

NO₂ Verkeersmetingen in Vlaanderen door passieve bemonstering

Ambient NO₂ concentration profiles in Flanders using passive sampling

¹SANJA POTGIETER-VERMAAK, ²MARIANNE STRANGER, ³LEEN VERLINDEN,

³EDWARD ROEKENS EN ²RENÉ VAN GRIEKEN

¹Molecular Science Institute, Universiteit van die Witwatersrand, Privaat Zak X3, PO Wits, 2050, South Africa

²Departement Chemie, Universiteit Antwerpen, Universiteitsplein 1, 2610 Antwerpen, Belgium.

³Vlaamse Milieumaatschappij, Kronenburgstraat 45, 2000 Antwerpen



Sanja Potgieter-Vermaak

PROF. SANJA POTGIETER-VERMAAK holds a permanent position as associate professor in the School of Chemistry at the University of the Witwatersrand, which she joined in 2006. She received her D Tech (Chemistry) at Technikon Pretoria in 2002. A sabbatical period of 2 years was spent as a post-doctoral researcher at the University of Antwerp in the Micro and Trace Analysis Centre, where her research involved the characterisation of individual particles by means of Raman microscopy and EPMA/EDS, with special emphasis on atmospheric particles. Her research spans a variety of interconnected areas and she has published in fields such as Analytical Chemistry, Water Treatment, Lime, Cement, and various aspects dealing with cement-related materials like fly ash, slag and gypsum, and Pollution Control/Waste Management. Her recent research focuses on the characterisation of materials with surface techniques, specifically micro Raman Spectroscopy in combination with various other analytical techniques (viz. SEM/EDS, Potentiodynamic measurements, FT-IR etc.) and she is specifically interested in materials that were exposed to corrosive air pollution. She is also currently author and co-author of 55 refereed-publications and conference proceedings.

DR. MARIANNE STRANGER holds a permanent position as a research coordinator at the faculty of Design Sciences at the University College of Antwerp, since November 2005. Prior to this position she worked as a researcher at the University of Antwerp, faculty of Sciences, department of Chemistry. She obtained her PhD in Sciences in 2005 at the University of Antwerp, in the field of Environmental Analysis, under the guidance of Prof dr. R. Van Grieken, head of the research group Environmental Analysis, member of the Centre of Excellence ECO, at the university of Antwerp. Her PhD thesis was titled "Characterisation of health related particulate and gas-phase compounds in multiple indoor and outdoor sites in Flanders". Her research and expertise focus on the field of indoor air quality.

Currently she is guiding several masters and three PhD students. Her research focuses on the link between building design and indoor air quality. She is author and co-author of 7 research papers.

ABSTRACT

Ambient NO₂ concentration profiles in Flanders using passive sampling

In most parts of Europe NO₂ emissions from excessive road traffic, concentrated by confined spaces and limited dispersion, are often higher than the ambient guideline values. As a pollutant, NO₂ has a number of adverse effects on human health and the environment. The European Union

sets guideline and threshold values for various pollutants, to protect humans and the environment, of which NO_2 is one. Flanders adopted these values as most countries did, and the monitoring and evaluation of the levels against these guideline values are mostly done by VMM (the Flemish Environmental Company). The air quality Framework Directive (96/62/EG) was drafted on the 27th of September 1996 and instituted on the 21st of November 1996. New guideline values for NO_2 will come into effect in 2010 (1999/30/EG). The future hourly guideline value is $200 \mu\text{g m}^{-3}$ which may not be exceeded more than 18 times in a calendar year. The average annual guideline value must not exceed $40 \mu\text{g m}^{-3}$.

Currently various pollutants are continuously monitored by means of fixed monitor monitors and analysers, whereafter data is extrapolated to give an overview of the dispersion. In the 2003 annual report the future guideline value has been exceeded in 7 locations in Flanders. Moreover, in a separate study it was reported that in various locations with high traffic density and low dispersion, this value was exceeded, even though the dispersion model did not indicate it.

Hence, to test these and other locations against the future guideline value a total of 19 points, in 6 different cities and towns in Flanders, were chosen to monitor the NO_2 profile over a 1 year period. Passive sampling, averaged over periods of 2 weeks, was used and comparisons with the fixed monitors in some of these locations were possible.

The future annual guideline value of $40 \mu\text{g m}^{-3}$ (2010) was exceeded in 11 of the 19 measured locations. When high traffic density was accompanied by low dispersion the value was at its highest and the results confirmed the relationship between high traffic density and high NO_2 concentrations. A good correlation between duplicate measurements and those compared to the fixed monitors ensured accurate and precise results. Ozone-rich periods were noted for the high NO_2 values as expected, while seasonal effects were also noted. Backward trajectories indicated the significance of air masses originating from heavily polluted areas.

SAMENVATTING

In het grootste deel van Europa komen NO_2 emissies, afkomstig van overdadig wegverkeer, voornamelijk voor op begrensde gebieden ten gevolge van een beperkte dispersie. De NO_2 concentraties in deze gebieden overschrijden vaak de vastgelegde grenswaarden voor de luchtkwaliteit. NO_2 veroorzaakt verscheidene schadelijke effecten op de menselijke gezondheid en het milieu. De Europese daggemiddelde grenswaarde bedraagt $200 \mu\text{g m}^{-3}$ en mag niet meer dan 18 keer per kalenderjaar overschreden worden. De jaargemiddelde grenswaarde mag de concentratie van $40 \mu\text{g m}^{-3}$ niet overschrijden. Op 11 juni werd een nieuwe geïntegreerde richtlijn 2008/50/EG gepubliceerd. Onder bepaalde voorwaarden staat zij uitstel van inwerkingtreding van de grenswaarden toe. Voor de inwerkingtreding van de grenswaarden voor NO_2 kan zo uitstel verkregen worden tot 2015.

Momenteel worden verscheidene pollutanten continu gemeten in vaste meetstations, die elk uitgerust zijn met een uitgebreid assortiment aan meetapparatuur. De gegevens die verkregen worden uit dit meetnet worden vervolgens geëxtrapoléerd, om zo een beeld van de dispersie te geven. In het jaarrapport van de Vlaamse Milieumaatschappij (2003) werd de toekomstige grenswaarde voor NO_2 overschreden op 7 locaties in Vlaanderen. Daarenboven bleek uit een afzonderlijke studie dat, in tegenstelling tot de resultaten uit het vaste meetnet, op verscheidene locaties met een grote verkeersdichtheid de grenswaarde nog overschreden werd.

Om de NO_2 concentratie op deze en andere locaties te evalueren ten opzichte van de grenswaarden, werd op 19 meetpunten, in 6 verschillende steden in Vlaanderen, het NO_2 profiel in kaart gebracht gedurende één jaar. De metingen werden uitgevoerd door middel van passieve staalname, uitgemiddeld over periodes van 2 weken. Op een aantal van deze meetpunten werd een vergelijking van de resultaten uit de passieve staalname met de vaste meetstations gemaakt.

De grenswaarde van $40 \mu\text{g m}^{-3}$ (2010) werd op 11 van de 19 meetpunten overschreden. Wanneer een hoge verkeersdichtheid samenging met een lage dispersie, werd de hoogste concentratie waargenomen. De resultaten bevestigen het verband tussen een grote verkeersdichtheid en hoge NO_2 concentraties. De duplicaatmetingen vertoonden een goede correlatie, de meetwaarden die vergeleken werden met de metingen uit vaste meetstations verzekerden precieze en accurate resultaten. Zoals verwacht werden ozonrijke periodes genoteerd tijdens hoge NO_2 concentraties, terwijl seizoenseffecten eveneens genoteerd werden. Terugwaartse trajecten (*backward trajectories*) benadrukten het belang van luchtmassa's afkomstig uit sterk verontreinigde omgevingen.

1. INLEIDING

De belangrijkste emissiebron van stikstofdioxide in de lucht, naast emissies van de elektriciteitsproductie en de industrie, is het wegverkeer.¹⁻³ NO_2 heeft een aantal nadelige effecten, onder andere op de gezondheid door inwerking op het ademhalingstelsel, op vegetatie door vorming van nitrieten, nitraten en ammoniumzouten, op de verzuring van het milieu door de vorming van salpeterzuur en op de verwerking van verschillende materialen.^{4,5}

De Europese Unie en het Vlaamse Gewest leggen streef- en grenswaarden vast voor de verschillende pollutanten (1999/30/EC en 2000/69/EC, 2008/50/EG). De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) – Lucht speelt een belangrijke rol in de metingen en de vergelijking van deze metingen met de normen in Vlaanderen. Wanneer bepaalde normen overschreden worden, moeten er maatregelen genomen worden. Op 27 september 1996 werd de Kaderrichtlijn (96/62/EG) met betrekking tot de luchtkwaliteit vastgesteld. Ze trad in werking op 21 november 1996. Deze kaderrichtlijn is samen met een aantal dochterrichtlijnen de basis voor een nieuw kwaliteitsbeleid Lucht binnen de Europese Unie.

Nieuwe grenswaarden voor NO_2 gaan van kracht in 2010, middels de dochterrichtlijn lucht 1999/30/EG, zoals getoond in tabel 1. De toekomstige uurgrenswaarde voor de bescherming van de gezondheid van de mens is $200 \mu\text{g m}^{-3}$, maximum 18 keer te overschrijden per kalenderjaar. De toekomstige jaargrenswaarde voor de bescherming van de gezondheid van de mens is $40 \mu\text{g m}^{-3}$. Naast grenswaarden waaraan vanaf 2010 moet worden voldaan, zijn er ook alarmdrempels. Dit zijn uurwaarden die niet overschreden mogen worden. In 2004 bedraagt de uurgrenswaarde voor de bescherming van de mens $260 \mu\text{g m}^{-3}$ (maximum 18 keer te overschrijden per kalenderjaar). De te respecteren jaargrenswaarde bedraagt in 2004 $52 \mu\text{g m}^{-3}$. Uit het jaarrapport van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) blijkt dat de EU-grenswaarde voor NO_2 van $200 \mu\text{g m}^{-3}$ (als 98^e percentiel

TABEL 1: Huidige en toekomstige grenswaarde voor NO_2 -concentraties in de lucht (1999/30/EC and 2000/69/EC)

	Huidig	Toekomstig 2010
NO_2 : uurgrenswaarde voor de bescherming van de gezondheid van de mens	$200 \mu\text{g m}^{-3}$ (98 ^e percentiel)	$200 \mu\text{g m}^{-3}$ Max 18 keer te overschrijden in het kalenderjaar
NO_2 : jaargrenswaarde voor de bescherming van de gezondheid van de mens		$40 \mu\text{g m}^{-3}$
NO_2 : alarmdrempel		$400 \mu\text{g m}^{-3}$ gedurende 3 opeenvolgende uren

van de uurwaarden) wordt gerespecteerd.⁶ Echter, de jaargrenswaarde van $40 \mu\text{g m}^{-3}$ werd in 2003 op 7 plaatsen overschreden. Op 11 juni werd een nieuwe geïntegreerde richtlijn 2008/50/EG gepubliceerd. Onder bepaalde voorwaarden staat zij uitstel van inwerkingtreding van de grenswaarden toe. Voor de inwerkingtreding van de grenswaarden voor NO_2 kan zo uitstel verkregen worden tot 2015.

Momenteel worden verschillende luchtpolluenten, waaronder NO_2 , gemeten in het telemetrisch meetnet van VMM (www.vmm.be). Het telemetrisch meetnet bestrijkt gans Vlaanderen en bestaat uit 55 vaste monitoren, die continue metingen uitvoeren. Deze metingen worden automatisch doorgegeven en concentraties van NO_2 zijn onmiddellijk beschikbaar. Een beschrijving van de werking van deze analyzers volgt in het experimentele deel.

Deze studie heeft tot doel meer informatie in te winnen over de jaargemiddelde NO_2 -concentraties in steden en op verkeersdrukke plaatsen. Het jaarverslag, alsook een modelstudie uitgevoerd door Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO), wijzen erop dat in steden en op verkeersdrukke plaatsen mogelijk nog overschrijdingen van de toekomstige jaargemiddelde grenswaarde kunnen voorkomen. Om ook op deze meetplaatsen de NO_2 -concentratie te toetsen aan de jaargrenswaarde worden gedurende een jaar, opgedeeld in meetperioden van 2 weken, de NO_2 -concentraties opgevolgd met behulp van passieve monsternemer. Op enkele plaatsen worden metingen met passieve monsternemers uitgevoerd nabij een meetstation van het telemetrisch meetnet, om zo een vergelijking met de NO_2 -metingen met monitoren mogelijk te maken.

2. METHODOLOGIE EN ONTWERP

2.1 Meetlocaties

Negentien meetlocaties werden in Vlaanderen gekozen op een strategische wijze. Deels werden deze plaatsen geselecteerd op basis van eerdere studies met passieve monsternemer (Aalst, Antwerpen). Bij de keuze van de meetplaatsen werd zoveel mogelijk rekening gehouden met de 1^e dochterrichtlijn 1999/30/EG van de Raad van 22 april 1999, Bijlage VI. Deze bepaalt dat metingen uitgevoerd dienen te worden op minimaal 4 m van het midden van de rijweg, maximaal 5 m van de wegrand, minimaal 25 m van kruispunten en op een hoogte van 1,5 à 4 m. Figuur 1 toont de 6 steden waarin metingen werden uitgevoerd in het kader van deze studie, namelijk Aalst, Antwerpen, Gent, Hasselt, Leuven en Oostende.

Meestal werd er per stad gekozen voor 3 meetplaatsen, waarvan 2 op een verkeersintensief punt en 1 als stedelijke achtergrond (voor zover mogelijk). In tabel 2 wordt een beschrijving



Figuur 1: Ligging van de meetlocaties in Vlaanderen

gegeven van de verschillende meetlocaties.

Op 3 locaties werd een duplometing uitgevoerd, om zo de meetonzekerheid van de methode van passieve bemonstering te bepalen.

De meetplaatsen werden uitgekozen door de VMM. De VMM verrichtte eveneens de monstername. De ophaling van de monsternemers gebeurde in 2 bemonsteringsronden. Per

TABEL 2: Overzicht van de meetlocaties voor concentraties van NO₂

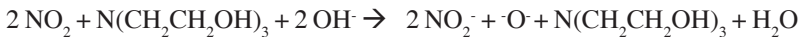
Stad	Meetlocatie	Adres	Beschrijving
ANTWERPEN	ANTW1 (A+B)	Plantin en Moretuslei	Bovenop meetstation VMM 30m van Plantin en Moretuslei, 750m van Ring
	ANTW2		Aan straatkant, bij meetstation VMM 5m van PI & Moretuslei, 750m van Ring
	ANTW3	Q. Matsijslei	Aan het stadspark (ten oosten)
	ANTW4	Groenplaats	Op de hoek Nationalestraat
HASSELT	HAS1	Gouv Roppe Singel	Aan de 'grote ring' rond Hasselt, ten oosten van stadscentrum
	HAS2 (A+B)	Boksbeemdenstraat	Het meetstation ligt langs het Albertkanaal, ter hoogte van Sas. Vlakbij meetstation VMM. <i>Stopgezet na meetperiode 4</i>
	HAS3	Thonissenlaan	Aan de 'kleine ring' rond Hasselt; ten westen van het centrum
LEUVEN	LEU1	Kon. Boudewijnlaan	Net buiten de ring, op drukke in-uitvalsweg (richting oa ring rond Brussel)
	LEU2	Tiensevest	Gelegen aan ring rond Leuven, dichtbij treinstation
	LEU3	Dirk Boutslaan	Centraal, op wandelafstand van Grote Markt
OOSTENDE	OOS1	Koninginnelaan	Centraal in Oostende, vlakbij 'Petit Paris'= druk kruispunt in Oostende. <i>Tijdens meetperiode1 lag dit meetpunt in Torhoutsesteenweg, maar werd omwille van wegwerkzaamheden verhuisd. Koninginnelaan vanaf meetperiode2.</i>
	OOS2 (A+B)	Elisabethlaan	Viervaksbaan, vrij open
	OOS3	Ringlaan	Viervaksbaan, vrij open
AALST	AAL1	De Bethunelaan	Vlakbij rotonde waar je langs passeert indien je van/naar autostrade E40 gaat. Ten zuiden van centrum.
	AAL2	Dendermondsesteenweg	Centraal; belangrijke invalsweg, komende van Dendermonde
	AAL3	Hertshage	In een rustigere straat, vrij smal, met rijhuizen
GENT	GEN1	St. Lievenslaan	Vlakbij zeer druk kruispunt, vlakbij ook een tunneltje onder een weg
	GEN2	Brugsepoort	Centraal; nauwe straat
	GEN3	Keizer Karellaan	Centraal; iets meer open plein
	GEN4 (A+B)	Baudelopark	Bovenop meetstation VMM; stedelijke omgeving met vnl. woonfunctie <i>Vanaf meetperiode 5; gestart na stopzetten HAS2</i>

ronde werd er bij de ophaling op 1 locatie – willekeurig en afwisselend gekozen – een blancostaal genomen. In-duplo metingen worden aangeduid als A + B en werden op 4 locaties (OOS2 (Elisabethlaan), ANTW1 (Plantijn en Moretuslei), HAS2 (Boksbeemdenstraat) (tot meetperiode 4) en GEN4 (Baudelopark) (vanaf meetperiode 5) uitgevoerd.

2.2 Meetmethode

2.2.1 Passieve bemonstering met Radiello® diffusiebuisjes

De gasvormige pollutant (NO_2) wordt gemeten door middel van passieve bemonstering met **Radiello® diffusiebuisjes** (Fondazione Salvatore, Maugeri, Padova, Italië). De passieve monsternemers worden gedurende 14 dagen blootgesteld. Foutieve analyses kunnen als gevolg van het hygroscopische karakter van de adsorbens (triethanolamine) bij langere periodes voorkomen. Bijgevolg worden voor deze meetcampagne achtereenvolgens 26 diffusiebuisjes op elke locatie blootgesteld. De diffusiebuisjes bestaan uit een cilindrische polycarbonaat diffusieve buis met een triethanolamine bedekte microporeuze polyethyleen chemieadsorberende kasset (cartridge). Adsorptie van NO_2 vindt plaats als nitriet volgens volgende vergelijking.



De kasset wordt chemisch gedesorbeerd met 5,00 mL milliQ (18,2 M Ω) water, voor een tijdspanne van minstens 1 uur. Het nitriet wordt dan geanalyseerd met behulp van ionenchromatografie. De analyse wordt uitgevoerd op een Dionex IC met een AS14 anionenkolom. Als eluent wordt 3,5 mM Na_2CO_3 / 1 mM NaHCO_3 oplossing gebruikt. Het NO_2 wordt dan als NO_2^- gemeten.

Als blanco worden 2 diffusiebuisjes, één van de Antwerpen-bemonsteringsronde en één van de Oostende-ronde, van dezelfde bundel of groep, van het buitenste plasticomhulsel ontbloot op de dag van de ophaling. De transportkoker blijft ongeopend. De NO_2^- concentratie van deze blanco's wordt verkregen nadat desorbering plaatsgevonden heeft.

Rekening houdend met de gemiddelde temperatuur tijdens de bemonsteringsronde (hiervoor werden de gegevens van de VMM-meetstations M801 en M701 gebruikt), de bemonsteringstijd en de sample rate, wordt het gehalte aan NO_2 berekend als $\mu\text{g m}^{-3}$ lucht. Dit gebeurt als volgt: de resulterende concentratie van de IC (in mg L^{-1} of $\mu\text{g mL}^{-1}$) wordt gedeeld door het volume dat gedurende de expositie door de diffusiebuis is gediffundeerd. Het volume is het product van de bemonsteringskoers (afhankelijk van de temperatuur) en de bemonsteringstijd. Dit resultaat wordt dan nog vermenigvuldigd met 1,91 om de resultaten te normaliseren op 20°C. Dit wordt gedaan om de resultaten beter te kunnen toetsen aan de norm (die ook gestandaardiseerd zijn op 20°C) en om de resultaten beter met de vaste monitoren te kunnen vergelijken.

2.2.2 De NOx-monitor TEI 42C

Voor de continue bepaling van NOx (NO_2 en NO) baseert het model 42C zich op de chemiluminescente reactie tussen NO en O_3 .

De reactie verloopt als volgt:



Het gevormde NO_2^* bezit een electron in aangeslagen toestand. Wanneer dit electron terugkeert naar zijn basisenergietoestand, wordt er een zwak IR-licht afgegeven. De hoeveelheid uitgestraald licht is een maat voor de NO-concentratie en wordt gedetecteerd door een Photo Multiplier Tube (PMT).

De analyzer meet zowel de hoeveelheid NO als de hoeveelheid NO_2 . Het systeem kan de aanwezige NO_2 -concentratie echter niet direct meten en bijgevolg zet een molybdeenconvector

(325 °C) alle NO₂ eerst om in NO. De omgevingslucht gaat dus om de 5 s afwisselend over de convertor. De eerste 5 s zal de NO in de niet-gereageerde lucht gemeten worden en de andere 5 s gereageerde lucht waarin de NO₂ omgezet is in NO. De chemiluminescente reactie ter bepaling van de NO-concentratie maakt gebruik van O₃ die in het apparaat zelf wordt aangemaakt door middel van ozongenerator. Droge lucht wordt aangezogen tussen 2 elektroden waartussen een potentiaalverschil van 6000 Volt VDC heerst. Het is essentieel dat de lucht droog en stofvrij is omdat anders de ozongenerator kan kortsluiten. In de praktijk wordt een combinatie van permapure en een fijne stoffilter toegepast. De PMT bepaalt gedurende de eerste cyclus het NO-sigitaal, het NO₂-sigitaal wordt berekend tijdens de 2^e cyclus uit het verschil tussen de concentratie in de gereageerde en de concentratie in de niet-gereageerde lucht.

3. RESULTATEN EN BESPREKING

3.1 Blanco bepaling

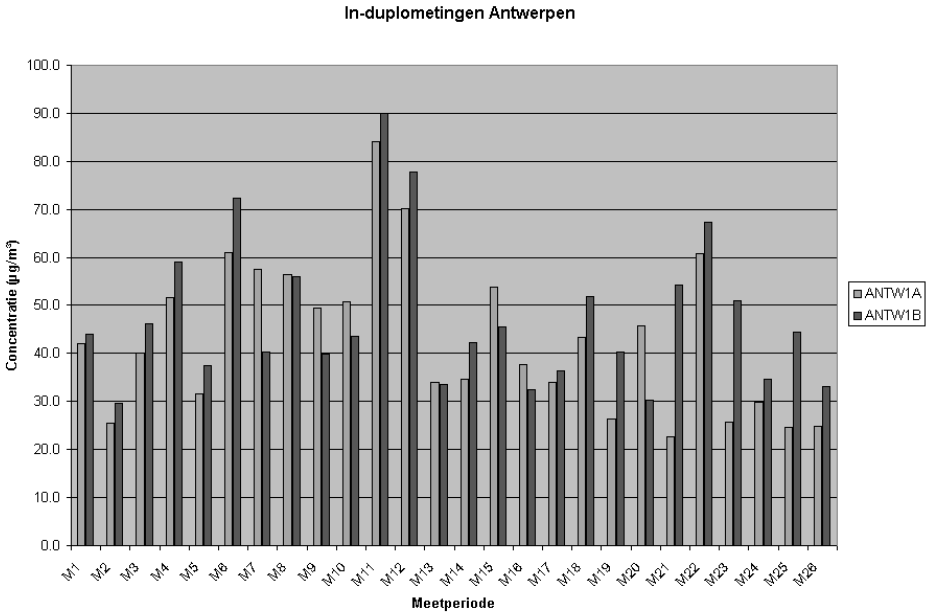
De gemiddelde blanco waarden (ZER1 en ZER2) zijn respectievelijk 0,65 en 0,86 µg m⁻³. Deze zijn toch wel verschillend maar door de grote variatie in concentraties, is dit verschil echter binnen het betrouwbaarheidsinterval gelegen. De waarden voor de bemonsteringsronde Antwerpen liggen tussen 0,13 en 3,80 µg m⁻³ en voor de bemonsteringsronde Oostende liggen de waarden tussen 0,13 en 2,98 µg m⁻³. De grote variatie kan mogelijk toegeschreven worden aan een nieuwe groep monsternemers vanaf de 9^e meetperiode. De resultaten van de metingen worden weergegeven in tabel 3.

TABEL3: Blanco bepalingen (NO₂ µg m⁻³) voor meetperiodes M1 – M26

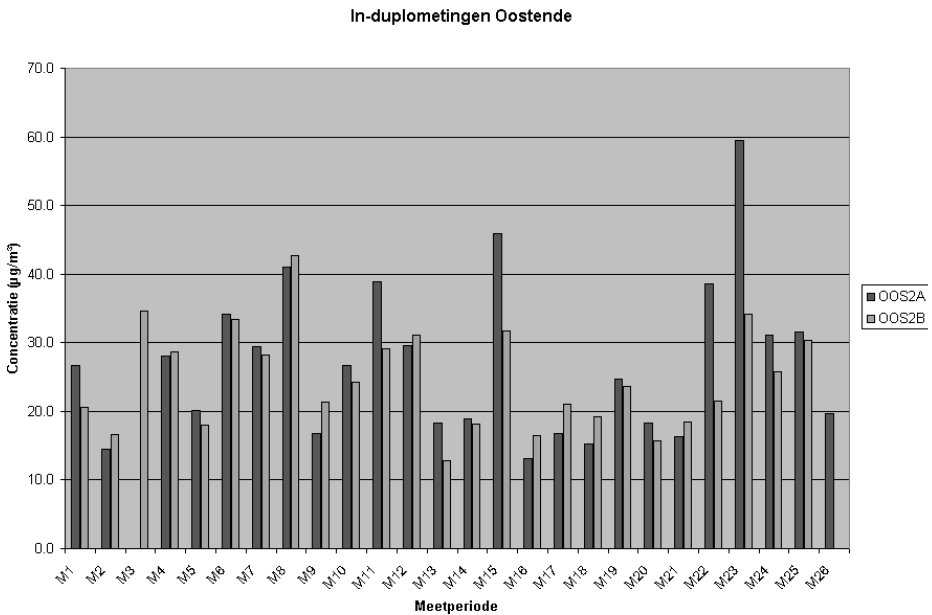
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
ZER1 Toer Antwerpen	0,32	0,32	0,28	0,26	0,33	0,35	0,25	0,20	1,07	0,45	1,12	0,72	0,66
ZER2 Toer Oostende	0,30	0,31	0,28	0,39	0,39	0,59	0,18	0,23	1,47	0,88	0,95	2,57	0,51
	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26
ZER1 Toer Antwerpen	1,10	1,47	1,34	1,01	1,25	0,62	0,43	0,15	0,21	3,80	0,33	0,18	0,13
ZER2 Toer Oostende	1,71	2,98	2,19	1,72	1,69	1,04	2,79	0,27	0,21	0,28	0,39	0,29	0,13

3.2 Reproduceerbaarheid van de metingen

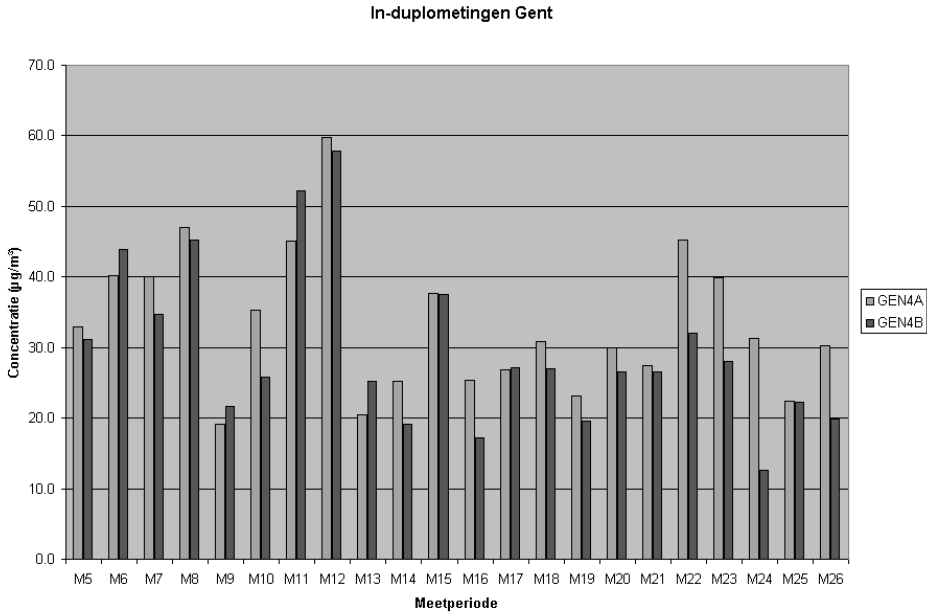
Gedurende de 26 meetperiodes werden, telkens op 3 locaties, metingen in duplo uitgevoerd. Aan de hand van deze metingen werd de reproduceerbaarheid van de analyses bestudeerd. Voor de eerste 4 meetperiodes werden in-duplo metingen uitgevoerd in ANTW1, HAS2 en OOS2. Vanaf de 5^e meetperiode werd HAS2 vervangen door GEN4. Tabel 4 geeft een overzicht van de concentratiewaarden. Gemiddelde waarden voor ANTW1A en ANTW1B zijn respectievelijk 42,7 en 47,1 µg m⁻³ (opnieuw met grote variaties), voor OOS2A en OOS2B respectievelijk 27,2 en 24,8 µg m⁻³ en voor GEN4A en GEN4B respectievelijk 33,2 en 29,3 µg m⁻³. Figuur 2a, 2b en 2c tonen de concentraties van de in-duplo metingen. Er werd een samengevoegde standaard afwijking berekend om de verschillen tussen de diffusiebuisjes onderling te rapporteren. De samengevoegde standaardafwijkingen (en dus de meetonzekerheden) voor ANTW1, OOS2 en GEN4 bedragen 8,4, 5,5 en 5,1 (of respectievelijk 18,6, 21,3 en 16,2 %). Ter illustratie wordt een x-y grafiek voor alle in-duplo metingen in Figuur 2d aangetoont.



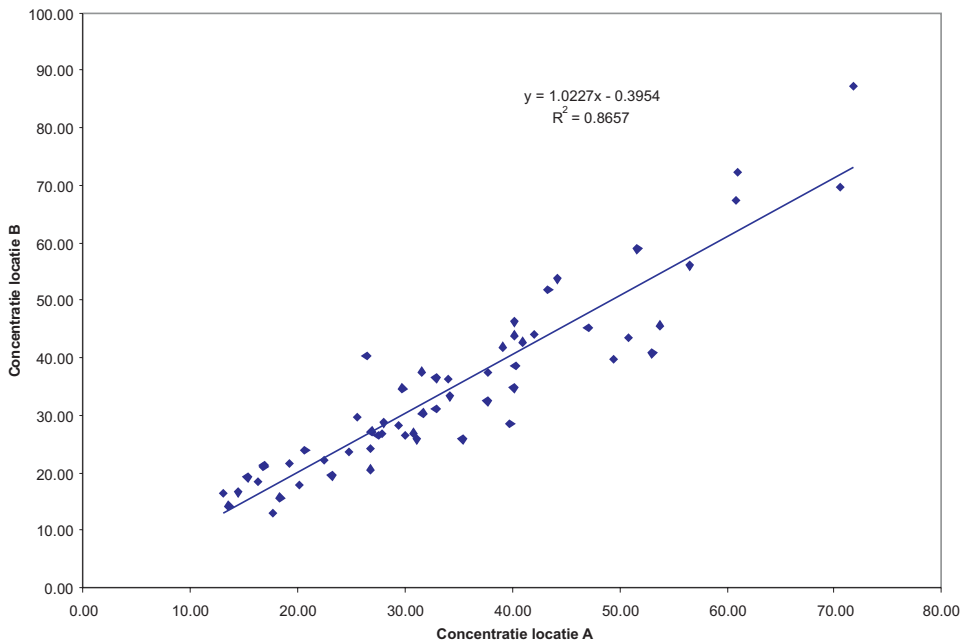
Figuur 2a: *In-diplometingen ($NO_2 \mu g m^{-3}$) voor stalen genomen te Antwerpen 1 (Pl & Moretuslei)*



Figuur 2b: *In-diplometingen ($NO_2 \mu g m^{-3}$) voor stalen genomen te Oostende 2 (Elisabethlaan)*



Figuur 2c: In-duplometingen ($NO_2 \mu g m^{-3}$) voor stalen genomen te Gent 4 (Baudelopark)



Figuur 2d: X-y grafiek voor allen in-duplometingen van $NO_2 (\mu g m^{-3})$ voor stalen genomen te allen locaties

TABEL 4a: Overzicht van in-duplometingen van NO₂ concentratiewaarden voor meetperiodes 1-13

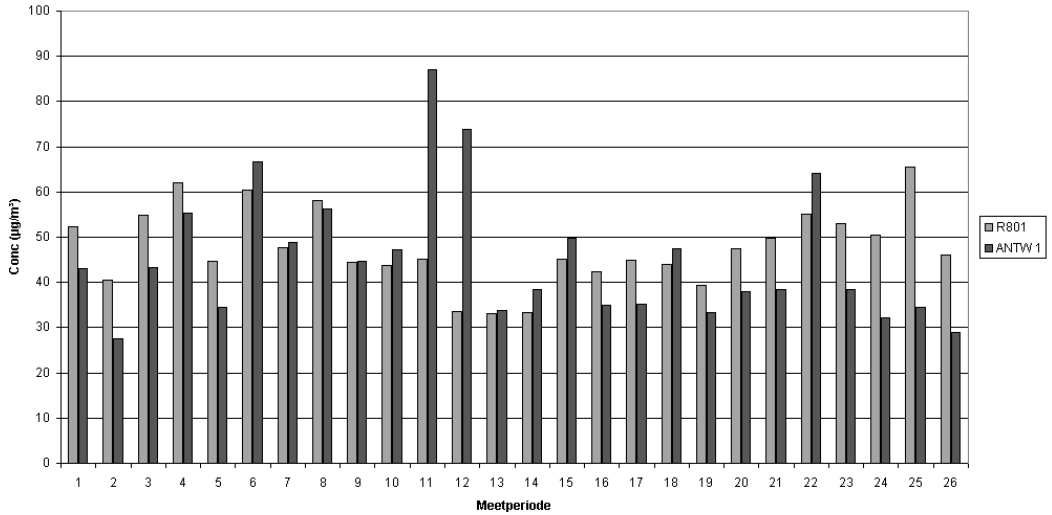
	12/01-26/01/04	26/01-09/02/04	09/02-23/02/04	23/02-08/03/04	08/03-22/03/04	22/03-05/04/04	05/04-19/04/04	19/04-03/05/04	03/05-17/05/04	17/05-01/06/04	01/06-14/06/04	14/06-28/06/04	28/06-12/07/04
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
ANIWIA	42,0	25,5	40,2	51,7	31,5	61,0	57,4	56,5	49,4	50,8	84,0	70,1	34,0
ANIWIB	44,0	29,6	46,3	59,0	37,6	72,2	40,2	56,1	39,8	43,5	89,9	77,7	33,5
HAS2A	11,4	17,0	18,3	32,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HAS2B	17,2	20,9	17,8	27,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OOS2A	26,7	14,4	-	28,0	20,1	34,1	29,4	40,9	16,8	26,7	38,8	29,5	18,3
OOS2B	20,6	16,6	34,6	28,7	17,9	33,3	28,3	42,8	21,3	24,3	29,1	31,0	12,8
GEN4A	-	-	-	-	32,9	40,2	40,1	47,1	19,1	35,3	45,1	59,8	20,5
GEN4B	-	-	-	-	31,1	43,9	34,7	45,2	21,7	25,9	52,2	57,8	25,2

TABEL 4b: Overzicht van in-duplometingen van NO₂ concentratiewaarden voor meetperiodes 14-26

	12/07-26/07/04	26/07-09-10/08/04	09-10/08-23/08/04	23/08-06/09/04	06/09-20/09/04	20/09-04/10/04	04/10-18/10/04	18/10-03/11/04	03/11-16/11/04	16/11-29/11/04	29/11-13/12/04	13/12-22/12/04	22/12-10/01/05
	M14	M15	MP16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26
ANIWIA	34,6	53,7	37,6	34,0	43,3	26,4	45,7	22,6	60,9	25,7	29,7	24,7	24,9
ANIWIB	42,2	45,6	32,5	36,3	51,8	40,4	30,3	54,2	67,3	51,1	34,7	44,5	33,2
HAS2A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HAS2B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OOS2A	19,0	45,9	13,0	16,8	15,3	24,7	18,3	16,3	38,6	59,4	31,1	31,6	19,7
OOS2B	18,1	31,8	16,4	21,1	19,2	23,6	15,7	18,4	21,6	34,1	25,8	30,4	-
GEN4A	25,2	37,7	25,4	26,9	30,8	23,1	30,0	27,5	45,2	39,9	31,3	22,5	30,2
GEN4B	19,2	37,5	17,3	27,2	27,0	19,5	26,5	26,5	32,1	28,0	12,6	22,3	19,9

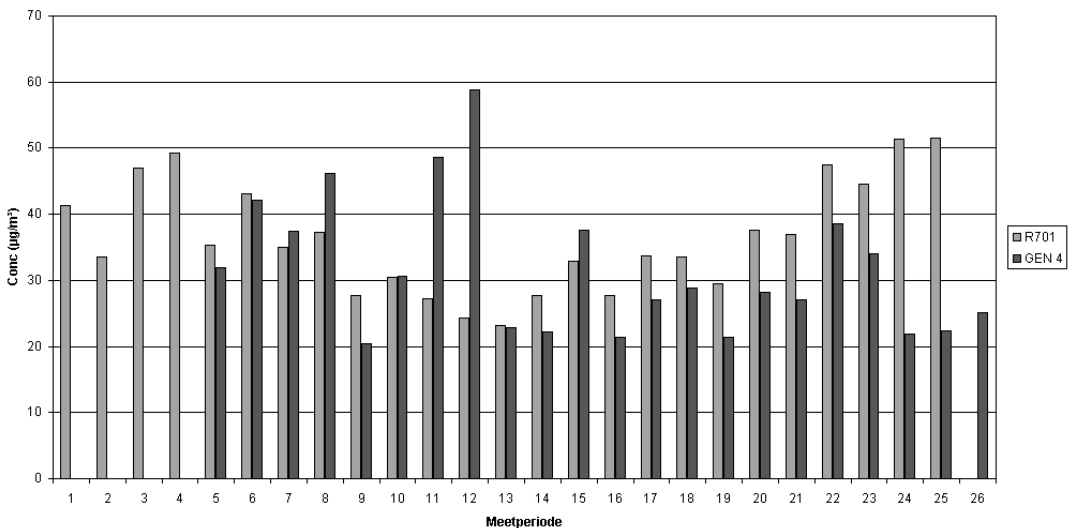
Opm: M15 Voor toer Antwerpen (Antwerpen, Hasselt, Leuven) liep de meetperiode tot 9 augustus en voor toer Oostende (Oostende, Gent, Aalst) liep de meetperiode tot 10 augustus.

Antwerpen



Figuur 3a: Voorstelling van de gemiddelde NO₂ concentraties gemeten over 14 dagen (Antwerpen)

Gent



Figuur 3b: Voorstelling van de gemiddelde NO₂ concentraties gemeten over 14 dagen (Gent)

3.3 Vergelyking met vaste monitoren

De metingen van meetlocatie ANTW1 (als gemiddelde van ANTW1A en ANTW1B) en GEN4 (als gemiddelde van GEN4A en GEN4B) worden vergeleken met waarden, verkregen in de telemetrische meetstations R801 (voor Antwerpen) en R701 (voor Gent). Deze resultaten worden voorgesteld in figuur 3a en 3b. Het jaargemiddelde bedraagt voor ANTW1 $45,2 \mu\text{g m}^{-3}$, voor R801 $47,6 \mu\text{g m}^{-3}$, voor GEN4 $31,6 \mu\text{g m}^{-3}$ en voor R701 $35,2 \mu\text{g m}^{-3}$. Na een tweezijdige “Two-Sample T-Test with equal variances”⁷ waarvan het resultaat in tabel 5a en 5b wordt weergegeven, is het duidelijk dat er geen beduidend verschil is tussen de gemiddelde waarden voor die NO_2 concentraties. Dit betekent dat de diffusiebuisjes methode voor NO_2 -bepaling geen significant verschillende resultaten geven ten opzichte van de standaard methode.

TABEL 5a: T-Toets Resultaten R801 vs ANTW1

t-Test: Twee-Rigting (aannahme van gelijke varianties)

	<i>Veranderlijke 1</i>	<i>Veranderlijke 2</i>
Gemiddelden	47,6	45,2
Variantie	72	211
Waarnemings	26	26
Saamengevoegde Variantie	142	
Hypotetiesche Gemid. Verschil	0	
df	50	
t Stat	0,71	
P(T<=t) een-rigting l	0,24	
t Kritiese een-rigting	1,7	
P(T<=t) twee-rigting	0,48	
t Kritiese twee-rigting	2,0	

TABEL 5b: T-Toets Resultaten R701 vs GEN4

t-Test: Twee-Rigting (aannahme van gelijke varianties)

	<i>Veranderlijke 1</i>	<i>Veranderlijke 2</i>
Gemiddelden	35,2	31,6
Variantie	66,9	108
Waarnemings	22	2
Saamengevoegde Variantie	87	
Hypotetiesche Gemid. Verschil	0	
df	42	
t Stat	1,3	
P(T<=t) een-rigting l	0,10	
t Kritiese een-rigting	1,7	
P(T<=t) twee-rigting	0,2	
t Kritiese twee-rigting	2,0	

3.4 Overzicht van de meetresultaten en toetsing aan de normen

3.4.1 Overzicht per stad

Tabel 6a en b toont een overzicht van alle gedetecteerde concentraties.

3.4.1.1 Antwerpen

Meetlocaties ANTW1 en ANTW2 zijn in dezelfde omgeving (Pl. & Moretuslei) gelegen, maar ANTW1 is 30 m verwijderd van de Plantin en Moretuslei en ANTW2 slechts 5 m. Gemiddelde waarden voor ANTW1 en ANTW2 zijn 44,9 en 48,2 $\mu\text{g m}^{-3}$. Er is dus een verschil tussen ANTW1 en ANTW2, zoals verwacht. Naarmate men dichterbij de bron (het wegverkeer) meet, worden er hogere NO_x -concentraties gemeten. De meetlocatie ANTW4 (Groenplaats) vertoont ook een beduidend hogere concentratie (60,2 $\mu\text{g m}^{-3}$). Dit kan verklaard worden door het feit dat de meting aan een kruispunt plaatsvindt en dat de shelter nabij de in- en uitgang van een ondergrondse parkeergarage hangt.

Voor ANTW3 (Q. Matsijslei) werd een lagere concentratie verwacht omwille van meer open ruimte (stadspark) en dus meer dispersiemogelijkheden. Deze studie wees echter uit dat deze locatie een gelijkwaardige concentratie als ANTW1 en ANTW2 (Pl & Moretuslei) vertoont, namelijk 47,6 $\mu\text{g m}^{-3}$.

3.4.1.2 Hasselt

De meetlocaties in Hasselt (Gouv. Roppesingel (HAS1) en Thonissenlaan (HAS3)) die doorlopend voor de hele periode gemeten werden, tonen wel een beduidend verschil t.o.v. elkaar, namelijk 26,5 en 61,9 $\mu\text{g m}^{-3}$. Een mogelijke verklaring kan zijn dat HAS1 zich bevindt aan de grote ring en dat de brede straat dispersie van de pollutanten mogelijk maakt. Bij HAS3 kunnen de gebouwen plaatselijk ophoping van de pollutant veroorzaken. HAS2 (Boksbeemdenstraat) geeft voor de eerste vier perioden een gemiddelde van 20,3 $\mu\text{g m}^{-3}$. De concentratie ligt hier gevoelig lager omdat er veel dispersie mogelijk is en de meetplaats verder weg intensief verkeer gelegen is.

Een schatting van de NO_2 -bijdrage van het drukke verkeer is echter onmogelijk omwille van de stopzetting van de metingen op een minder verkeersintensieve locatie in HAS2 (Boksbeemdenstraat).

3.4.1.3 Leuven

De meetlocaties in Leuven (LEU1 (Kon. Boudewijnlaan), LEU2 (Tiensevest) en LEU3 (D. Boutsiaan)) hebben gemiddelde waarden van 32,9 resp. 39,9 en 35,6 $\mu\text{g m}^{-3}$. Deze concentraties liggen dicht bij elkaar en reflecteren dus een meer gelijkmatige NO_2 -spreiding. Toch is er een duidelijk verschil tussen LEU1 en LEU2. Dit wordt verklaard door de hogere mate van dispersie op locatie LEU1. Voor LEU3 (D. Boutsiaan) is er geen merkbaar verschil met LEU1 (Kon. Boudewijnlaan) en LEU2 (Tiensevest), hoewel de verkeersintensiteit hier toch lager is.

3.4.1.4 Oostende

De meetlocaties OOS1 (Koninginnelaan), OOS2 (Elisabethlaan) en OOS3 (Ringlaan) geven als gemiddelde waarden respectievelijk 26,9, 26,1 en 30,7 $\mu\text{g m}^{-3}$. OOS1 is een minder drukke locatie, waar veel hoge huizen staan waardoor de dispersie lager is. OOS2 en OOS3 liggen aan een brede baan waar dezelfde lagere concentratie hoger wordt verwacht. De concentratie is echter vergelijkbaar met OOS1 door de hogere dispersie die door de brede baan mogelijk is.

TABEL 6a: Overzicht van de gedetecteerde NO₂-concentraties in µg m⁻³, gegeven als gemiddelde over 14 dagen (meetperiode 1 – 13)

Meetlocasie	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6	MP7	MP8	MP9	MP10	MP11	MP12	MP13
12/01-26/01/04	42,0	25,5	40,2	51,7	31,5	61,0	57,4	56,5	49,4	50,8	39,1	32,9	70,5
26/01-09/02/04	44,0	29,6	46,3	59,0	37,6	72,2	40,2	56,1	39,8	43,5	41,9	36,5	69,7
09/02-23/02/04	47,1	31,5	33,2	68,6	34,1	77,0	56,6	67,2	41,0	41,5	42,6	42,9	79,4
23/02-08/03/04	37,9	23,7	49,7	46,3	37,2	58,3	59,9	67,2	49,1	61,4	38,5	35,0	75,9
08/03-22/03/04	58,4	30,4	46,7	51,0	59,7	67,2	72,2	66,0	51,9	76,6	46,9	43,6	84,9
19/04-03/05/04	19,1	19,6	40,8	55,5	32,2	53,5	35,1	45,2	29,7	40,4	31,8	30,0	48,3
17/05-01/06/04	36,7	20,5	34,6	53,7	35,2	50,1	44,4	56,7	42,4	42,4	28,2	32,7	59,8
03/05-17/05/04	24,4	19,2	50,3	48,0	32,6	42,1	44,6	55,4	42,2	39,7	29,6	25,1	57,6
19/04-03/05/04	29,1	14,8	26,3	41,3	30,6	28,3	22,4	33,8	41,7	38,2	19,3	22,5	46,1
28/06-12/07/04	11,4	17,0	18,3	32,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14/06-28/06/04	17,2	20,9	17,8	27,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/06-14/06/04	43,3	37,1	62,9	70,3	63,9	90,3	59,6	63,1	84,4	81,0	50,1	50,0	104
17/05-01/06/04	20,4	12,1	21,9	29,7	27,2	34,6	38,0	47,0	11,5	24,0	21,6	15,2	44,9
03/05-17/05/04	26,7	14,4	-	28,0	20,1	34,1	29,4	40,9	16,8	26,7	17,7	13,6	39,8
19/04-03/05/04	20,6	16,6	34,6	28,7	17,9	33,3	28,3	42,8	21,3	24,3	13,1	14,3	28,5
17/05-01/06/04	30,0	14,2	35,7	16,7	21,3	41,1	35,9	48,2	25,8	34,2	26,7	25,4	41,7
03/05-17/05/04	40,4	29,5	47,5	48,0	47,2	52,3	51,1	52,9	39,6	46,5	35,1	28,0	71,1
19/04-03/05/04	48,3	27,9	69,4	37,3	52,8	88,3	46,0	72,8	48,4	65,2	50,9	44,6	119
17/05-01/06/04	26,2	18,4	36,5	35,2	27,6	33,7	30,1	34,3	23,0	25,6	21,6	22,0	48,5
03/05-17/05/04	52,6	32,9	96,7	110	50,6	98,5	71,4	70,5	64,3	61,2	30,0	42,2	90,6
14/06-28/06/04	36,2	38,9	59,5	71,6	40,1	83,4	62,1	64,9	40,9	56,2	32,3	45,0	96,6
01/06-14/06/04	33,5	43,5	35,9	47,4	32,9	51,8	48,7	45,5	44,1	41,8	31,8	34,1	54,7
17/05-01/06/04	-	-	-	-	32,8	40,2	40,1	47,1	19,1	35,3	20,6	27,9	44,2
03/05-17/05/04	-	-	-	-	31,1	43,9	34,7	45,2	21,7	25,9	24,0	26,9	53,8

TABEL 6b: Overzicht van de gedetecteerde concentraties, in $\mu\text{g m}^{-3}$, gegeven als gemiddelde over 14 dagen (meetperiode 14 – 26)

Meetlocatie	09-10/08-23/08/04														Jaar-gemiddelde
	MP14	MP15	MP16	MP17	MP18	MP19	MP20	MP21	MP22	MP23	MP24	MP25	MP26		
ANTW1A Pl & Moretuslei (30m)	71,8	53,7	37,6	34,0	43,3	26,4	45,7	22,64	60,9	25,7	29,7	24,7	24,9	43,0	
ANTW1B Pl & Moretuslei (30m)	87,3	45,6	32,5	36,3	51,8	40,4	30,3	54,2	67,3	51,0	34,7	44,5	33,2	47,4	
ANTW2 Pl & Moretuslei (5m)	71,7	65,1	43,5	36,4	56,8	29,0	50,1	49,9	53,4	30,1	36,0	40,4	26,8	48,9	
ANTW3 O. Matisjlei	72,0	76,4	32,1	48,8	40,9	45,7	59,5	39,2	41,1	28,5	37,7	39,9	29,0	47,6	
ANTW4 Groenplaat	115	64,6	57,9	62,2	59,8	49,0	65,5	54,8	68,5	37,8	57,4	56,0	60,6	60,2	
LEU1 Kon. Boude-wijnlaan	56,6	27,8	24,9	25,3	28,9	26,9	35,5	27,0	34,0	19,7	30,9	16,3	19,3	33,5	
LEU2 Tiensevest	63,6	40,6	24,8	33,7	27,9	44,1	44,7	33,7	44,6	31,0	40,7	46,3	23,7	40,1	
LEU3 D. Bouislaan	58,1	41,0	28,6	35,0	30,7	35,8	28,6	19,1	35,1	28,9	25,4	23,7	23,4	35,6	
HAS1 Gouv. Roppesingel	42,2	22,2	17,2	25,9	23,8	23,3	30,0	10,6	21,3	15,5	23,0	22,7	15,8	27,0	
HAS2A Boksbemdenstraat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,9	
HAS2B Boksbemdenstraat	114	74,1	62,1	63,7	52,5	34,6	47,5	39,4	74,7	52,8	45,8	47,8	41,2	20,7	
HAS3 Thonissenlaan	50,5	45,9	10,6	26,8	24,8	15,1	24,8	0,93	19,3	28,4	33,9	26,1	18,8	26,7	
OOS1 Koningsminnelaan	40,3	45,9	13,0	16,8	15,3	24,7	18,3	16,3	38,6	59,4	31,1	31,6	19,7	26,9	
OOS2A Elisabethlaan	38,6	31,8	16,4	21,1	19,2	23,6	15,7	18,4	21,6	34,1	25,8	30,4	-	24,7	
OOS2B Elisabethlaan	57,2	27,9	27,9	24,7	24,7	23,7	-	49,1	24,0	39,0	19,1	29,7	19,8	29,8	
OOS3 Ringlaan	47,5	47,3	-	35,2	29,3	29,8	27,0	40,2	43,5	39,2	37,0	37,4	36,5	42,7	
AAL1 De Bethunelaan	102	56,9	39,2	49,7	20,8	20,7	24,6	20,3	13,8	39,3	23,7	24,7	37,6	27,9	
AAL2 Dendermondsestweg	49,0	29,3	11,6	20,8	20,7	24,6	20,3	13,8	3,77	39,3	23,7	24,7	37,6	27,9	
AAL3 Herthage	82,4	82,5	22,9	51,2	52,8	52,8	63,2	50,6	67,7	49,9	31,5	61,0	58,1	59,0	
GEN1 St. Lievenslaan	127	76,5	48,3	50,0	58,8	57,3	39,6	44,7	69,1	39,2	44,0	61,6	57,0	56,7	
GEN2 Brussepoort	51,2	37,7	-	37,3	38,8	23,6	40,7	32,6	49,5	45,8	37,5	43,0	36,0	41,7	
GEN3 Keizer Karelilaan	53,0	37,7	25,4	26,9	30,8	23,2	30,0	27,5	45,2	39,9	31,3	22,5	30,2	33,4	
GEN4A Baudelopark	40,8	37,5	17,3	27,2	27,0	19,5	26,5	26,5	32,1	28,0	12,6	22,3	19,9	29,7	
GEN4B Baudelopark	40,8	37,5	17,3	27,2	27,0	19,5	26,5	26,5	32,1	28,0	12,6	22,3	19,9	29,7	

Opm: MP15: voor toer Antwerpen (Antwerpen, Hasselt en Leuven) liep de meetperiode tot 9 augustus en voor toer Oostende (Oostende, Aalst en Gent) liep de meetperiode tot 10 augustus
 AAL3 en OOS1 gaven respectievelijk voor MP22 en MP21 niet-betrouwbare data, deze worden cursief weergegeven in bovenstaande tabel en niet meegenomen in de berekening3.4.1.6 Gem

3.4.1.5 Aalst

De meetlocaties in Aalst weerspiegelen de verkeersdrukke met respectievelijk 41,3, 53,6 en 27,9 $\mu\text{g m}^{-3}$ als gemiddelde waarden voor AAL1 (De Bethunelaan), AAL2 (Dendermondsesteenweg) en AAL3 (Hertshage). AAL2 (Dendermondsesteenweg) is gelegen aan een drukke invalsweg met hoge bebouwing wat dispersie bemoeilijkt. AAL1 (De Bethunelaan) is een bredere weg wat dispersie mogelijk maakt. AAL3 (Hertshage) is een rustige plaats waar een lagere concentratie te verwachten was. De gemiddelde netto NO_2 -pollutie wordt berekend door de stedelijke achtergrondconcentratie van de hotspot-concentratie af te trekken. Ze bedraagt 13,4 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor AAL1 en 25,7 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor AAL2.

In Gent zijn de gemiddelde waarden resp. 59,3, 57,7, 40,9 en 31,3 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor GEN1 (St Lievenslaan), GEN2 (Brugsepoort), GEN3 (Keizer Karellaan) en GEN4 (Baudelopark). De concentraties tonen aan dat er weinig dispersie mogelijk is bij GEN2. GEN4 is een rustige locatie en vertoont ook bijna altijd de laagste concentratie, wat ook te verwachten was. De gemiddelde netto-pollutie bedraagt 25,5 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor GEN1, 27,6 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor GEN2 en 9,6 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor GEN3.

3.4.1.7 Samenvatting

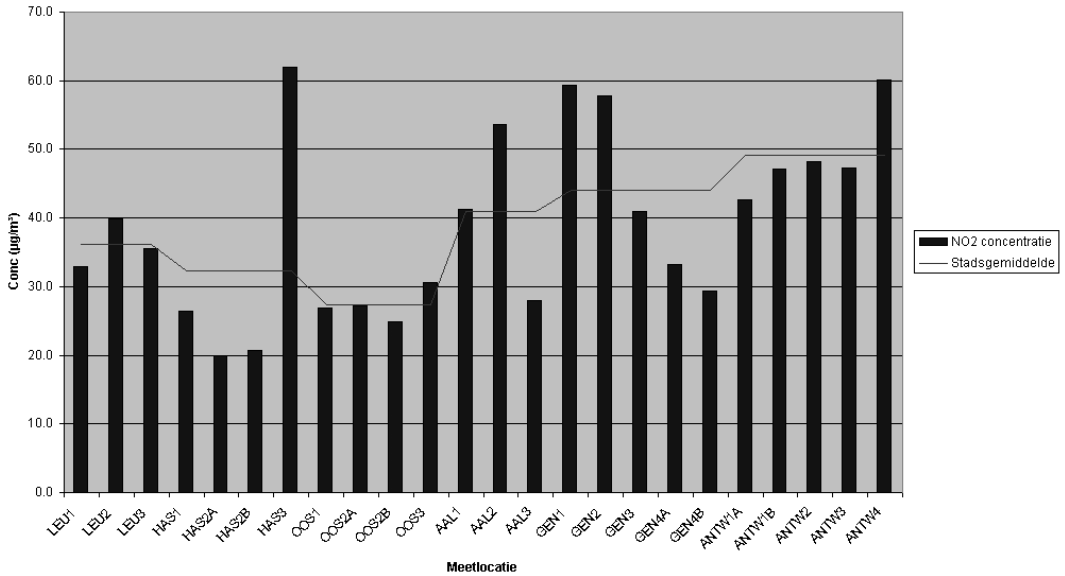
In Figuur 4 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde waarden per meetplaats, alsook de gemiddelde waarden voor de stad, getoond als een lijngrafiek. De resultaten tonen dat voor Antwerpen alle waarden boven het jaargemiddelde van 40 $\mu\text{g m}^{-3}$ liggen en dat Antwerpen de hoogste gemiddelde concentratie (49,1 $\mu\text{g m}^{-3}$) heeft in vergelijking met de andere steden. Ook is het duidelijk dat Oostende de laagste concentratie heeft, zowel afzonderlijk als gemiddelde waarden. De variatie is het grootst in Hasselt, waar HAS3 (Thonissenlaan) een veel hogere concentratie vertoont dan HAS1 (Gouv Roppesingel). De hoge concentraties in Gent en Antwerpen zijn te verklaren door het drukke wegverkeer in de binnenstad. Zelfs op rustigere plaatsen in Antwerpen liggen de concentraties nog boven de toekomstige grenswaarde van 40 $\mu\text{g m}^{-3}$. De laagste concentraties in Oostende zijn te verklaren door de ligging aan de zee, zodat de meetplaatsen veelal beïnvloed worden door weinig verontreinigde zeelucht en hogere windsnelheden.

We benadrukken hier wel dat aan de gemiddelden per stad geen te doorgedreven belang mag gehecht worden door het beperkt aantal metingen per stad en doordat de juiste locatie en de omgeving hiervan een invloed kan hebben op de concentratie en op het stadsgemiddelde.

3.4.2 Terugwaartse trajecten (Backward trajectories)

Ook werd er gebruik gemaakt van de terugwaartse trajecten (backward trajectories). Terugwaartse trajecten zijn wegen die de luchtmassa's afgelegd hebben om op een bepaald tijdstip op 20 meter hoogte op een bepaalde plaats aan te komen. Hiervoor werd gebruik gemaakt van het NOAA HYSPLIT⁸ Mode.

Binnen eenzelfde meetstad zijn de trajecten niet significant verschillend, wat er dus op wijst dat de concentratie hoofdzakelijk beïnvloed wordt door het wegverkeer en dat er geen beduidende bijdrage kan worden toegeschreven aan de oorsprong van de lucht. Figuur 5a en figuur 5b geven de terugwaartse trajecten voor HAS1 en HAS3 op 16 december 2004 weer. Aangezien de concentraties van de NO_2 beduidend verschillend is voor HAS1 en HAS3 (resp. 27.0 en 62.0 $\mu\text{g m}^{-3}$) is dit duidelijk dat de oorsprong van de lucht geen verklaring kan geven voor het verschil tussen de twee meetstations. Dezelfde trend is merkbaar voor de andere steden en daaruit blijkt dus dat de

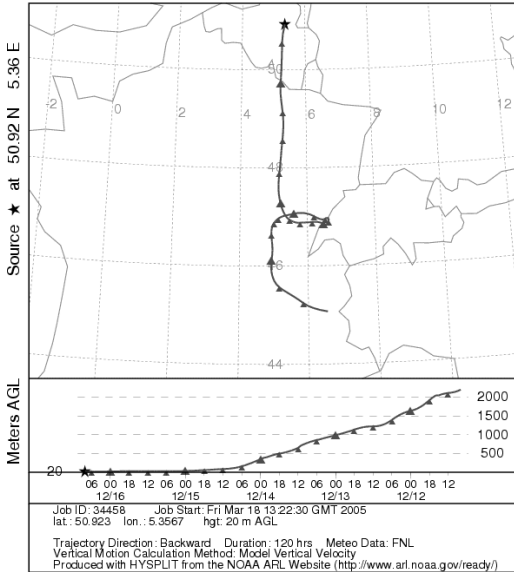


Figuur 4: Gemiddelde waarden van NO₂ concentraties per meetplaats (Beschrijving meetplaatsen sie Tabel 2)

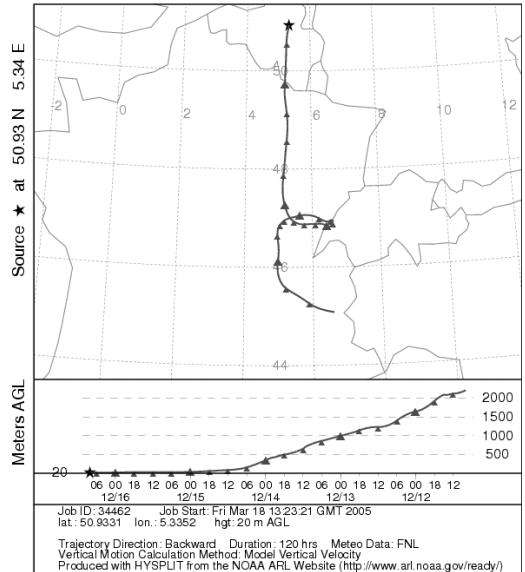
NO₂-concentratie binnen één stad vooral afhankelijk is van het wegverkeer en andere lokale pollutiebronnen (vb. industrie).

Figuur 5c tot en met figuur 5f geven de terugwaartse trajecten voor Oostende en Antwerpen. De data voor de trajecten zijn gekozen op tijdstippen waarop het verschil in concentratie tussen de stad met de hoogste gemiddelde concentratie (Antwerpen) en de stad met de laagste gemiddelde concentratie (Oostende) het grootst en het kleinste was. Het grootste verschil was in meetperiode 6 (22 maart tot en met 5 april 2004), dus werd als datum voor de trajecten geopteerd voor 28 maart. Het kleinste verschil was in meetperiode 24 (29 november tot en met 13 december), dus werd er geopteerd om 6 december als datum voor de trajecten te gebruiken. Als we de meetlocaties met het grootste concentratieverschil vergelijken, wordt duidelijk dat de lucht in OOS1 vooral van over zee kwam, waaruit besloten kan worden dat de antropogene bronnen een bijdrage leveren tot de pollutie in ANTW2. Voor de perioden met het kleinste verschil in concentratie tonen de terugwaartse trajecten dat de lucht in beide gevallen over het Verenigd Koninkrijk kwam, wat de bijdrage van antropogene bronnen bevestigt. Aan de hand van deze trajecten is duidelijk dat wanneer het trajec van Antwerpen meer afwijkt ten opzichte van dat van Oostende, er een groter verschil is tussen de NO₂-concentraties in beide steden. Dus het verschil in concentratie tussen de steden (Antwerpen en Gent) is niet enkel toe te schrijven aan lokale bronnen (intensiever wegverkeer), maar ook gedeeltelijk aan de oorsprong van de gepollueerde lucht.

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectory ending at 08 UTC 16 Dec 04
FNL Meteorological Data



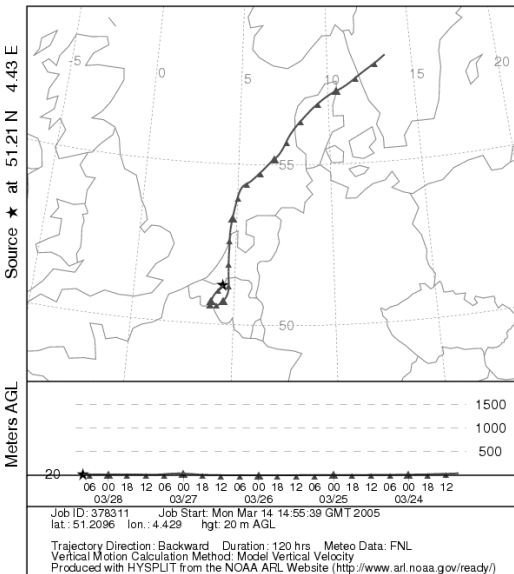
NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectory ending at 08 UTC 16 Dec 04
FNL Meteorological Data



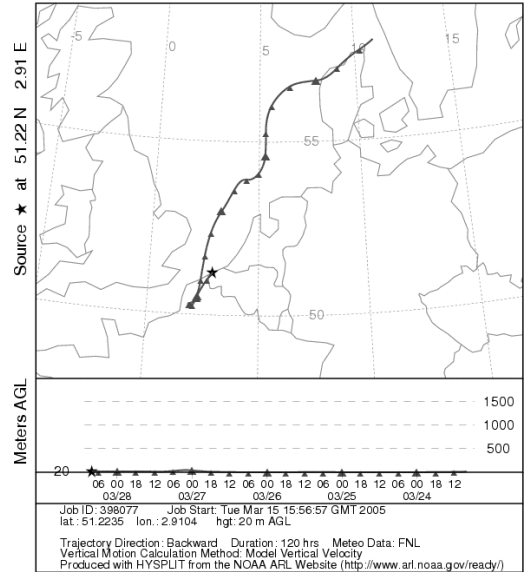
Figuur 5a: Terugwaartse Trajecten voor HAS1

Figuur 5b: Terugwaartse Trajecten voor HAS3

NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectory ending at 08 UTC 28 Mar 04
FNL Meteorological Data

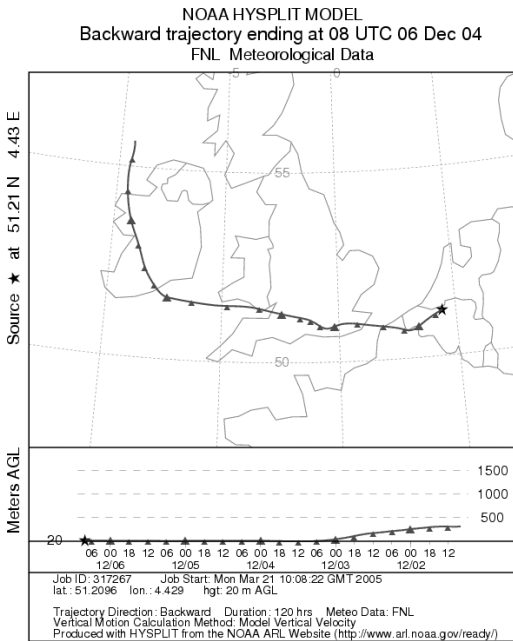


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectory ending at 08 UTC 28 Mar 04
FNL Meteorological Data

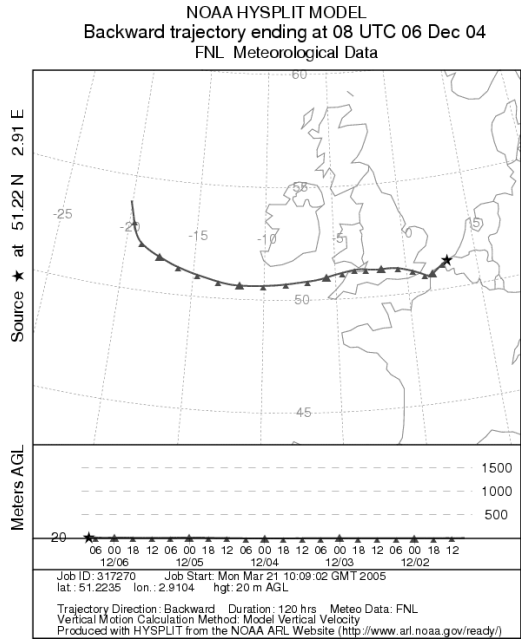


Figuur 5c: Terugwaartse Trajecten voor ANT2 (28 maart)

Figuur 5d: Terugwaartse Trajecten voor (28 maart) OOS1



Figuur 5e: Terugwaartse Trajecten voor ANTW2 (6 december)



Figuur 5f: Terugwaartse Trajecten voor (6 december)

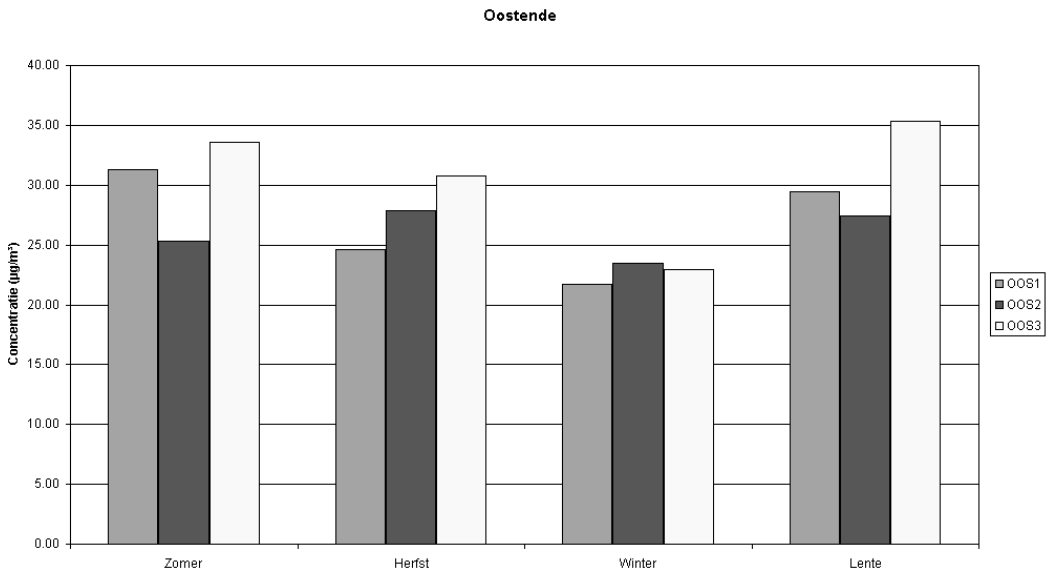
3.4.3 Seisoensgebonden effecten

Om een evolusie van die konsentrasie gedurende die jaar te bekijk, word 'n indeling gemaak aan die hand van die seisoene. Die somer loop van meetperiode 12 tot en met periode 18, die herfs van periode 19 tot en met periode 25. Die winter word samengestel uit meetperiode 26 en die periodes 1 tot en met 5, die lente liep van periode 6 tot en met periode 11. Figuur 6 toon die verloop van die konsentrasie gedurende die jaar vir Oostende (alle 3 meetlocasies). Die gemiddelde konsentrasie in die somer blyk hoer as in die winter. Die lente en die somer vertoon dus die hoogste NO₂-pollusie. NO₂ word onder andere gevormd deur: NO + O₃ → NO₂ sodat die konsentrasie tydens ozonryke periodes in die somer vaak hoer is as in die winter.

3.4.4 Toetsing aan die huidige grenswaarden

Tabel 7 gee 'n oorsig van die gemiddelde waardes gedetecteer op 19 meetlocasies.

Deze jaarwaardes toon aan dat op 11 locasies die toekomstige drempel van 40 µg m⁻³ (grenswaarde vanaf 2010) nog word oorskry. Die jaargrenswaarde plus oorskrydingsmarge geldig in 2004 (52 µg m⁻³) word op 5 locasies oorskry. ANTW4 en HAS3 vertoon 'n konsentrasie van meer as 60 µg m⁻³.



Figuur 6: Variatie van gemiddelde concentraties van NO₂ met de seisoenen voor Oostende zoals beskryf in bovenstaande alinia.

TABEL 7: Jaargemiddelde concentraties

NO₂ Verkeersmetings met passiewe monsternemers 2004		
	Meetlocasie	NO₂ konsentrasie (µg m⁻³)
ANTW1A		43,0
ANTW1B	Plantin en Moretuslei	47,3
ANTW2		48,8
ANTW3	Q. Matsijslei	47,6
ANTW4	Groenplaats	60,2
LEU1	Kon. Boudewijnlaan	33,5
LEU2	Tiensevest	40,1
LEU3	Dirk Boutslaan	35,6
HAS1	Gouv. Roppe Singel	27,0
HAS3	Thonissenlaan	62,0
OOS1	Koninginnelaan	26,7
OOS2A	Elisabethlaan	27,0
OOS2B		24,7
OOS3	Ringlaan	29,8
AAL1	De Bethunelaan	42,7
AAL2	Dendermondsesteenweg	53,4
AAL3	Hertshage	27,9
GEN1	St. Lievenslaan	59,0
GEN2	Brugsepoort	56,7
GEN3	Keizer Karellaan	41,7
GEN4A	Baudelopark	33,4
GEN4B		29,7

4. CONCLUSIES

Op 11 van de 19 meetplaatsen wordt de jaargrenswaarde van $40 \mu\text{g m}^{-3}$ (2010) overschreden. De jaargrenswaarde gesommeerd met de overschrijdingsmarge die geldig was in 2004 ($52 \mu\text{g m}^{-3}$) wordt op 5 van de 19 meetplaatsen overschreden. Er blijkt ook dat op verkeersdrukke locaties, die omgeven zijn door veel gebouwen, de stroming van de lucht wordt beperkt en dus de dispersie minder goed is, zodat er hogere NO_2 -concentraties voorkomen. Hier is er dus een directe relatie tussen locaties met intens verkeer en een hogere concentratie aan NO_2 . De vergelijkingen van de waarden van de gemiddelden van de in-duplometingen en de vaste monitoren wijzen er ook op dat de analyses vergelijkbaar en betrouwbaar zijn. De terugwaartse trajecten duiden aan dat binnen een bepaalde stad de verschillen in concentraties enkel door een lokaal effect (bv wegverkeer) te verklaren zijn. Het verschil in concentraties in één bepaalde stad is blijkbaar vooral afhankelijk van de verkeersintensiteit, dispersie fenomenen en eventuele invloeden van nabije industriële oorsprong. Verschillen tussen steden kunnen daar bovenop nog toegeschreven worden aan bewegingen van luchtmassa's over zwaar gepollueerde gebieden over land en de zee. In ozonrijke perioden wordt er vaak hogere NO_2 -concentraties gemeten. Weersomstandigheden hebben een invloed op de gemeten concentraties zoals aangetoond in Figuur 7.

REFERENTIES

1. Pleijel H., Karlsson G.P., Gerdin E.B., Short communication on the logarithmic relationship between NO_2 concentration and the distance from a highroad, 2004, *Science of the Total Environment*, 332, 261-264.
2. Hargreaves P.R., Leidi A., Grubb H.J., Howe M.T., Mugglestone M.A., Local and seasonal variations in atmospheric nitrogen dioxide levels at Rothamsted, UK, and relationships with meteorological conditions, 2000, *Atmospheric Environment*, 34, 843-853.
3. Campbell G.W., Stedman J.R., Stevenson K., A survey of nitrogen dioxide concentrations in the United Kingdom using diffusion tubes, July – December 1991, 1994, *Atmospheric Environment*, 28, 477-486
4. Godish T., Air Quality, Second Edition, Lewis Publishers, Michigan, 1991.
5. Khoder M.I., Atmospheric conversion of sulphur dioxide to particulate sulphate and nitrogen dioxide to particulate nitrate and gaseous nitric acid in an urban area, 2002, *Chemosphere*, 49, 675-684.
6. Vlaamse Milieumaatschappij, Afdeling Meetnetten en Onderzoek, Luchtkwaliteit in het Vlaamse Gewest – Jaarverslag imissiemetingen, calendar year 2003 – meteorological year 2003-2004.
7. Haswell, S.J., *Practical guide to chemometrics*, ed. Marcel Dekker, New York. 1992. 324. pp.
8. <http://www.arl.noaa.gov/ready/open/traj.html>.