text{g/L}$ ) in het perifeer bloed van de deelnemende niet-rokende adolescenten ( $n = 1368$ ).



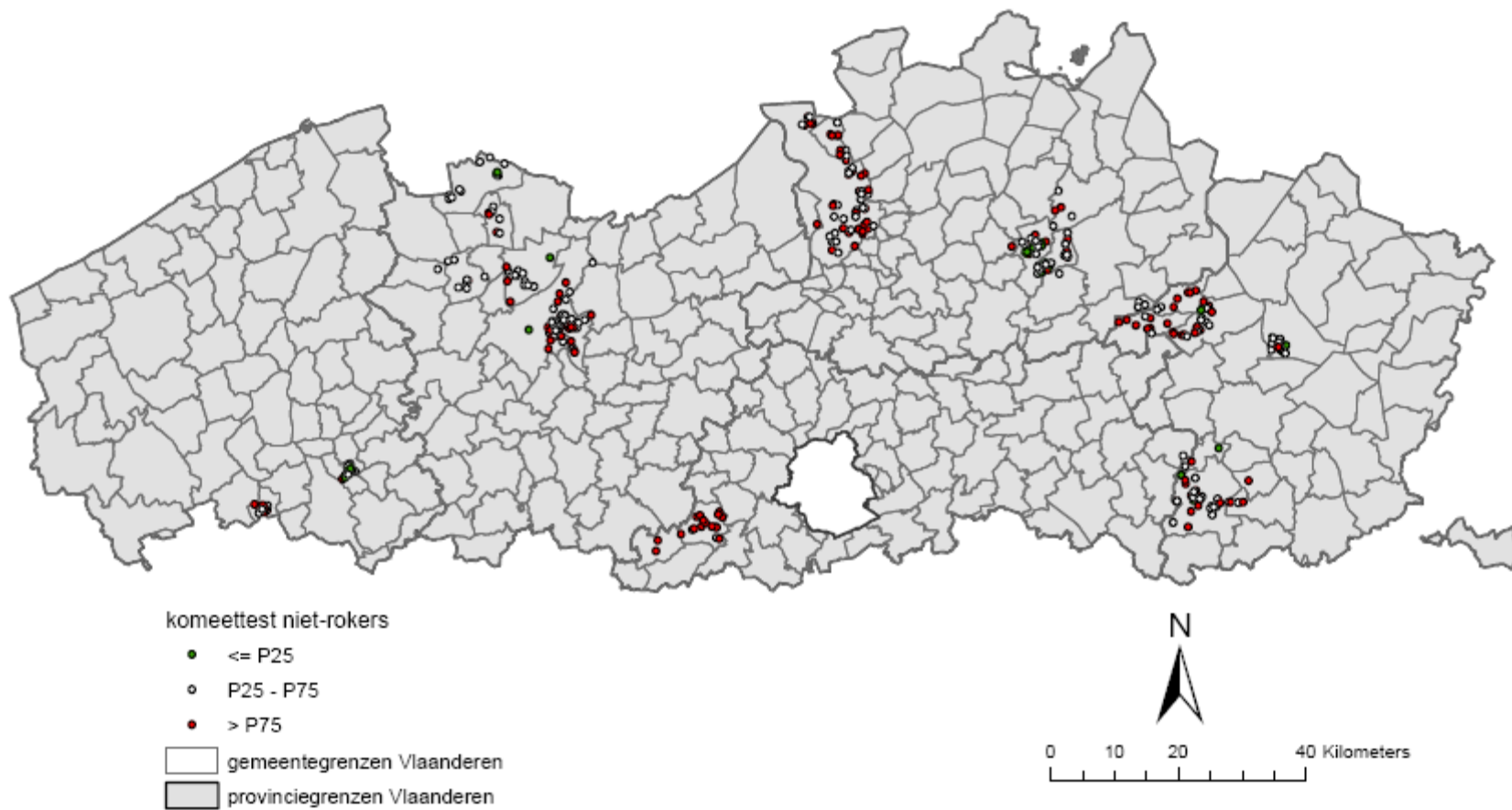
Figuur B4-3: Gemeten cadmiumconcentraties ( $\mu\text{g/g}$  creatinine) in de urine van de deelnemende niet-rokende adolescenten ( $n = 1385$ ).



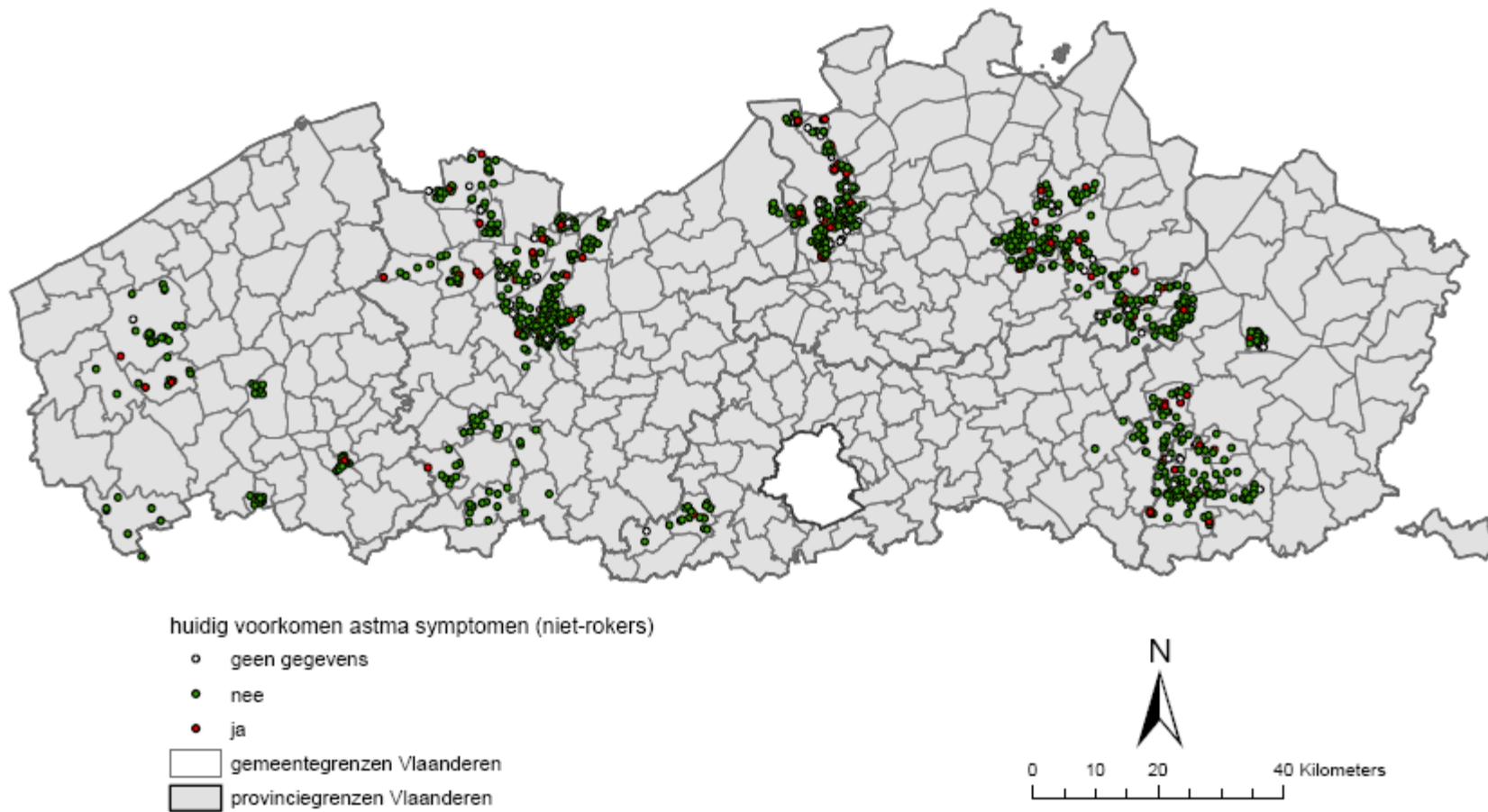
*Figuur B4-4: Gemeten 1-OH-pyreenconcentraties ( $\mu\text{g/g}$  creatinine) in de urine van de deelnemende niet-rokende adolescenten ( $n = 1386$ ).*



Figuur B4-5: Gemeten concentraties t,t-muconzuur ( $\mu\text{g/g}$  creatinine) in de urine van de deelnemende niet-rokende adolescenten ( $n = 1383$ ).

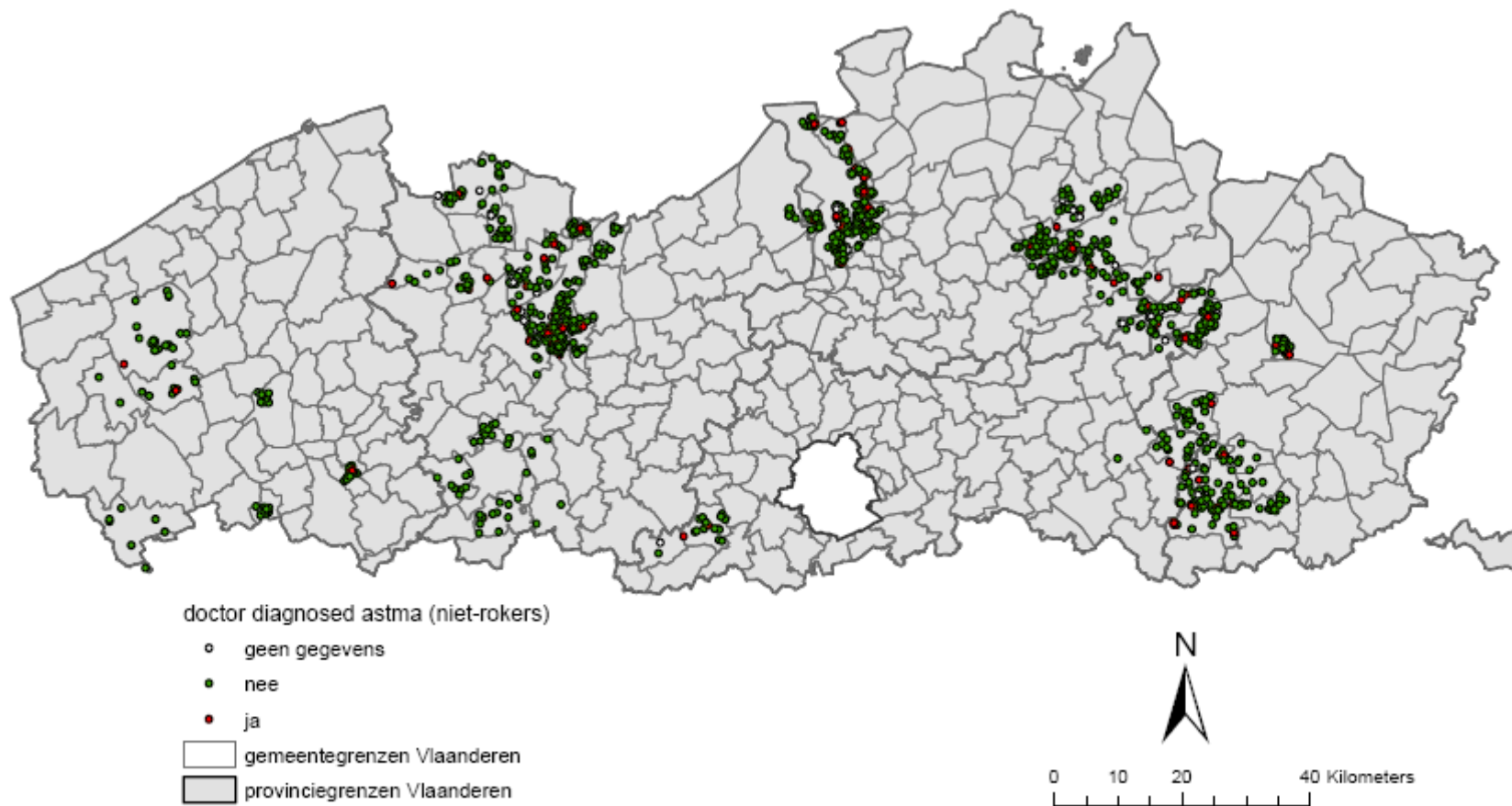


Figuur B4-6: Mediaanresultaten van de komeetest voor DNA-schade bij de deelnemende niet-rokende adolescenten (n = 390).

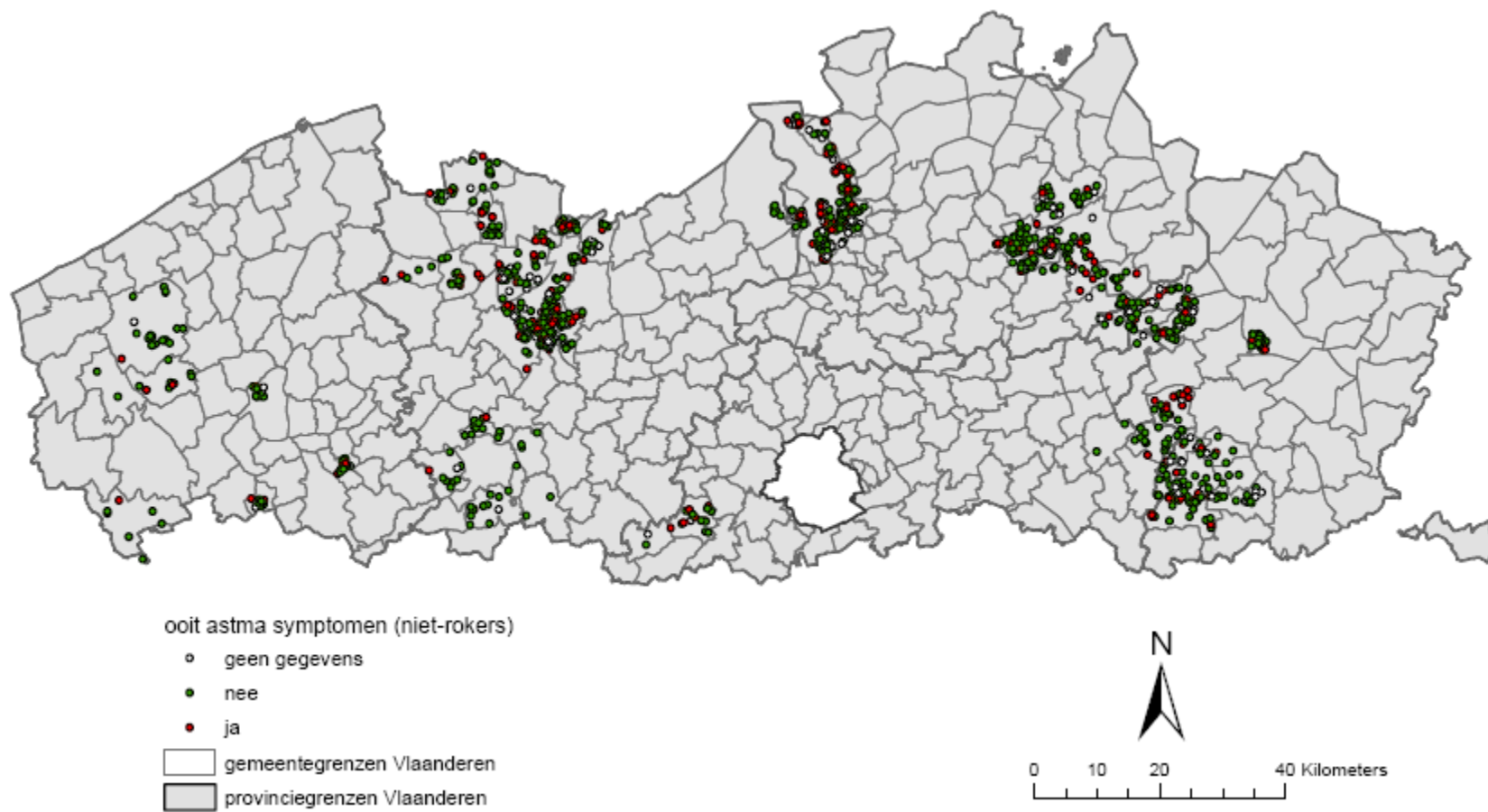


Figuur B4-7: Huidig voorkomen van astma symptomen bij de deelnemende niet-rokende adolescenten (n = 1387).





Figuur B4-8: Voorkomen van doctor diagnosed astma bij de deelnemende niet-rokende adolescenten ( $n = 1387$ ).



Figuur B4-9: Ooit voorkomen van astma symptomen bij deelnemende niet-rokende adolescenten (n = 1387).

## Bijlage 5: Overzicht van de gebiedsverschillen voor de blootstellingsmerkers

|                          | Antwerpse agglomeratie | Gentse agglomeratie | fruit-streek | landelijke gebieden | haven-gebieden | regio Olen | Albertkanaal zone | verbrandingsovens |
|--------------------------|------------------------|---------------------|--------------|---------------------|----------------|------------|-------------------|-------------------|
| PCB's                    | 62                     | 76 !                | 63           | 80 !                | 72 !           | 60         | 59                | 65                |
| p,p'-DDE                 | 70                     | 88                  | 96           | 142 !               | 111 !          | 118 !      | 172 !             | 88                |
| HCB                      | 20,2                   | 21,3                | 21,8         | 22,4 !              | 21,7           | 17,9       | 20,8              | 20,4              |
| LOOD                     | 24,6                   | 20,6                | 15,2         | 21,5                | 23,3           | 22,2       | 17,7              | 21,1              |
| CADMIUM                  | 0,45 !                 | 0,29                | 0,16         | 0,45 !              | 0,36           | 0,31       | 0,33              | 0,35              |
| PAK's (1-hydroxy-pyreen) | 84                     | 102                 | 85           | 75                  | 92             | 100        | 85                | 85                |
| BENZEEN (t,t'-muconzuur) | 71                     | 73                  | 73           | 71                  | 68             | 74         | 70                | 74                |

Kleurencodes: significant hoger dan referentiegemiddelde; groen: significant lager dan referentiegemiddelde; wit: geen verschil met referentiegemiddelde.

Het symbool (!) geeft aan dat er significant méér dan 10% meetwaarden boven de referentie- $P_{90}$  liggen.

Biomerkers: Merker PCB's (som van 138, 153 en 180) in serum (ng/g vet), p,p'-DDE in serum (ng/g vet), HCB in serum (ng/g vet), bloed lood ( $\mu\text{g/L}$ ), bloed cadmium ( $\mu\text{g/L}$ ), PAK-merker (urinair 1-hydroxy-pyreen in ng/g creatinine), benzeen-merker (urinair t,t'-muconzuur in  $\mu\text{g/g}$  creatinine).

Correcties: Alle merkers werden gecorrigeerd voor leeftijd, geslacht en roken; PCB's, p,p'-DDE en HCB werden ook gecorrigeerd voor BMI.

## Bijlage 6: Correlaties tussen de verschillende stoffen gemeten op de dosimeter van 162 niet-rokende jongeren.

Tabel B6-1: Correlaties tussen de verschillende stoffen gemeten op de dosimeter van 162 niet-rokende jongeren. De duidelijk niet-significante correlaties ( $p > 0.10$ ) werden niet weergegeven, de correlaties die net niet significant zijn, staan cursief weergegeven (significant= $p < 0.05$ ).

|   | Spearman R  | p-level      |
|---|-------------|--------------|
| Isopentaaan & n-Pentaaan                      | 0.34        | 0.000        |
| Isopentaaan & MTBE                            | 0.43        | 0.000        |
| <i>Isopentaaan &amp; 1,2-Dichloorethaan</i>   | <i>0.14</i> | <i>0.082</i> |
| Isopentaaan & Benzeen                         | 0.57        | 0.000        |
| Isopentaaan & Cyclohexaan                     | 0.34        | 0.000        |
| Isopentaaan & Trichloorethyleen               | 0.30        | 0.000        |
| Isopentaaan & Tolueen                         | 0.38        | 0.000        |
| Isopentaaan & Butylacetaat                    | 0.29        | 0.000        |
| Isopentaaan & Chloorbenzeen                   | 0.30        | 0.000        |
| Isopentaaan & Ethylbenzeen                    | 0.52        | 0.000        |
| Isopentaaan & m,p-Xyleen                      | 0.48        | 0.000        |
| Isopentaaan & Styreen                         | 0.25        | 0.002        |
| Isopentaaan & o-Xyleen                        | 0.47        | 0.000        |
| Isopentaaan & 1,2,4-Trimethylbenzeen          | 0.47        | 0.000        |
| n-Pentaaan & MTBE                             | 0.17        | 0.031        |
| n-Pentaaan & Benzeen                          | 0.48        | 0.000        |
| n-Pentaaan & Cyclohexaan                      | 0.36        | 0.000        |
| n-Pentaaan & Tolueen                          | 0.23        | 0.003        |
| n-Pentaaan & Chloorbenzeen                    | 0.30        | 0.000        |
| n-Pentaaan & Ethylbenzeen                     | 0.25        | 0.001        |
| n-Pentaaan & m,p-Xyleen                       | 0.26        | 0.001        |
| n-Pentaaan & Styreen                          | 0.19        | 0.017        |
| n-Pentaaan & o-Xyleen                         | 0.26        | 0.001        |
| n-Pentaaan & 1,2,4-Trimethylbenzeen           | 0.21        | 0.008        |
| MTBE & Benzeen                                | 0.32        | 0.000        |
| MTBE & Cyclohexaan                            | 0.34        | 0.000        |
| MTBE & Trichloorethyleen                      | 0.24        | 0.002        |
| MTBE & Tolueen                                | 0.43        | 0.000        |
| MTBE & Ethylbenzeen                           | 0.45        | 0.000        |
| MTBE & m,p-Xyleen                             | 0.53        | 0.000        |
| MTBE & o-Xyleen                               | 0.56        | 0.000        |
| MTBE & 1,2,4-Trimethylbenzeen                 | 0.50        | 0.000        |
| 1,2-Dichloorethaan & Cyclohexaan              | 0.27        | 0.000        |
| 1,2-Dichloorethaan & Trichloorethyleen        | 0.23        | 0.003        |
| 1,2-Dichloorethaan & Tolueen                  | 0.16        | 0.045        |
| 1,2-Dichloorethaan & Butylacetaat             | 0.23        | 0.003        |
| 1,2-Dichloorethaan & Tetrachloorethyleen      | 0.32        | 0.000        |
| <i>1,2-Dichloorethaan &amp; Chloorbenzeen</i> | <i>0.14</i> | <i>0.084</i> |
| 1,2-Dichloorethaan & Ethylbenzeen             | 0.17        | 0.035        |
| 1,2-Dichloorethaan & m,p-Xyleen               | 0.28        | 0.000        |
| 1,2-Dichloorethaan & o-Xyleen                 | 0.30        | 0.000        |
| 1,2-Dichloorethaan & 1,2,4-Trimethylbenzeen   | 0.34        | 0.000        |
| 1,1,1-Trichloorethaan & Tolueen               | 0.17        | 0.026        |

|   | Spearman R  | p-level      |
|---|-------------|--------------|
| 1,1,1-Trichloorethaan & Ethylbenzeen          | 0.18        | 0.019        |
| 1,1,1-Trichloorethaan & m,p-Xyleen            | 0.21        | 0.007        |
| 1,1,1-Trichloorethaan & Styreen               | 0.17        | 0.036        |
| 1,1,1-Trichloorethaan & o-Xyleen              | 0.20        | 0.010        |
| Benzeen & Cyclohexaan                         | 0.44        | 0.000        |
| Benzeen & Toluene                             | 0.51        | 0.000        |
| Benzeen & Butylacetaat                        | 0.18        | 0.019        |
| Benzeen & Chloorbenzeen                       | 0.49        | 0.000        |
| Benzeen & Ethylbenzeen                        | 0.57        | 0.000        |
| Benzeen & m,p-Xyleen                          | 0.50        | 0.000        |
| Benzeen & Styreen                             | 0.22        | 0.006        |
| Benzeen & o-Xyleen                            | 0.46        | 0.000        |
| Benzeen & 1,2,4-Trimethylbenzeen              | 0.48        | 0.000        |
| Cyclohexaan & Trichloorethyleen               | 0.24        | 0.002        |
| Cyclohexaan & Toluene                         | 0.44        | 0.000        |
| Cyclohexaan & Tetrachloorethyleen             | 0.25        | 0.001        |
| Cyclohexaan & Chloorbenzeen                   | 0.26        | 0.001        |
| Cyclohexaan & Ethylbenzeen                    | 0.25        | 0.001        |
| Cyclohexaan & m,p-Xyleen                      | 0.34        | 0.000        |
| Cyclohexaan & Styreen                         | 0.25        | 0.001        |
| Cyclohexaan & o-Xyleen                        | 0.36        | 0.000        |
| Cyclohexaan & 1,2,4-Trimethylbenzeen          | 0.40        | 0.000        |
| Trichloorethyleen & Toluene                   | 0.17        | 0.029        |
| Trichloorethyleen & Tetrachloorethyleen       | 0.28        | 0.000        |
| Trichloorethyleen & Ethylbenzeen              | 0.28        | 0.000        |
| Trichloorethyleen & m,p-Xyleen                | 0.28        | 0.000        |
| Trichloorethyleen & o-Xyleen                  | 0.29        | 0.000        |
| Trichloorethyleen & 1,2,4-Trimethylbenzeen    | 0.33        | 0.000        |
| Toluene & Butylacetaat                        | 0.23        | 0.003        |
| Toluene & Tetrachloorethyleen                 | 0.22        | 0.005        |
| <i>Toluene &amp; Chloorbenzeen</i>            | <i>0.14</i> | <i>0.077</i> |
| Toluene & Ethylbenzeen                        | 0.57        | 0.000        |
| Toluene & m,p-Xyleen                          | 0.60        | 0.000        |
| Toluene & Styreen                             | 0.30        | 0.000        |
| Toluene & o-Xyleen                            | 0.62        | 0.000        |
| Toluene & 1,2,4-Trimethylbenzeen              | 0.62        | 0.000        |
| Butylacetaat & Ethylbenzeen                   | 0.23        | 0.004        |
| Butylacetaat & m,p-Xyleen                     | 0.22        | 0.006        |
| Butylacetaat & o-Xyleen                       | 0.22        | 0.006        |
| Butylacetaat & 1,2,4-Trimethylbenzeen         | 0.23        | 0.003        |
| <i>Tetrachloorethyleen &amp; Ethylbenzeen</i> | <i>0.13</i> | <i>0.089</i> |
| Tetrachloorethyleen & m,p-Xyleen              | 0.23        | 0.003        |
| <i>Tetrachloorethyleen &amp; Styreen</i>      | <i>0.14</i> | <i>0.070</i> |
| Tetrachloorethyleen & o-Xyleen                | 0.19        | 0.017        |
| Tetrachloorethyleen & 1,2,4-Trimethylbenzeen  | 0.24        | 0.003        |
| Chloorbenzeen & Ethylbenzeen                  | 0.24        | 0.002        |
| Chloorbenzeen & m,p-Xyleen                    | 0.20        | 0.012        |
| Chloorbenzeen & o-Xyleen                      | 0.18        | 0.019        |
| Chloorbenzeen & 1,2,4-Trimethylbenzeen        | 0.22        | 0.005        |
| Ethylbenzeen & m,p-Xyleen                     | 0.91        | 0.000        |

|                                       | Spearman R | p-level |
|---------------------------------------|------------|---------|
| Ethylbenzeen & Styreen                | 0.24       | 0.002   |
| Ethylbenzeen & o-Xyleen               | 0.87       | 0.000   |
| Ethylbenzeen & 1,2,4-Trimethylbenzeen | 0.77       | 0.000   |
| m,p-Xyleen & Styreen                  | 0.25       | 0.001   |
| m,p-Xyleen & o-Xyleen                 | 0.97       | 0.000   |
| m,p-Xyleen & 1,2,4-Trimethylbenzeen   | 0.83       | 0.000   |
| Styreen & o-Xyleen                    | 0.22       | 0.004   |
| Styreen & 1,2,4-Trimethylbenzeen      | 0.21       | 0.007   |
| o-Xyleen & 1,2,4-Trimethylbenzeen     | 0.87       | 0.000   |