

INTERGEWESTELIJKE CEL VOOR HET LEEFMILIEU (IRCEL)  
*Informing you on ambient air quality in the Belgian Regions*  
Kunstlaan 10-11, 1210 Brussel  
tel.: 02/227.57.02 - fax: 02/227.56.99



Website: <http://www.irceline.be>

**Analyse van de impact van het verkeer op de Ring  
rond Brussel (R0) op de luchtkwaliteit in het  
Brussels Hoofdstedelijk Gewest**

Frans Fierens  
Charlotte Vanpoucke  
Olivier Brasseur

IRCEL-CELINE  
Kunstlaan 10-11  
1210 Brussel

Juni 2011

## Samenvatting

In deze studie wordt de impact van het verkeer van de Brusselse Ring (R0) op de luchtkwaliteit in de directe omgeving van de Ring en in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest onderzocht. Hiervoor wordt het 'IFDM-traffic' computermodel gebruikt. Dit model (beschikbaar via <http://ifdmtraffic.rma.vito.be>) kan, met een hoge ruimtelijke resolutie, de impact van het verkeer op de luchtkwaliteit onderzoeken. Om de impact van de Brusselse Ring op de luchtkwaliteit in de onmiddellijke omgeving van de Ring en in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest te onderzoeken werden drie emissiescenario's doorerekend:

- een scenario waarbij er geen verkeer meer is op de Brusselse ring
- een scenario waarbij het verkeer op de Brusselse ring met 20% toeneemt
- een scenario waarbij het verkeer op de Brusselse ring met 20% afneemt

Een vergelijking van deze drie scenario's met de huidige situatie (een referentiesimulatie) laat toe de impact van de Ring op de luchtkwaliteit te onderzoeken en dit voor drie verschillende luchtvervuilende stoffen:

- PM2.5 (fijn stof met een aërodynamische diameter van 2,5 µm)
- PM10 (fijn stof met een aërodynamische diameter van 10 µm)
- NO2 (stikstofdioxide)

De belangrijkste bevindingen en conclusies van de studie zijn de volgende:

- Het verkeer van de Ring heeft hoofdzakelijk een invloed in de zone die zich tot op 500 m van de snelweg bevindt. In deze zone wonen iets meer dan 60.000 mensen. Het verkeer op de Ring zorgt voor een bijdrage van 10 tot 60 µg/m<sup>3</sup> (of tot 80%) van de jaargemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties in deze zone. De impact op de fijnstofconcentraties in deze zone (PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>) is kleiner en bedraagt 1 tot 9 µg/m<sup>3</sup> (of tot 30%). Uit Amerikaans onderzoek blijkt dat kinderen die opgroeiden op minder dan 500 meter van een drukke snelweg, een significant lagere longfunctie ontwikkelden dan kinderen die opgroeiden op meer dan 1500 meter van een drukke verkeersweg.
- In de zone tussen 500m en 3000m is de impact van het verkeer op de Ring kleiner voor fijn stof, maar ze blijft belangrijk voor NO<sub>2</sub> (gemiddeld wordt daar nog 10% van de NO<sub>2</sub> concentraties bepaald door de verkeersemissies op de Ring). In deze zone wonen 608.000 mensen.
- Verder dan 3000 m van de Ring is de impact klein (nog 5% van de NO<sub>2</sub> concentraties wordt er bepaald door de verkeersemissies op de Ring) en quasi verwaarloosbaar voor fijn stof. De impact van het verkeer van de Brusselse Ring op de luchtkwaliteit in het centrum van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is dus klein.

## 1. Doel

Het doel van onderhavige studie is om in te schatten wat de impact is van de uitstoot van verontreinigende stoffen door voertuigen op de Brusselse Ring, op de luchtkwaliteit in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. De in beschouwing genomen verontreinigende stoffen zijn fijn stof (PM10 en PM2.5) en stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>), waarvoor de naleving van de in richtlijn 2008/50/EG vastgestelde grenswaarden problematisch blijft in sommige Brusselse meetstations.

## 2. Methode

Om de impact van de emissies van de ring rond Brussel op de luchtkwaliteit in Brussel te bepalen, worden computermodellen met een hoge ruimtelijke resolutie gebruikt. Met deze modellen worden de ingewikkelde chemische reacties en het transport van luchtverontreinigende stoffen in de atmosfeer gesimuleerd. In deze studie wordt het regionale chemie-transportmodel AURORA (Air quality modelling in Urban Regions using an Optimal Resolution Approach) gebruikt in combinatie met het bi-gaussiaanse IFDM (Immission Frequency Distribution Model) model:

- het AURORA-model (De Ridder et al., 2004; Lefebvre et al., 2004; Mensink et al., 2001 en 2006) berekent de luchtkwaliteit in het Brussels Hoofdstedelijk en het Vlaams Gewest met een ruimtelijke resolutie van 3 km. De resultaten van het AURORA-model worden gekalibreerd met de luchtkwaliteitsmetingen die met het RIO interpolatiemodel ruimtelijk worden geïnterpoleerd (Janssen et al., 2008);
- het IFDM-Traffic-model (Bultynck and Malet, 1972; Olesen, 1995; Lefebvre et al., 2010; zie <http://pandora.meng.auth.gr/mds/showlong.php?id=50> voor een volledige lijst van referenties) wordt gebruikt om de bijdrage van het wegverkeer te verfijnen.

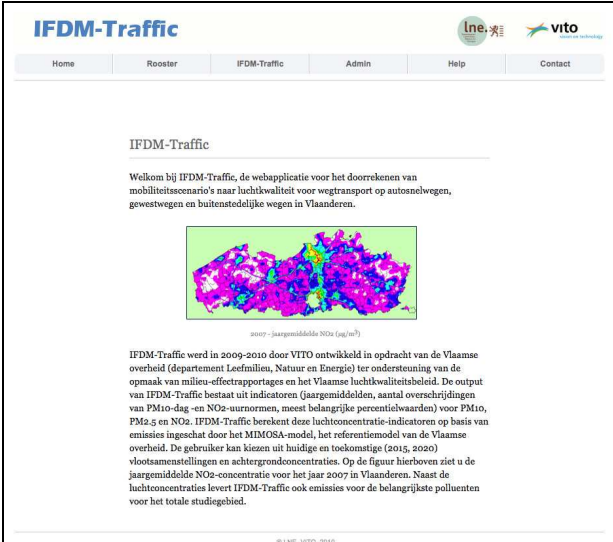
Dankzij een techniek waarmee dubbeltellingen kunnen worden vermeden, is het via de combinatie van de met AURORA en IFDM-Traffic gesimuleerde concentratievelden mogelijk om kaarten met een ruimtelijke resolutie van 50 m te maken.

De emissiegegevens (als input voor de modellen) zijn afkomstig van het emissiemodel MIMOSA 4 dat gebruik maakt van de COPERT IV emissiefactoren en de verkeersintensiteiten die worden verstrekt door het MMM (Multimodaal Model Vlaanderen) model.

Meer informatie over het IFDM-Traffic model kan worden geraadpleegd via de website :

<http://ifdmtraffic.rma.vito.be/IFDMTraffic/facec/index.jsp>

<http://ifdmtraffic.rma.vito.be>



### 3. Emissiescenario's

Om de impact van de Ring op de luchtkwaliteit in Brussel te evalueren, werden drie scenario's doorgerekend:

- **scenario 1:** *volledige eliminatie* van de emissies door de voertuigen die op de Ring rond Brussel rijden; met dit scenario kan de globale impact van het verkeer op de Ring worden ingeschat;
- **scenario 2:** *afname met 20%* van de emissies door het verkeer – zonder onderscheid volgens categorie –op de Ring;
- **scenario 3:** *toename met 20%* van de emissies door het verkeer – zonder onderscheid volgens categorie –op de Ring.

Emissiescenario's worden over het algemeen geëvalueerd aan de hand van de vergelijking tussen:

- een referentiesimulatie;
- een simulatie waarin de emissies worden gewijzigd.

Door het verschil te maken tussen de concentraties berekend in het referentiescenario en de emissiescenario's worden (eventuele) systematische fouten vermeden en kan de impact van een emissiereductie of –toename bepaald worden.

Er werd een periode van één jaar gesimuleerd om rekening te houden met verschillende meteorologische omstandigheden. In deze studie werd het jaar 2010 doorgerekend.

### 4. Resultaten

In de volgende subparagrafen worden de resultaten van de drie emissiescenario's getoond. Voor de pollutanten stikstofdioxide en fijn stof wordt de impact op de luchtkwaliteit geschat op basis van het concentratieverschil tussen de scenario's waarin de emissies werden gewijzigd en het referentiescenario.

De resultaten worden samengevat voorgesteld in de tabellen en in een meer gedetailleerdere vorm voorgesteld via kaarten.

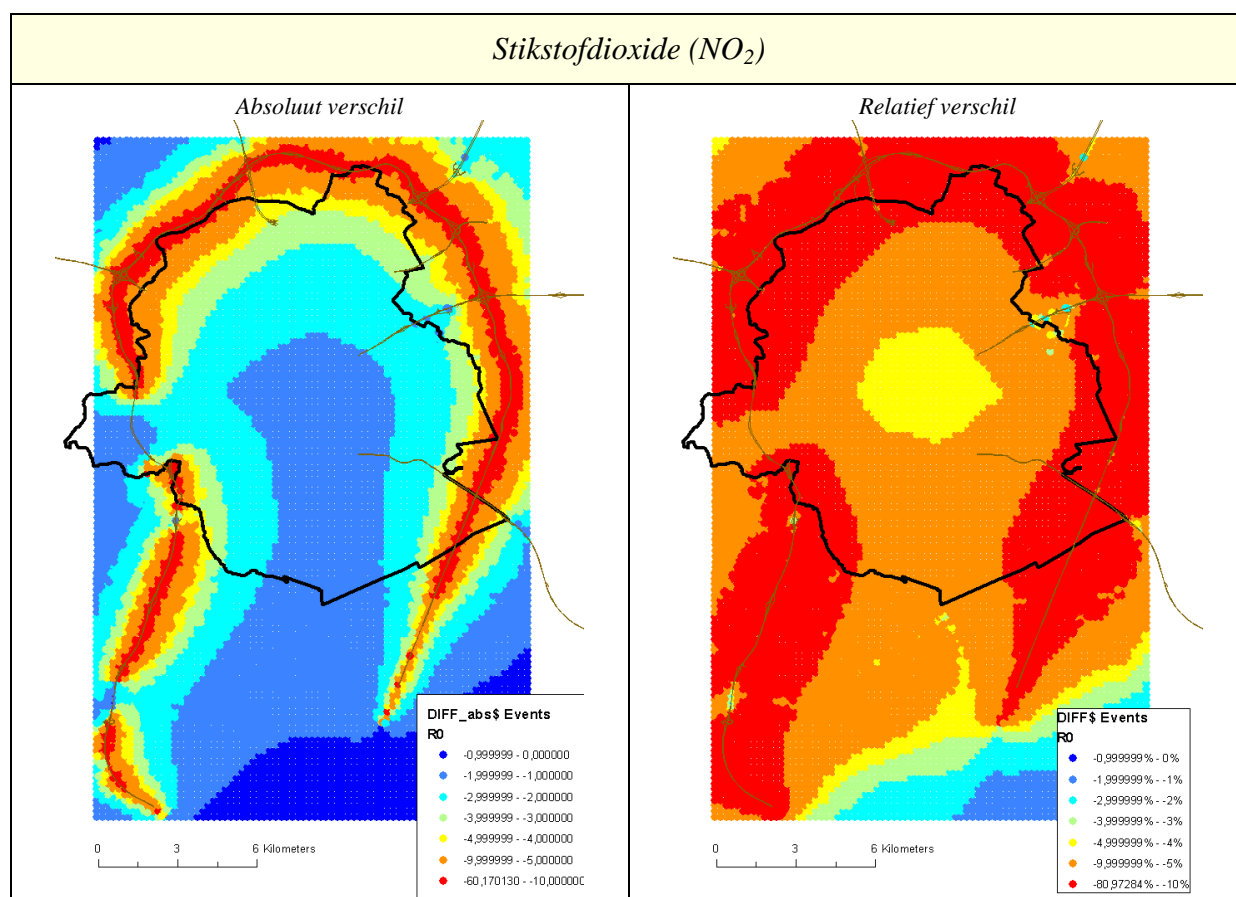
#### 4.a Scenario 1: Totale eliminatie van de emissies van het verkeer op de Ring

In de tabel hieronder wordt de geschatte impact van een totale eliminatie van de emissies van de Ring op de luchtkwaliteit samengevat. De schatting wordt gedaan voor 3 specifieke plaatsen:

- ter hoogte van de Ring, waar de impact van het verkeer op de luchtkwaliteit het grootst is;
- gemiddeld over heel het Brussels Hoofdstedelijk Gewest;
- in het centrum van Brussel, in een zone van 2 km x 2 km rond de Europese wijk, waar de impact van het verkeer van op de Ring het kleinst is.

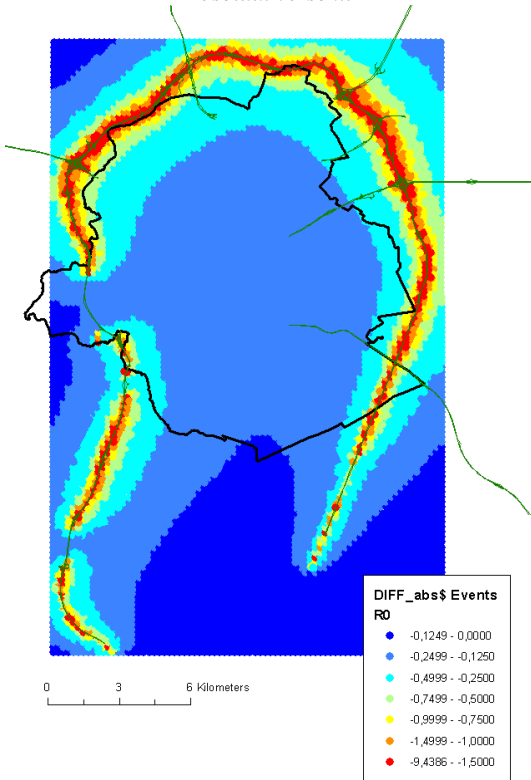
	NO <sub>2</sub>	PM10	PM2.5
Ring	tot -80% (-60 µg/m <sup>3</sup> )	tot -29% (-9,4 µg/m <sup>3</sup> )	tot -32% (-7,7 µg/m <sup>3</sup> )
Brussels Hoofdstedelijk Gewest	-12,2% (-3,8 µg/m <sup>3</sup> )	-1,3% (-0,3 µg/m <sup>3</sup> )	-1,5% (-0,3 µg/m <sup>3</sup> )
Centrum van Brussel (gebied van 2 km x 2 km)	-4,4% (-1,8 µg/m <sup>3</sup> )	-0,5% (-0,1 µg/m <sup>3</sup> )	-0,6% (-0,1 µg/m <sup>3</sup> )

De figuren hieronder tonen respectievelijk voor stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en fijn stof (PM10 en PM2.5) de concentratieverschillen zonder verkeer op de Ring in Brussel. In de linkerfiguur worden de in µg/m<sup>3</sup> uitgedrukte, absolute verschillen weergegeven; de rechterfiguur stemt overeen met de relatieve verschillen in %. Merk op dat de kleurenschaal niet lineair is.

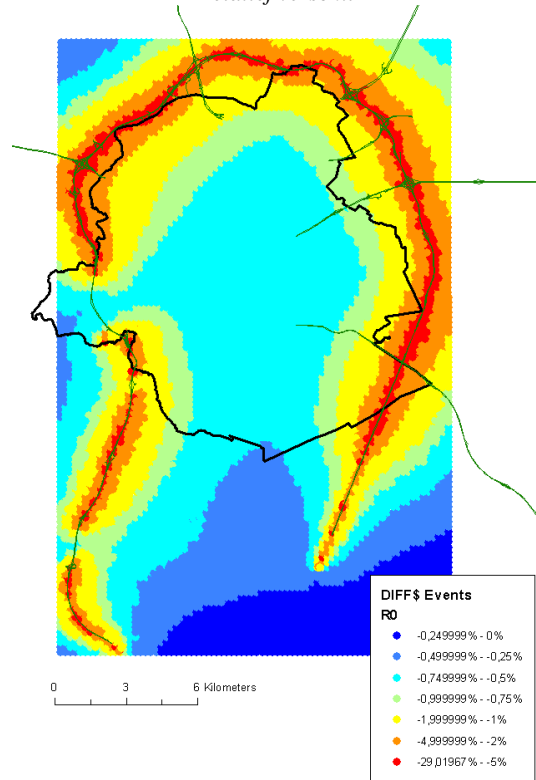


Fijn stof PM10

Absoluut verschil

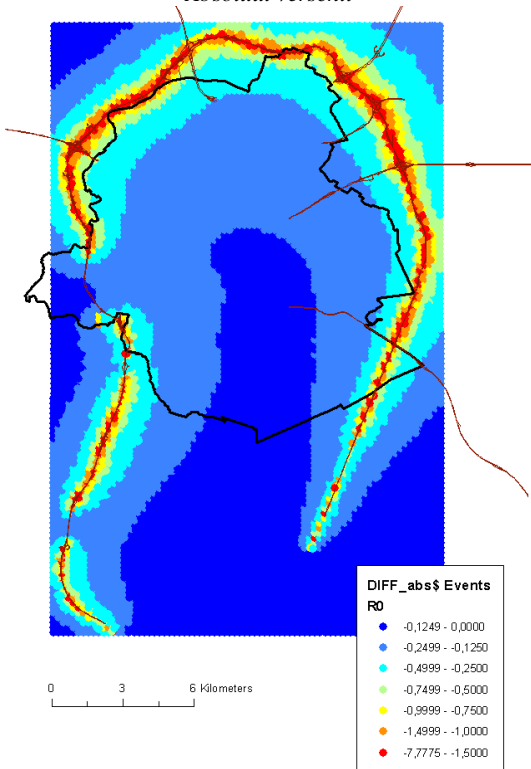


Relatief verschil

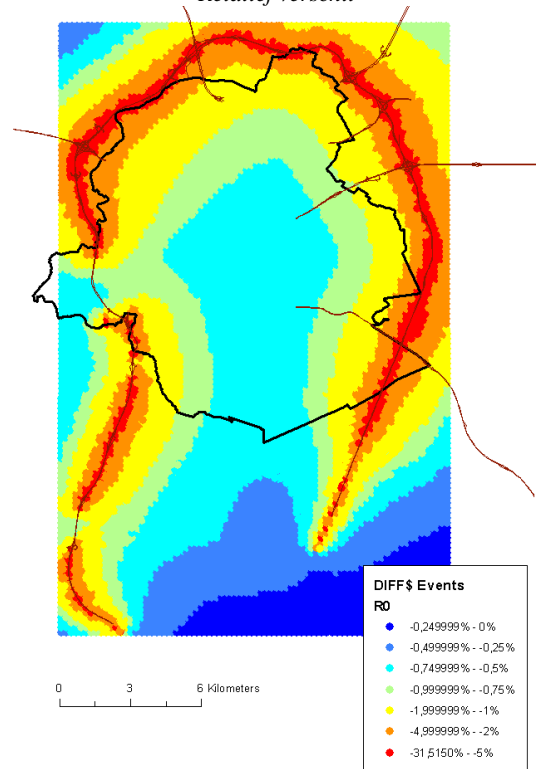


Fijn stof PM2.5

Absoluut verschil



Relatief verschil



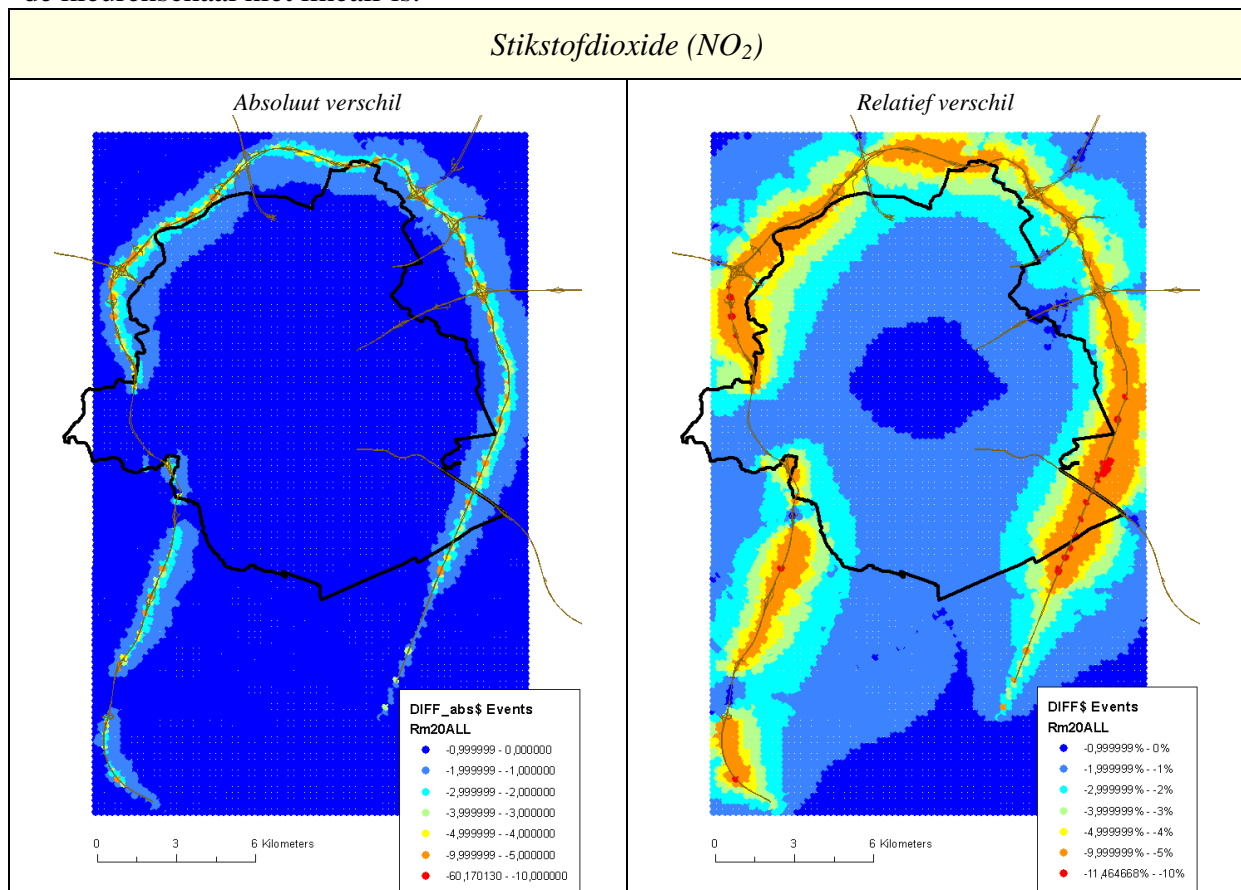
#### 4.b Scenario 2: Afname met 20% van de emissies van het verkeer op de Ring

In de tabel hieronder wordt de geschatte impact van een afname met 20% van de emissies van het verkeer op de Ring op de luchtkwaliteit samengevat. De schatting wordt gedaan voor 3 specifieke plaatsen:

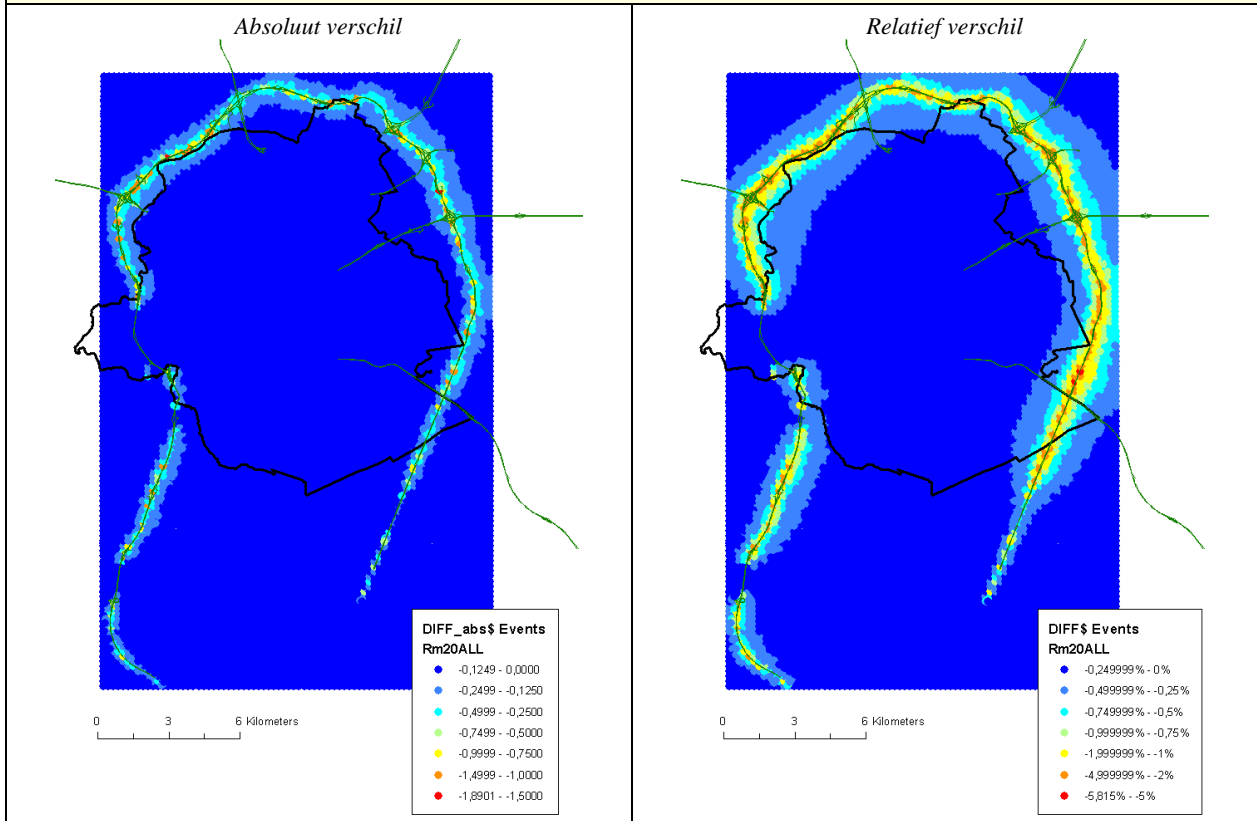
- ter hoogte van de Ring, waar de impact van het verkeer op de luchtkwaliteit het grootst is;
- gemiddeld over heel het Brussels Hoofdstedelijk Gewest;
- in het centrum van Brussel, in een zone van 2 km x 2 km rond de Europese wijk, waar de impact van het verkeer van op de Ring het kleinst is.

	NO <sub>2</sub>	PM10	PM2.5
Ring	tot -11,5% (-8,3 µg/m <sup>3</sup> )	tot -5,8% (-1,9 µg/m <sup>3</sup> )	tot -6,3% (-1,6 µg/m <sup>3</sup> )
Brussels Hoofdstedelijk Gewest	-2,3% (-0,7 µg/m <sup>3</sup> )	-0,3% (-0,1 µg/m <sup>3</sup> )	-0,3% (-0,2 µg/m <sup>3</sup> )
Centrum van Brussel (2 km x 2 km)	-0,9% (-0,4 µg/m <sup>3</sup> )	-0,1% (0,0 µg/m <sup>3</sup> )	-0,1% (0,0 µg/m <sup>3</sup> )

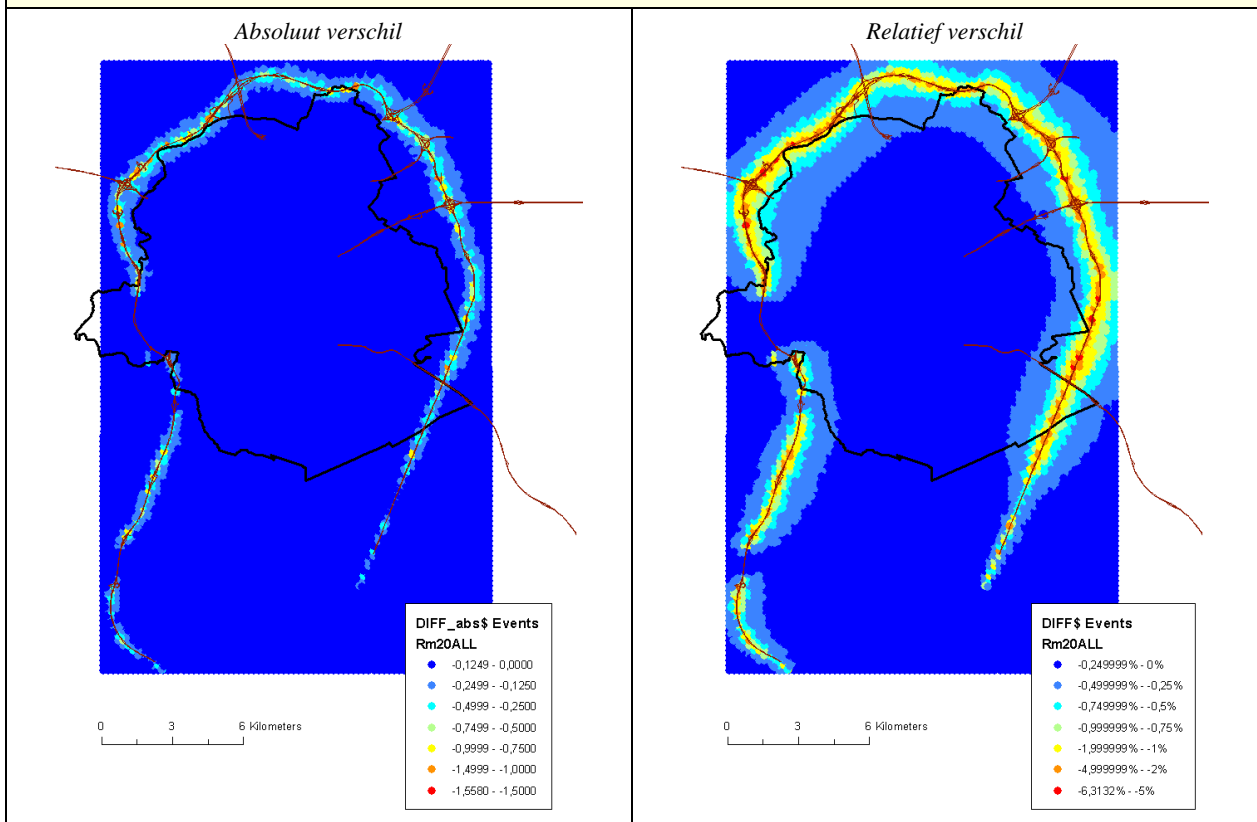
De figuren hieronder tonen respectievelijk voor stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en fijn stof (PM10 en PM2.5) de concentratieverschillen door een afname met 20% van de emissies van het verkeer op de Ring. In de linkerfiguur worden de in µg/m<sup>3</sup> uitgedrukte, absolute verschillen weergegeven; de rechterfiguur stemt overeen met de relatieve verschillen in %. Merk op dat de kleurenschaal niet lineair is.



### Fijn stof PM10



### Fijn stof PM2.5





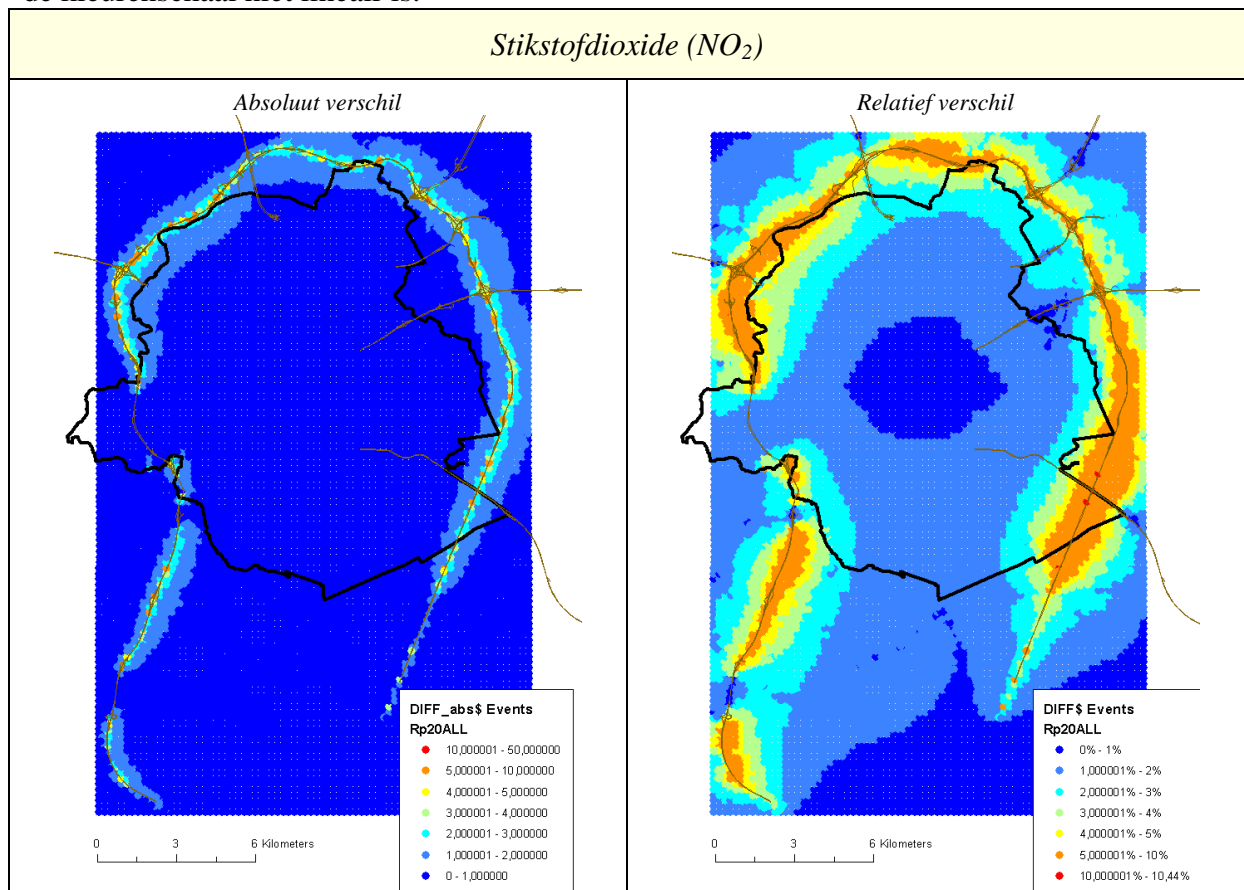
#### 4.c Scenario 3: Toename met 20% van de emissies van de Ring

In de tabel hieronder wordt de geschatte impact van een toename met 20% van de emissies van het verkeer op de Ring op de luchtkwaliteit samengevat. De schatting wordt gedaan voor 3 specifieke plaatsen:

- ter hoogte van de Ring, waar de impact van het verkeer op de luchtkwaliteit het grootst is;
- gemiddeld over heel het Brussels Hoofdstedelijk Gewest;
- in het centrum van Brussel, in een zone van 2 km x 2 km rond de Europese wijk, waar de impact van het verkeer van op de Ring het kleinst is.

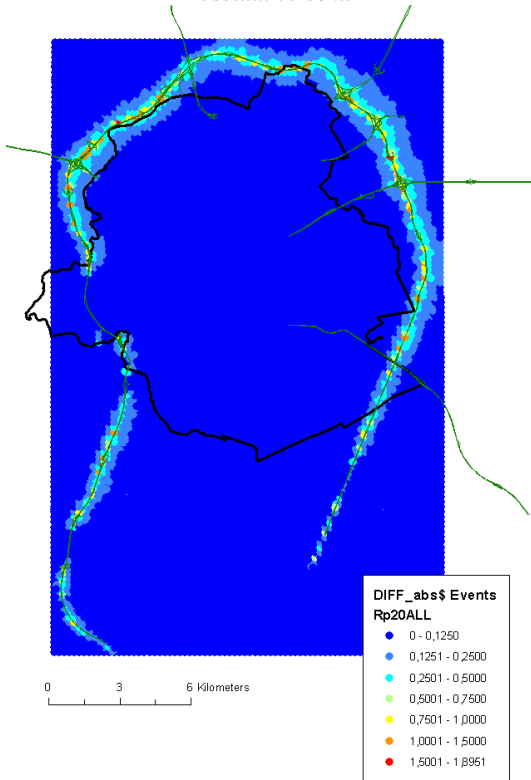
	NO <sub>2</sub>	PM10	PM2.5
Ring	tot +10,4% (+8,0 µg/m <sup>3</sup> )	tot +5,8% (+1,9 µg/m <sup>3</sup> )	tot +6,3% (+1,6 µg/m <sup>3</sup> )
Brussels Hoofdstedelijk Gewest	+2,2% (0,7 µg/m <sup>3</sup> )	+0,3% (+0,1 µg/m <sup>3</sup> )	+0,3% (+0,2 µg/m <sup>3</sup> )
Centrum van Brussel (2 km x 2 km)	+0,9% (0,4 µg/m <sup>3</sup> )	+0,1% (0,0 µg/m <sup>3</sup> )	+0,1% (0,0 µg/m <sup>3</sup> )

De figuren hieronder tonen respectievelijk voor stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en fijn stof (PM10 en PM2.5) de concentratieverschillen door een toename met 20% van de emissies van het verkeer op de Ring. In de linkerfiguur worden de in µg/m<sup>3</sup> uitgedrukte, absolute verschillen weergegeven; de rechterfiguur stemt overeen met de relatieve verschillen in %. Merk op dat de kleurenschaal niet lineair is.

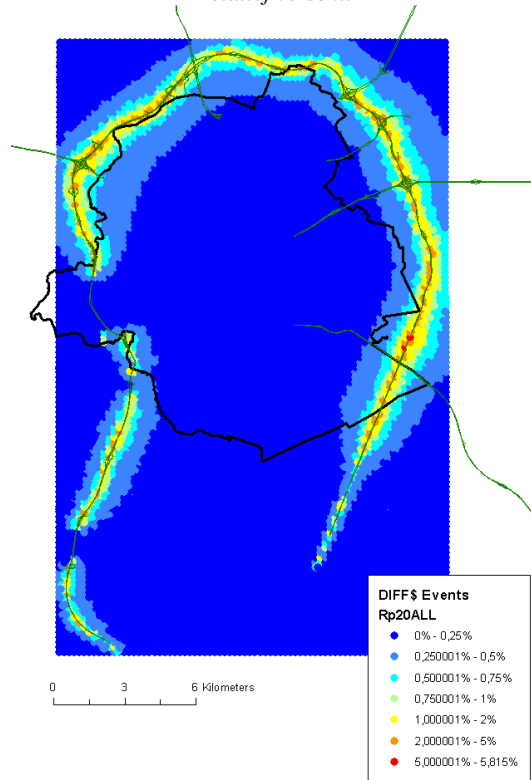


### Fijn stof PM10

Absoluut verschil

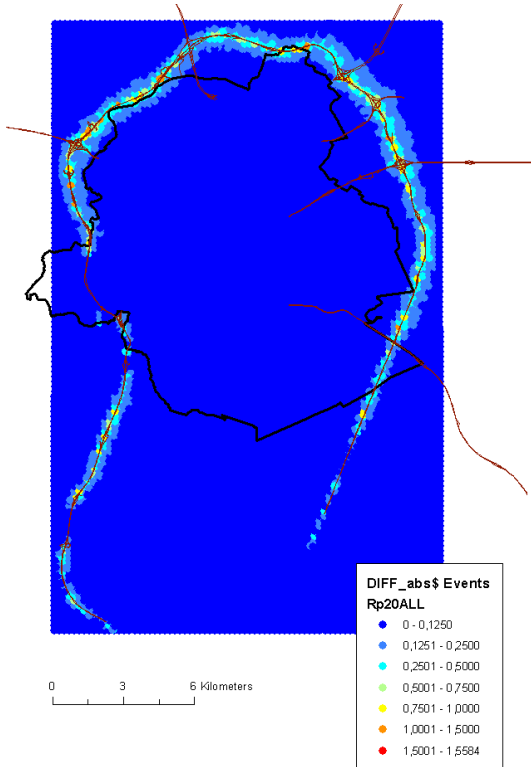


Relatief verschil

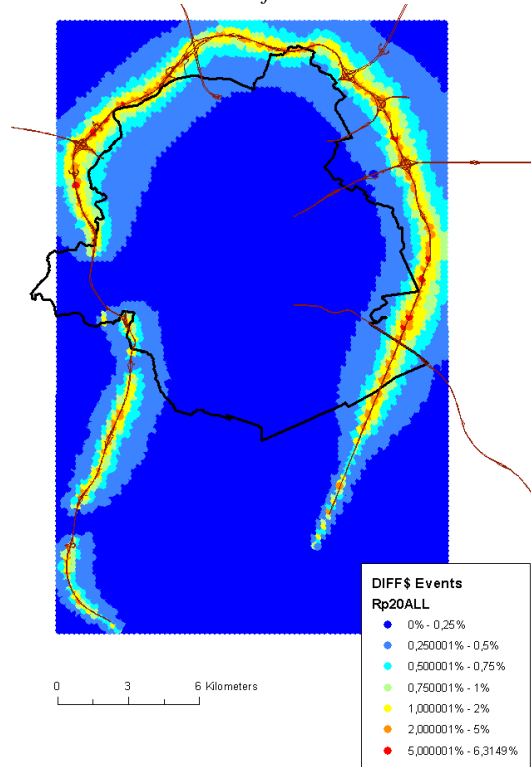


### Fijn stof PM2.5

Absoluut verschil



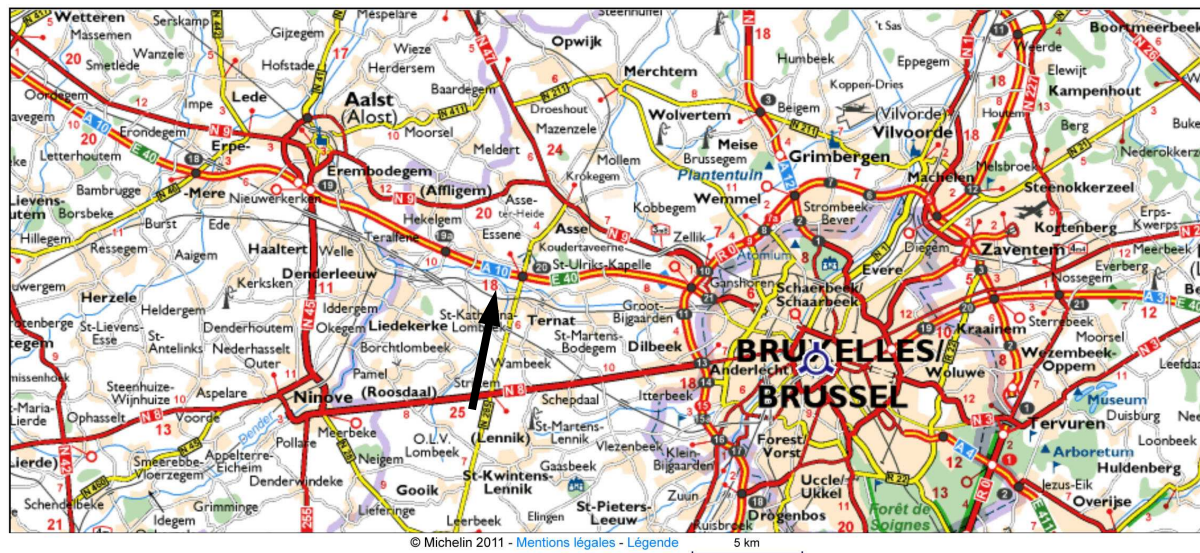
Relatief verschil



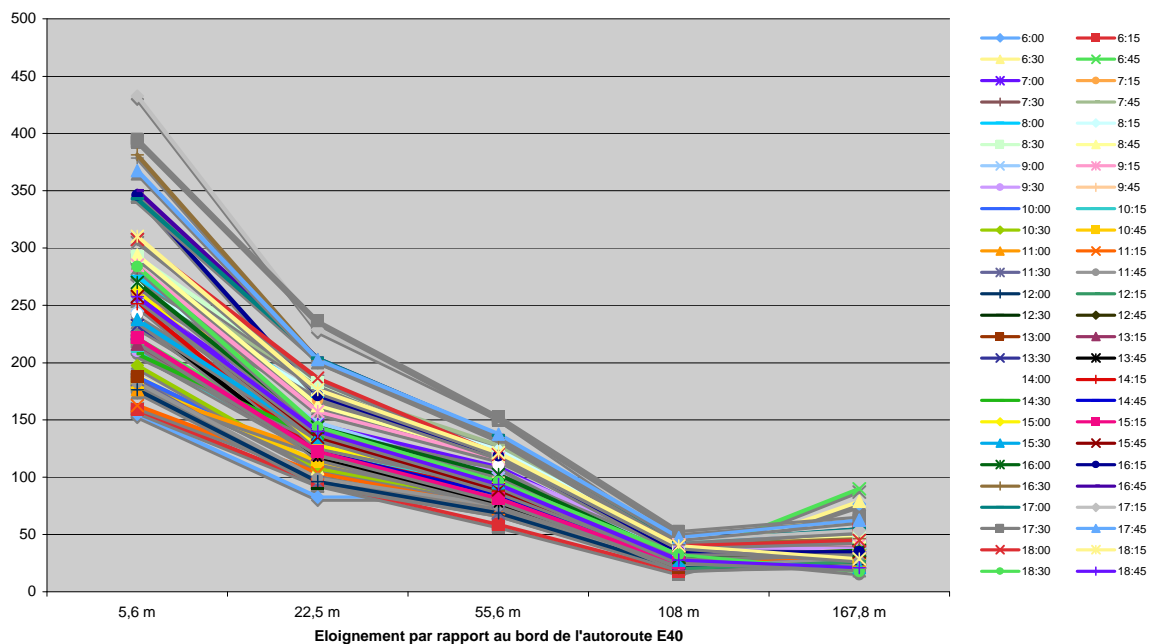
## 5. Afname van de NOx-concentraties in functie van de afstand tot de weg

In december 1982 zette het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie (IHE) een meetcampagne op om de afname van de stikstofoxideconcentraties (NO en NO<sub>2</sub>) en koolstofmonoxideconcentraties (CO) te evalueren in functie van de afstand tot een drukke verkeersader.

Zoals in figuur 1 te zien is, werd de luchtkwaliteit gemeten langs de E40-autosnelweg (Brussel – Gent – Oostende), ter hoogte van Essene (Affligem).



Figuur 1: meetcampagne die in 1982 door het IHE langs de E40-autosnelweg, ter hoogte van Essene (Affligem).



Figuur 2: stikstofmonoxideconcentraties (NO) op 8 december 1982 gemeten in Essene (Affligem). De metingen werden uitgevoerd op 5 plaatsen, op 5 tot 168 meter afstand van de rand van de E40-autosnelweg. Elke lijn stelt het gemiddelde van de metingen over periodes van 15 minuten voor. Bron: Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie (IHE), via P. Vanderstraeten (BIM).

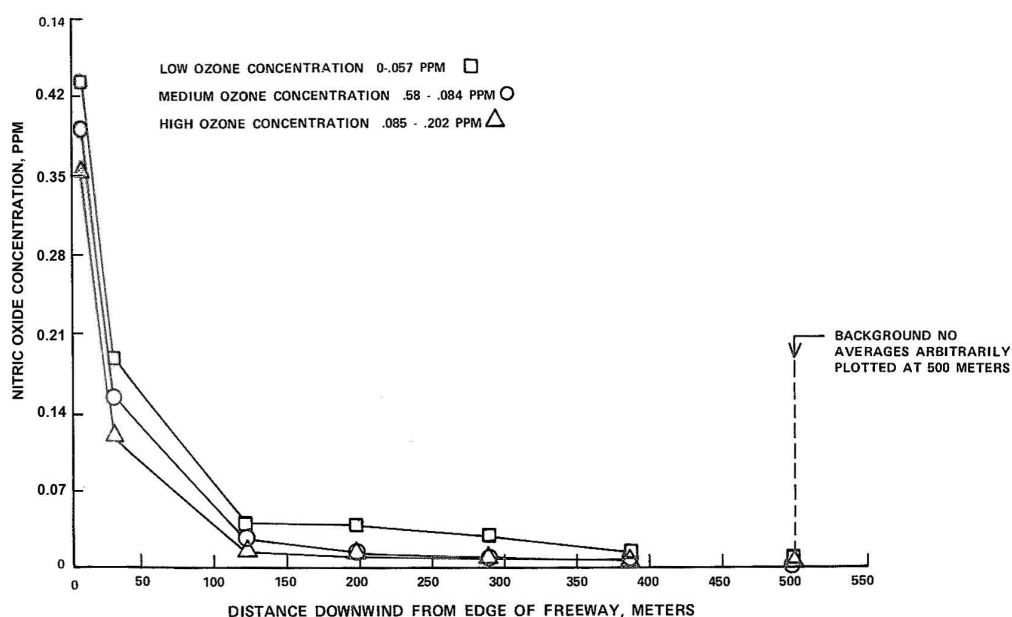
De meetpunten werden respectievelijk op 5,6, 22,5, 55,6, 108 en 167,8 m van de rand van de weg opgezet. In figuur 2 worden de stikstofmonoxideconcentraties (NO) op 8 december 1982 weergegeven. Uit deze meetcampagne blijkt dat de concentraties snel afnemen wanneer de afstand tot de autosnelweg groter wordt. De impact van het verkeer op de NO concentraties wordt relatief klein op meer dan 100 m van de snelweg.

De studie van Rodes en Holland uit 1980 in Los Angeles waarbij de impact van het verkeer op luchtkwaliteit langs een autosnelweg van San Diego (200 000 voertuigen per dag, 9 rijstroken) werd bepaald, bevestigt de resultaten van de IHE studie. Dit blijkt uit figuur 3 : het concentratieverloop stemt zeer sterk overeen met de metingen van het IHE in 1982 langs de E40.

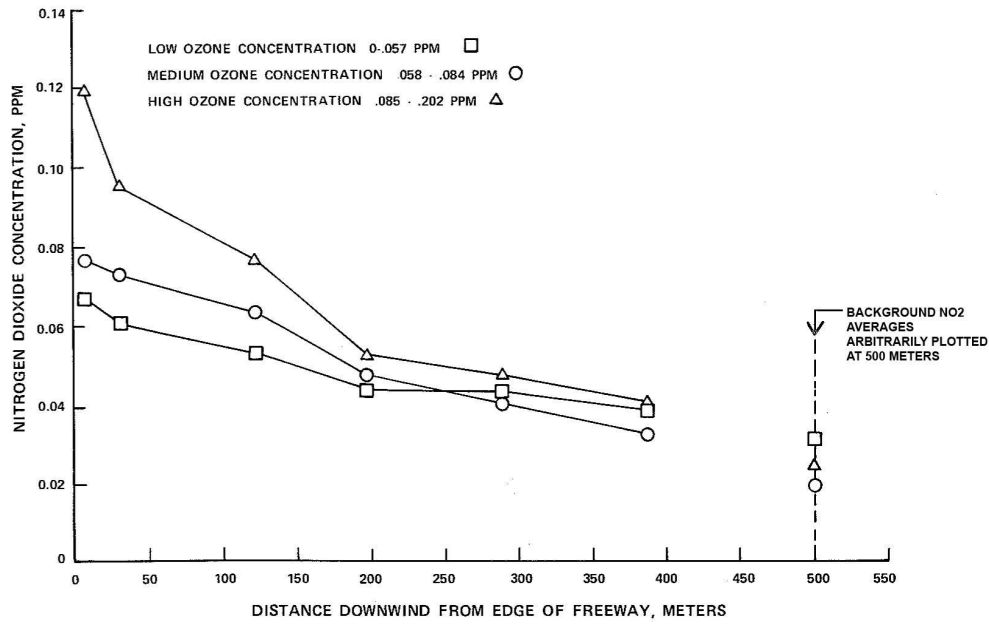
De NO<sub>2</sub> concentraties waarvan de “achtergrond” ook hoger is, nemen minder sterk af in functie van de afstand tot de snelweg. Verder dan 500 meter van een drukke snelweg is de impact van het verkeer op de NO<sub>2</sub> concentraties klein. Dit wordt bevestigd door de studie van Rodes en Holland ( figuur 4). Bij hoge ozonconcentraties, zijn de NO<sub>2</sub> concentraties in de onmiddellijke omgeving van de snelweg hoger dan bij lage ozonconcentraties, maar ze nemen sneller af in functie van de afstand tot de weg. Dit heeft te maken met fotochemische vormings- en afbraakreacties op zonnige en warme dagen.

In figuur 5, waarin de NO<sub>x</sub>-concentraties worden behandeld, wordt een overzicht gegeven van de resultaten die werden verkregen voor NO en NO<sub>2</sub>. In de figuur wordt de aandacht gevestigd op 3 zones langs de weg :

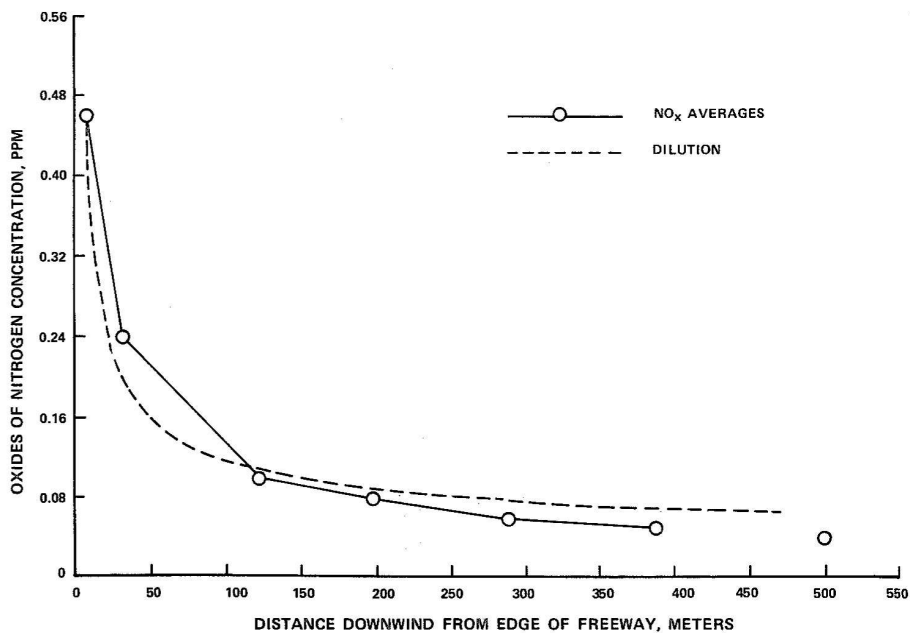
- op 0 tot 150 m afstand van de rand van de weg: gevoelige afname van de NO<sub>x</sub>-concentraties in functie van de afstand tot de weg;
- op 150 tot 500 m afstand van de rand van de weg: tragere en relatief lineaire afname van de NO<sub>x</sub>-concentraties;
- op meer dan 500 m afstand van de weg: de invloed van het verkeer op de NO<sub>x</sub>-concentraties is relatief klein.



Figuur 3: gemiddelde stikstofmonoxideconcentraties (NO), (periode 15 juli tot 1 september 1978) gemeten in functie van de afstand tot de autosnelweg van San Diego. Bron: figuur 3 uit de publicatie van Rodes en Holland (1980).



Figuur 4: gemiddelde stikstofdioxideconcentraties (NO<sub>2</sub>)(periode 15 juli tot 1 september 1978) gemeten in functie van de afstand tot de autosnelweg van San Diego. Bron: figuur 4 uit de publicatie van Rodes en Holland (1980).



Figuur 5: gemiddelde stikstofoxideconcentraties (NO<sub>x</sub> = molaire som van NO en NO<sub>2</sub>) in de periode 15 juli tot 1 september 1978 gemeten in functie van de afstand tot de autosnelweg van San Diego. Bron: figuur 6 uit de publicatie van Rodes en Holland (1980).

Het verband tussen de verandering van de concentraties van verontreinigende stoffen en de afstand tot een drukke verkeersader wordt ook bevestigd door de meetcampagne van de VMM langs de E19 in Rumst. Het rapport van deze campagne is verkrijgbaar via de volgende link: [http://www.vmm.be/pub/Rumst\\_definitief\\_NM\\_TW.pdf/at\\_download/file](http://www.vmm.be/pub/Rumst_definitief_NM_TW.pdf/at_download/file).

## 6. Bespreking en conclusies

Hoewel de combinatie van de modellen AURORA en IFDM op dit ogenblik de best beschikbare methodologie is om de impact te onderzoeken van het verkeer op de Brusselse Ring op de luchtkwaliteit in Brussel, neemt dat niet weg dat alle in deze studie voorgestelde resultaten een bepaalde onzekerheid hebben. Dit is inherent aan het gebruik van luchtkwaliteitsmodellen, o.a. door de onzekerheid van de gegevens (emissies, meteo, ...) die als input gebruikt worden.

Rekening houdend met deze opmerking, resulteerde de onderhavige studie in de volgende conclusies.

### 6.a Evaluatie van de scenario's

Volgens scenario 1 zijn er 3 zones waar de impact van het verkeer op de Ring rond Brussel op de luchtkwaliteit kan geëvalueerd worden :

#### 1. Zone langs de Ring tot een afstand van 500 m (63 000 inwoners, figuur 6)

Impact van het verkeer op de Ring op de luchtkwaliteit:

- NO<sub>2</sub>: bijdrage van 10 tot 60 µg/m<sup>3</sup> aan de jaargemiddelde concentraties;
- PM10 en PM2.5: bijdrage van 1 tot 9 µg/m<sup>3</sup> aan de jaargemiddelde concentraties.

Zowel de AURORA-IFDM-modellering als de meetcampagnes bevestigen dat een drukke verkeersweg zoals de Ring een significante impact heeft op de luchtkwaliteit in een zone tot op een afstand van 500 m. Dit is vooral het geval voor de NO<sub>2</sub>-concentraties: het verkeer op de Ring zorgt voor een toename van de jaargemiddelde concentraties van minstens 10 µg/m<sup>3</sup>.

De impact van het verkeer op de Ring op de PM10- en PM2.5-concentraties is lager. Dat is te wijten aan het grote aantal andere (niet verkeers)bronnen die de PM10- en PM2.5-concentraties bepalen. Bovendien is de bijdrage van de directe verkeersemissies (roet van dieselmotoren, slijtage van de banden en de remmen) aan de totale in Brussel gemeten PM10-concentraties klein (gemiddeld 20 tot 25%). De resterende 75% is afkomstig van andere bronnen (hoofdzakelijk huishoudelijke verwarming en industriële processen), van natuurlijke oorsprong en afkomstig van bronnen buiten het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

Totale massa PM10 is dus niet de beste verkeersgerelateerde indicator. Een betere indicator is "black carbon" (BC), één van de componenten van fijn stof. Dit BC is hoofdzakelijk (diesel)roet dat wordt gevormd bij verbrandingsprocessen. Er zijn bovendien steeds meer aanwijzingen dat BC behoort tot de deeltjes die het schadelijkst zijn voor de gezondheid. Dit niet alleen door de samenstelling maar ook omdat het kleine deeltjes zijn waardoor ze via de longblaasjes in de bloedbaan kunnen terecht komen. In Brussel wordt BC momenteel in 3 stations gemeten: Sint-Lambrechts-Woluwe, Sint-Jans-Molenbeek en Elsene. Uit metingen blijkt dat de BC concentraties sterk gecorreleerd zijn met de NO<sub>x</sub>-concentraties. Dit betekent dat de conclusies voor NO<sub>x</sub> waarschijnlijk ook gelden voor BC.

Wonen binnen een straal van 500m van een drukke verkeersweg kan een impact hebben op de gezondheid. Dit werd aangetoond door Gauderman et al. (2007). Die stelde vast dat de ademhalingsfunctie van 18-jarigen die opgroeiden op minder dan 500 m van een

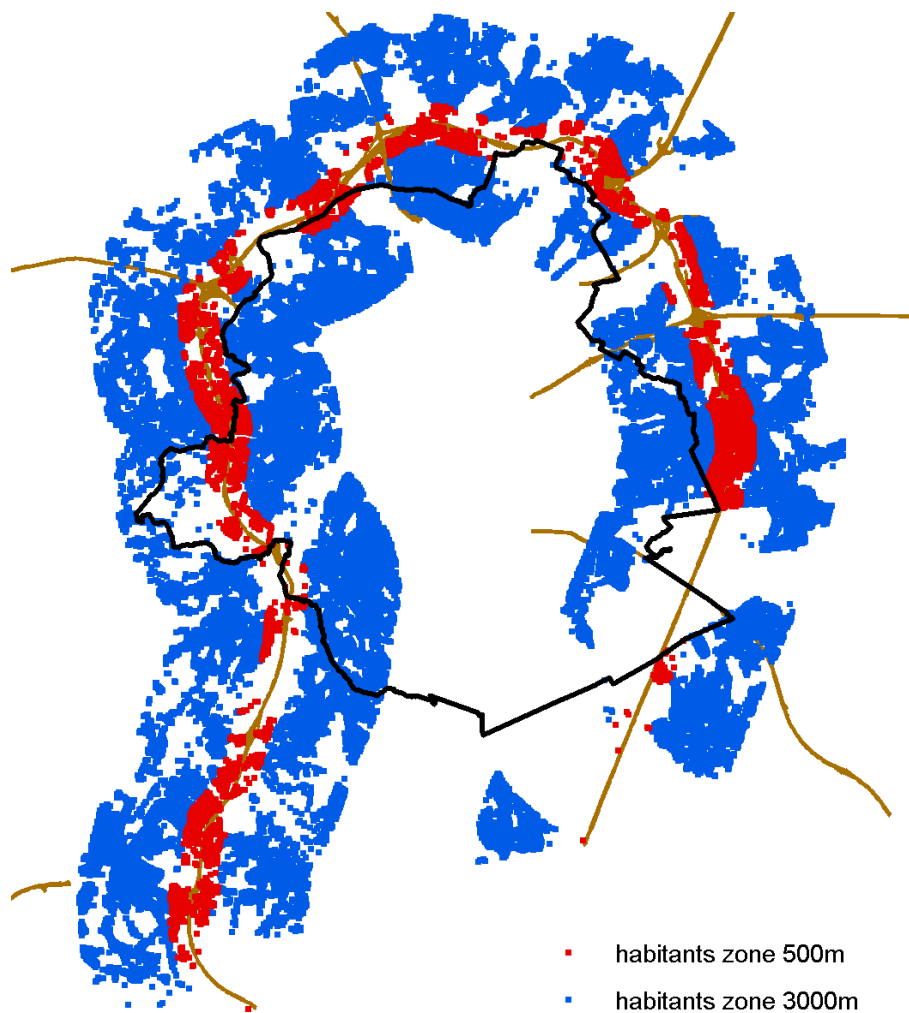
drukke autosnelweg significant minder goed is dan van 18-jarigen die opgroeiden op meer dan 1500 m van die weg.

## 2. Zone van 500 tot 3000 m afstand van de Ring (608 000 inwoners, figuur 6)

Impact van het verkeer op de Ring op de luchtkwaliteit:

- NO<sub>2</sub>: bijdrage van 4 tot 10 µg/m<sup>3</sup> aan de jaargemiddelde concentraties;
- PM10 en PM2.5: bijdrage van 0,25 tot 1 µg/m<sup>3</sup> aan de jaargemiddelde concentraties.

De bijdrage van het verkeer op de Ring op de fijnstofconcentraties in deze zone kan als klein worden beschouwd. Voor NO<sub>2</sub> blijft de invloed ervan echter significant: de emissies op de Ring dragen voor minstens 10% bij aan de jaargemiddelde NO<sub>2</sub>-concentraties in deze zone.



Figuur 6: plaats van de woningen die in de zone op 0 tot 500 m afstand (rood) en in de zone op 500 tot 3000 m afstand (blauw) van de Ring R0 liggen. Er wonen 63 000 inwoners in de zone op 0-500 m afstand en 608 000 inwoners in de zone op 500-3000 m afstand.



### 3. Zone op meer dan 3000 m afstand van de Ring

Impact van de Ring op de luchtkwaliteit: klein

- NO<sub>2</sub>: bijdrage van 1,5 tot 4 µg/m<sup>3</sup> aan de jaargemiddelde concentraties;
- PM10 en PM2.5: bijdrage van minder dan 0,25 µg/m<sup>3</sup> aan de jaargemiddelde concentraties.

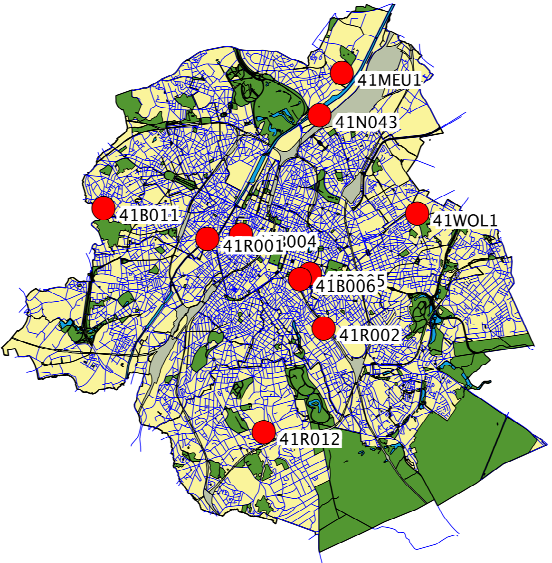
Deze zone, die het centrum van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest omvat, blijft relatief gespaard van de emissies van het verkeer op de Ring. De impact op de concentraties van fijn stof is quasi verwaarloosbaar. Voor de NO<sub>2</sub>-concentraties dragen de emissies van het verkeer op de Ring rond de 2 µg/m<sup>3</sup> bij in het centrum van Brussel. Dit is ongeveer 5% van de jaargemiddelde concentraties.

Scenario's 2 en 3 (respectievelijk 20% minder en 20% meer emissies van de Ring) veranderen het geheel van de hierboven vermelde conclusies met ongeveer een factor 5.

### 6.b Europese jaargrenswaarde NO<sub>2</sub>

Aangezien de verkeersemissies van de Ring hoofdzakelijk een impact hebben op de NO<sub>2</sub>-concentraties, leek het nuttig om na te gaan in welke mate de aanwezigheid van de Ring bijdraagt aan de overschrijdingen van de Europese jaargrenswaarde voor NO<sub>2</sub>.

Momenteel meten 10 stations permanent de NO- en de NO<sub>2</sub>-concentraties in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest:

	<i>Code</i>	<i>Station</i>	<i>Afstand tot de Ring</i>
	41B011	Maricollen (Sint-Agatha-Berchem)	1100 m
	41MEU1	Meudonpark (Neder-Over-Heembeek)	1850 m
	41N043	Voorhaven (Haren)	3200 m
	41WOL1	Gulledelle (Sint-Lambrechts-Woluwe)	3300 m
	41R012	KMI-IRM (Ukkel)	3650 m
	41R001	Sluis 11 (Sint-Jans-Molenbeek)	3700 m
	41B004	Baksteenkaai (Brussel)	4700 m
	41R002	Kroon (Elsene)	6150 m
	41B006	EU-parlement (Brussel)	6500 m
	41B005	Eastman-Belliard (Brussel)	6700 m



In de onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de jaargemiddelde NO<sub>2</sub>-concentraties (2010) in de 10 Brusselse meetstations.

<b>Stations de mesures</b>	<b>2010</b>
Couronne (Ixelles)	54
Avant-Port (Bruxelles/Haren)	44
Ecluse 11 (Molenbeek-St-Jean)	43
Quai aux Briques (Bruxelles)	43
Eastman-Belliard (Bruxelles)	41
Gulledelle (Woluwe-Saint-Lambert)	39
Parlement UE (Bruxelles)	37
Maricolles (Berchem Ste-Agathe)	30
IRM-KMI (Uccle)	28
Parc Meudon (Bruxelles / Neder-Over-Heembeek)	35

Sinds 1 januari 2010 mogen de jaargemiddelde NO<sub>2</sub>-concentraties niet langer de in richtlijn 2008/50/EG vastgestelde grenswaarde van 40 µg/m<sup>3</sup> overschrijden. In 2010 werd deze grenswaarde in de helft van de Brusselse meetstations overschreden.

Zonder verkeer op de Ring (scenario 1), zouden de jaargemiddelde NO<sub>2</sub>-concentraties gemiddeld met 2 tot 6 µg/m<sup>3</sup> afnemen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. De jaargemiddelde concentraties zonder verkeer op de Ring kunnen afgeleid worden door van de gemeten concentraties de geschatte bijdrage van het verkeer op de Ring af te trekken. Het resultaat van deze oefening wordt weergegeven in de volgende tabel:

<b>Stations de mesures</b>	<b>2010</b>
Couronne (Ixelles)	52
Avant-Port (Bruxelles/Haren)	41
Ecluse 11 (Molenbeek-St-Jean)	41
Quai aux Briques (Bruxelles)	41
Eastman-Belliard (Bruxelles)	39
Gulledelle (Woluwe-Saint-Lambert)	37
Parlement UE (Bruxelles)	35
Maricolles (Berchem Ste-Agathe)	24
IRM-KMI (Uccle)	26
Parc Meudon (Bruxelles / Neder-Over-Heembeek)	31

Het verkeer op de Ring heeft dus maar een kleine impact op het aantal en de grootte van de overschrijdingen van de daggrenswaarde in het Brussels Gewest. In de meeste meetplaatsen zal de drempel ook zonder verkeer op de Ring overschreden worden. Dat is met name het geval voor het station van Elsene, waar de gemeten concentraties vooral bepaald worden door de emissies van het plaatselijke verkeer.

Om de NO<sub>2</sub>-concentraties in het centrum van Brussel te verlagen en om te vermijden dat de Europese jaargrenswaarde in het centrale gedeelte van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en in de buurt van verkeersgerichte meetplaatsen (Elsene, Sint-Jans-Molenbeek, Baksteenkaai,

Sint-Lambrechts-Woluwe) overschreden wordt, zullen dus vooral lokale (verkeers)maatregelen genomen moeten worden.

### **6.c Variabiliteit in de tijd**

De resultaten van deze studie zijn geldig als ze op jaarbasis worden bekeken. Op dagbasis kan de impact van de emissies van de Ring op de luchtkwaliteit variëren in functie van de weersomstandigheden. De impact van lokale bronnen op de luchtkwaliteit zal groter zijn wanneer de weersomstandigheden zorgen voor ongunstige verdunningsomstandigheden in de atmosfeer. In de SMOG90 studie die werd uitgevoerd door VITO in opdracht van de VMM werd de impact van een snelheidsverlaging tijdens smogepisodes onderzocht.

## **Bijlage 1: impact van stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) op de gezondheid**

In de meeste stedelijke omgevingen in Europa zijn de belangrijkste bronnen van NO<sub>2</sub> de NO<sub>x</sub> emissies die afkomstig zijn van het wegverkeer en de energieopwekking.

Binnenshuis zijn gasfornuizen en roken een belangrijke bron van NO<sub>x</sub>. Deze bronnen zijn ook belangrijk bij de evaluatie van de gevolgen van NO<sub>2</sub> voor de gezondheid.

### ***a) Gevolgen op korte termijn***

Stikstofdioxide is een krachtig, oxiderend gas dat door inademing in de longen terecht komt.

In een aantal experimentele toxicologische studies werden acute gezondheidseffecten vastgesteld bij kortdurige blootstelling (1 uur) aan NO<sub>2</sub>-concentraties van meer dan 500 µg/m<sup>3</sup>. Hoewel uit laboratoriumonderzoek blijkt dat de minimale NO<sub>2</sub>-concentratie waarbij er een significante impact is op de longfunctie van astmalijders 560 µg/m<sup>3</sup> bedraagt, wijzen andere studies erop dat de bronchiale reactiviteit toeneemt zodra de NO<sub>2</sub> concentraties meer dan 200 µg/m<sup>3</sup> (uurgrenswaarde die wordt aanbevolen door de WHO) bedragen.

Epidemiologische studies die bij grote populaties de impact van luchtverontreiniging hebben onderzocht konden geen acute gevolgen van blootstelling aan alleen NO<sub>2</sub> voor de gezondheid isoleren. Dit omdat er complexe verbanden bestaan tussen de verschillende verontreinigende stoffen in de omgevingslucht.

De gevolgen op korte termijn van NO<sub>2</sub> zouden evenwel vergelijkbaar zijn met de gevolgen die werden vastgesteld voor ozon, maar met concentraties die in vergelijking hoger zijn. Dit omdat NO<sub>2</sub> een minder krachtig oxidant is dan ozon. De kortstondige blootstelling aan NO<sub>2</sub> concentraties die hoger zijn dan 200 µg/m<sup>3</sup>, kunnen naargelang van de blootstellingsduur, de gevoeligheid van de blootgestelde personen en hun activiteiten, leiden tot de volgende symptomen :

- ademhalingsmoeilijkheden, vooral bij intensieve lichamelijke inspanningen;
- eventuele irritatie van de ogen en de bovenste luchtwegen;
- hoest bij gevoelige personen;
- toename van de bronchiale hyperreactiviteit bij astmalijders.

### ***b) Gevolgen op lange termijn***

Tal van epidemiologische studies hebben NO<sub>2</sub> gebruikt als “proxy” voor het complexe mengsel van luchtverontreiniging veroorzaakt door verbrandingsprocessen veroorzaakt door wegverkeer of verbrandingsbronnen in woningen. In deze studies konden de gevolgen voor de gezondheid ook worden geassocieerd met andere pollutanten zoals fijn en ultrafijn stof of benzeen. Hoewel in meerdere studies de gezondheidsrisico's van NO<sub>2</sub> werden bestudeerd – zowel in de buitenlucht als binnenshuis –, is het vaak moeilijk om de gevolgen van andere, met NO<sub>2</sub> gecorreleerde, verontreinigende stoffen te isoleren.

Daaruit volgt dat er nog altijd geen solide wetenschappelijke basis bestaat om een jaargemiddelde indicatieve concentratie voor NO<sub>2</sub> vast te leggen voor de bescherming van de volksgezondheid. Recente gegevens duiden echter op meer en meer indicaties dat er

gevolgen zijn voor de gezondheid die in verband kunnen gebracht worden met luchtverontreinigende mengsels die NO<sub>2</sub> bevatten. Zo blijkt uit de epidemiologische studies dat:

- de bronchiale symptomen van kinderen die aan astma lijden toenemen wanneer de jaargemiddelde NO<sub>2</sub>-concentratie toeneemt;
- de ontwikkeling van de longfunctie wordt vertraagd door blootstelling aan hoge NO<sub>2</sub>-concentraties in gebieden waar de concentraties in de omgevingslucht vergelijkbaar zijn met concentraties in stedelijke regio's in Noord-Amerika en Europa.

NO<sub>2</sub> vertoont een grotere ruimtelijke variabiliteit dan andere verkeersgerelateerde luchtverontreinigende stoffen zoals fijn stof. Een aantal studies toonden negatieve gevolgen aan voor de gezondheid van kinderen die in stedelijke gebieden wonen met hogere NO<sub>2</sub>-concentraties, zelfs in gevallen waarbij de globale NO<sub>2</sub>-concentraties in de hele stad tamelijk laag waren.

Via het momenteel beschikbare epidemiologische onderzoek kan worden besloten dat de blootstelling aan de huidige in Europa gemeten NO<sub>2</sub> concentraties, de longfunctie kan aantasten en het risico op ademhalingsymptomen kan vergroten. Astmalijders en kinderen in het algemeen worden als kwetsbaarder voor blootstelling aan verhoogde NO<sub>2</sub> concentraties beschouwd. Op basis van de huidige beschikbare studies is het onvoldoende aantoonbaar dat er een verband is tussen de blootstelling aan NO<sub>2</sub> en vervroegde sterfte.

Uit toxicologische studies die werden opgezet bij dieren, blijkt dat er veranderingen optreden van de longstructuur, het longmetabolisme en de afweermechanismen van de longen tegen infecties bij organismen die 1 tot 6 maanden lang werden blootgesteld aan NO<sub>2</sub>-concentraties van 190 tot 950 µg/m<sup>3</sup>.

Ten slotte blijkt uit meerdere studies dat de blootstelling aan NO<sub>2</sub> de allergische reacties op ingeademd stuifmeel doet toenemen.

*Bronnen: WHO, 2000 – WHO, 2003 – WHO, 2005.*

## **Bijlage 2: impact van fijn stof (PM10 en PM2.5) op de gezondheid**

Van de verschillende verontreinigende stoffen die in het kader van de Europese Richtlijn 2008/50/EG worden gereguleerd, behoort fijn stof veruit tot de stoffen met de grootste impact op de gezondheid. Uit studies gebaseerd op lange tijdreeksen metingen die werden uitgevoerd in Europa en in de Verenigde Staten, blijkt immers dat fijn stof (PM10) wordt geassocieerd met een verhoogd risico op cardiovasculaire sterfte (Katsouyanni et al. 1997; Samet et al. 2000; Schwartz 1991, 2000).

Niet alle fijnstofdeeltjes leveren echter een vergelijkbaar gevaar voor de gezondheid op. Het fijnste stof kan tot in de longblaasjes raken, waarbij het bovendien een drager is voor gevaarlijke stoffen die zo in de bloedsomloop kunnen terechtkomen. Wegens hun potentieel mutagene en/of kankerverwekkende aard zijn elementair koolstof (roet) en PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen) vermoedelijk gevaarlijker dan bijvoorbeeld klei- en zanddeeltjes die tot de grootteklasse van 2,5 tot 10 µm behoren (en dus ook tot het PM10 behoren).

In dat opzicht hebben meerdere studies een significante correlatie aangetoond tussen de blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtverontreiniging en de gezondheid (McCreanor et al. 2007; Schwartz et al. 2005). Elementaire-koolstofdeeltjes (roet) en stikstofdioxide zijn typische verkeersgerelateerde stoffen. De langetermijnblootstelling aan deze stoffen zorgt voor een vermindering van de ademhalingsfunctie bij kinderen (Brunekreef et al. 1997; Gauderman et al. 2007; Wjst et al. 1993). Er werd ook een verband gelegd tussen kransslagaderverkalking en blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtverontreiniging (Hoffmann et al., 2007).

De “primaire” of directe emissies van het verkeer en luchtverontreiniging die ontstaat bij verbrandingsprocessen zorgt voor een groter risico voor de gezondheid dan andere soorten fijnstofdeeltjes (Hoek et al. 2002; Laden et al. 2000; Lanki et al. 2006; Seagrave et al. 2006). Een toename van elementair en organisch koolstof (EC en OC) zorgt tevens voor een toename van ziekenhuisopnames door ademhalings- en cardiovasculaire ziektes (Peng et al. 2009; Bell et al., 2009).

Volgens de Chemkar-studie van de VMM vormt EC (elementair koolstof) maar een kleine fractie -ongeveer 4%- van de totale massa van de PM10 concentraties. Dat neemt niet weg dat deze component waarschijnlijk de fractie is die het grootste risico voor de gezondheid oplevert. Het is dan ook van belang om de concentraties van deze component van het fijn stof te meten en op te volgen. Dit kan met aethalometers: deze monitoren meten continu de concentraties van “BC” of zwarte koolstofdeeltjes. BC is sterk gecorreleerd met elementair koolstof ( $BC \approx 1.4 * EC$ ). De installatie van BC meettoestellen naast de PM10- en PM2.5-toestellen maakt het mogelijk om de koolstofhoudende fractie van de PM10- en PM2.5-deeltjes beter in te schatten. Het is in dit kader dat het BIM onlangs twee aethalometers heeft geïnstalleerd in de meetstations te Sint-Lambrechts-Woluwe en Sint-Jans-Molenbeek.

### ***a) Gevolgen op korte termijn***

Ouderen en personen met ademhalings- en hartproblemen zijn het meest gevoelig voor de gevolgen op korte termijn van de blootstelling aan verhoogde fijnstofconcentraties. Ook astmalijders zullen in vergelijking met gezonde personen meer hinder ondervinden van een toename op korte termijn van de fijnstofconcentraties. Tijdens “smogepisodes” (periodes met

verhoogde luchtverontreiniging, o.a. met fijn stof) wordt een significante toename vastgesteld van het gebruik van bronchodilatoren, meer ziekenhuisopnames ten gevolge van chronische ademhalingsproblemen (bijv. bronchitis, verslechtering van de ademhalingsfuncties) en zelfs een toename van de dagelijkse sterfte.

Er zijn meer en meer epidemiologische studies die aangeven dat de kortetermijnblootstelling aan fijn stof dat vrijkomt bij verbrandingsprocessen zorgt voor negatieve gezondheidseffecten. Dit geldt zowel voor de blootstelling aan de primaire (rechtstreeks uitgestoten) als de secundaire deeltjes die gevormd worden door ingewikkelde fysico-chemische processen in de atmosfeer. Dit blijkt ook uit een grootschalig Europees onderzoek. Uit toxicologisch onderzoek blijkt bovendien dat deeltjes die vrijkomen bij verbrandingsprocessen in motoren van wagens en bij de verbranding van hout, een hoog ontstekingspotentieel hebben. Deeltjes die door de wind opgewaaid worden en fijn stof van natuurlijke oorsprong zijn vermoedelijk minder schadelijk voor de gezondheid.

### ***b) Gevolgen op lange termijn***

Langdurige blootstelling aan fijn stof zorgt voor :

- een toename van de symptomen ter hoogte van de onderste luchtwegen;
- de ontwikkeling van chronisch obstructief longlijden (COPD);
- de verslechtering van de longfunctie bij kinderen en volwassenen;
- een slechtere groei van de longen bij kinderen;
- een lagere levensverwachting die hoofdzakelijk toe te schrijven is aan een hoger risico op cardiopulmonaire sterfte en longkanker.

De nadelige gevolgen voor de gezondheid zijn aangetoond bij bejaarden of mensen die problemen hebben met hun immuunsysteem, het hart of de ademhaling. Ook kinderen zijn gevoelig aan de langetermijnblootstelling aan fijn stof.

De gevolgen van de langetermijnblootstelling aan fijn stof zijn een stuk belangrijker dan de gevolgen op korte termijn.

Uit de studies in het kader van het CAFE-programma (CAFE = Clean Air for Europe), blijkt dat de blootstelling aan de huidige PM<sub>2,5</sub>-concentraties de levensverwachting in Europa met gemiddeld ongeveer 8 maanden verlaagt. In België wordt deze vermindering van de levensverwachting op 13,6 maanden geschat.

Bij sociaal achtergestelde groepen en laagopgeleiden wordt een hogere vervroegde sterfte vastgesteld doordat ze gemiddeld meer blootgesteld worden aan verhoogde luchtverontreiniging. Tussen mannen en vrouwen, rokers en niet-rokers kon geen significant verschil in de gevolgen van de blootstelling aan fijn stof voor de gezondheid worden vastgesteld.

Ten slotte moet er worden opgemerkt dat de blootstelling aan fijn stof niet alleen van bronnen buiten, maar ook door bronnen binnen wordt bepaald. De interacties tussen fijn stof in de omgevingslucht (buiten) en fijn stof binnenshuis (veroorzaakt door o.a. tabaksrook), werden onderzocht in een beperkt aantal studies. Hoewel de binnenshuisluchtvervuiling dikwijls belangrijker is dan die in de buitenlucht, blijven de resultaten uit epidemiologisch onderzoek die een verband vinden tussen de luchtkwaliteit in de buitenlucht en gezondheidseffecten, gelden.

*Bronnen: WHO, 2000 – WHO, 2003 – WHO, 2005.*

## Referenties

- Bell Michelle L., Keita Ebisu, Roger D. Peng, Jonathan M. Samet, and Francesca Dominici. Hospital Admissions and Chemical Composition of Fine Particle Air Pollution. *Am J Respir Crit Care Med* Vol 179. pp 1115–1120, 2009.
- Brunekreef B, Janssen NA, de Hartog J, Harssema H, Knape M, van Vliet P. 1997. Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology* 8(3):298-303.
- Bultynck, H. and Malet, L., 1972: "Evaluation of atmospheric dilution factors for effluents diffused from an elevated continuous point source", *Tellus*, Vol. 24, pp. 445-472.
- De Ridder, K., F. Lefebvre, A. Bañuelos, J.M. Pérez-Lacorzana, J.Dufek, V. Adamec, O. Damsgaard, A. Thierry, M. Bruse, M. Bürger, C. Weber, and J. Hirsch, 2004: "An integrated methodology to assess the benefits of urban green space", *The Science of the Total Environment*, 334-335, 489-497.
- Gauderman WJ, Vora H, McConnell R, Berhane K, Gilliland F, Thomas D, et al. 2007. Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. *Lancet* 369(9561):571-577.
- Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, van den Brandt PA. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet*. 2002;360:1203–1209.
- Hoffmann B., MD, MPH; S. Moebus, PhD, MPH; S. Möhlenkamp, MD; A. Stang, MD, MPH; N. Lehmann, PhD; N. Dragano, PhD; A. Schermund, MD; M. Memmesheimer, PhD; K. Mann, MD; R. Erbel, MD; K.-H. Jöckel, PhD; for the Heinz Nixdorf Recall Study Investigative Group. Residential Exposure to Traffic Is Associated With Coronary Atherosclerosis. *Circulation*. 2007;116:489-496.
- Janssen, S., G. Dumont, F. Fierens, and C. Mensink, 2008: "Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data", *Atm. Env.*, 42, 4884-4903.
- Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, Schwartz J, Balducci F, Medina S, et al. 1997. Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Air Pollution and Health: A European Approach*. *BMJ* 314(7095):1658-1663.
- Laden F, Neas LM, Dockery DW, Schwartz J. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six US cities. *Environ Health Perspect*. 2000;108:941–947.
- Lanki T, de Hartog JJ, Heinrich J, Hoek G, Janssen NA, Peters A, Stölzel M, Timonen KL, Vallius M, Vanninen E, Pekkanen J. Can we identify sources of fine particles responsible for exercise-induced ischemia on days with elevated air pollution? The ULTRA Study. *Environ Health Perspect*. 2006;114:655– 660.
- Lefebvre F., K. De Ridder, N. Lewyckyj, L. Janssen, J. Cornelis, F. Geyskens, C. Mensink, 2004: "Air Pollution Modeling and its Applications XVI", C. Borrego and S. Incecik Eds. (Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2004), 511-519.
- Lefebvre F., W. Lefebvre, T. Op 't Eyndt, N. Smeets en S. Van Looy, 2010: "IFDM-Traffic: Handleiding", 2010/RMA/R/239, September 2010.
- McCreanor J, Cullinan P, Nieuwenhuijsen MJ, Stewart-Evans J, Malliarou E, Jarup L, et al. 2007. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *N Engl J Med* 357(23):2348-2358.
- Mensink C., De Ridder K., Lewyckyj N., Delobbe L., Janssen L. and Van Haver Ph., 2001: "Computational aspects of Air quality modelling in Urban Regions using an Optimal Resolution

Approach", in: S. Margenov, J. Wasniewski and P. Yamalov (Eds.) Large-Scale Scientific Computing, Lecture Notes in Computer Science, 2179, 299-308.

- Mensink, C., F. Lefebvre, L. Janssen and J. Cornelis, 2006: "A comparison of three street canyon models with measurements at an urban station in Antwerp, Belgium", *Environmental Modelling and Software*, 21, 514-519.
- Olesen H.R., 1995: "The model validation exercise at Mol: overview of results", Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Nov. 1994, published in *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 5, Nos. 4-6, pp. 761-784.
- OMS, 2000: "Air quality guidelines for Europe", Second Edition, WHO Regional Publications, European Series, n°91.
- OMS, 2003: "Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide", report on WHO Working Group, Bonn (Germany), 13-15 January 2003.
- OMS, 2005: "WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide", Global update 2005.
- Peng Roger D., Michelle L. Bell, Alison S. Geyh, Aidan McDermott, Scott L. Zeger, Jonathan M. Samet, and Francesca Dominici. Emergency Admissions for Cardiovascular and Respiratory Diseases and the Chemical Composition of Fine Particle Air Pollution. *Environmental Health Perspectives*, volume 117, number 6, June 2009.
- Rodes C. E., and D. M. Holland, 1980: "Variations of NO, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentrations downwind of a Los Angeles Freeway", *Atm. Env.*, 15, 243-250.
- Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. 2000. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994. *N Engl J Med* 343(24):1742-1749.
- Schwartz J. 1991. Particulate air pollution and daily mortality in Detroit. *Environ Res* 56(2): 204-213.
- Schwartz J. 2000. Assessing confounding, effect modification, and thresholds in the association between ambient particles and daily deaths. *Environ Health Perspect* 108: 563-568.
- Schwartz J, Litonjua A, Suh H, Verrier M, Zanobetti A, Syring M, et al. 2005. Traffic related pollution and heart rate variability in a panel of elderly subjects. *Thorax* 60(6):455-461.
- Seagrave J, McDonald JD, Bedrick E, Edgerton ES, Gigliotti AP, Jansen JJ, Ke L, Naeher LP, Seilkop SK, Zheng M, Mauderly JL. Lung toxicity of ambient particulate matter from southeastern U.S. sites with different contributing sources: relationships between composition and effects. *Environ Health Perspect*. 2006;114:1387-1393.
- Wjst M, Reitmeir P, Dold S, Wulff A, Nicolai T, von Loeffelholz-Colberg EF, et al. 1993. Road traffic and adverse effects on respiratory health in children. *BMJ* 307(6904):596-600.