

Openbare versie

(Contract 05.1508)

Onderzoek naar de bronnen van PM₁₀ in de haven van Antwerpen

Eindrapport

**F. Sleuwaert, R. Torfs, N. Bleux, G. Cosemans, F. Deutsch, L. Janssen,
J. Vankerkom, C. Mensink, H. Van Rompaey, P. Berghmans.**

**Studie uitgevoerd in opdracht van
het Departement Leefmilieu, Natuur en Energie**

2007/IMS/R/



VITO

maart 2007

INHOUDSTABEL

0	SAMENVATTING	14
1	INLEIDING EN DOELSTELLING.....	23
1.1	ALGEMEEN	23
1.2	OVER DE BEGRIPPEN "DIFFUUS" EN "FUGITIEF"	24
1.3	DOELSTELLING.....	24
2	METHODOLOGIE EN GEGEVENS	25
2.1	METHODOLOGIE.....	25
2.2	AFBAKENING VAN HET GEBIED.....	27
2.3	EMISSIONS	30
2.3.1	<i>Lokale industriële bronnen.....</i>	<i>30</i>
2.3.1.1	Puntbronnen	34
2.3.1.2	Diffuse bronnen.....	34
2.3.2	<i>Lokale verkeersbronnen</i>	<i>37</i>
2.3.2.1	Wegverkeer.....	37
2.3.2.2	Scheepvaart	38
2.3.3	<i>Emissiebestanden voor bronnen buiten het "hot spot" gebied.....</i>	<i>42</i>
2.4	LUCHTKWALITEITSMETINGEN	43
3	RESULTATEN	46
3.1	BEPALING VAN DE LOKALE BIJDRAGE AAN DE MEETSTATIONS	46
3.2	ANALYSE VAN DE LOCALE POLLUTIEROZEN	47
3.2.1	<i>Windrichtingsafhankelijkheid.....</i>	<i>47</i>
3.2.2	<i>Windsnelheidsafhankelijkheid.....</i>	<i>48</i>
3.2.3	<i>Tijdspatronen</i>	<i>49</i>
3.3	MODELRESULTATEN: ANALYSE VAN DE HUIDIGE SITUATIE	51
3.3.1	<i>Modelresultaten IFDM en EMIAD.....</i>	<i>51</i>
3.3.1.1	Rekenresultaten	51
3.3.1.2	Pollutierozen en CFD	54
3.3.1.3	Beperkingen en de relatie bronsterkte-afstand-impact.....	58
3.3.2	<i>Modelresultaten BeEUROS.....</i>	<i>59</i>
3.4	MEETRESULTATEN.....	61
3.4.1	<i>Pollutierozen</i>	<i>61</i>
3.4.2	<i>Gemeten metaalconcentraties</i>	<i>63</i>
3.4.3	<i>Tijdreeksen</i>	<i>63</i>
3.4.4	<i>Conclusies voor de extra meetplaatsen.....</i>	<i>65</i>
3.4.4.1	Grimm-metpunten VITO	65
3.4.4.2	VMM-metpunten	67
3.5	MODELRESULTATEN: ANALYSE VAN DE TOEKOMSTIGE SITUATIE	67
4	AANBEVELINGEN EN PRIORITEITEN VOOR VERDER ONDERZOEK	73
5	REFERENTIES	75
BIJLAGE 1: SCHEEPVAARTEMISSIONS		FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
BIJLAGE 2: LUCHTKWALITEITSMETINGEN		FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
BESCHRIJVING MEETTOESTELLEN.....		FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
Referentie filter bemonsteraar (Partisol Plus R&P 2025).....		Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Grimm Dust monitor.....		Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
GROOTTEVERDELING VAN HET STOF GEMETEN TIJDENS DE EXTRA MEETCAMPAGNE		FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

GEDETAILEERDE MEETRESULTATEN VAN DE EXTRA MEETCAMPAGNE.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
<i>Stofconcentraties gemeten met de filterbemonsteraars</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Concentraties aan chemische componenten gemeten met de filterbemonsteraars....</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
BIJLAGE 3: INVERSE MODELLERING MET IFDM EN EMIAD	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
IFDM (IMMISSIE-FREQUENCY-DISTRIBUTION-MODEL)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
EMIAD	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
INVERSE OF OMGEKEERDE IFDM-MODELLERING: VOORBEELDEN IFDM IN DE CONTEXT VAN HET ZOEKEN NAAR BRONNEN VAN POLLUENTEN.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
BIJLAGE 4: BEPALING VAN DE LOKALE BIJDRAGEN VAN DE MEETSTATIONS IN DE OMGEVING VAN ANTWERPEN DOOR AFTREK VAN EEN VIRTUELE ACHTERGROND. FOUT!	BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
BIJLAGE 5: INSCHATTING VAN DE (ACHTERGROND-) CONCENTRATIE VAN PM₁₀ EN PM_{2,5}	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
MANAGEMENTSAMENVATTING.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
INLEIDING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
METHODOLOGIE	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
<i>Modelbeschrijving</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Implementatie van CACM en MADRID 2 in BelEUROS.....</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Emissiegegevens voor de berekeningen met BelEUROS.....</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
RESULTATEN	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
<i>Berekening van de concentraties PM₁₀ en PM_{2,5} in België voor het jaar 2003.....</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Inschatting van de Vlaamse en de niet-Vlaamse bijdrage aan de concentraties PM₁₀ en PM_{2,5} in België voor het jaar 2003</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Berekening van de achtergrondconcentraties PM₁₀ en PM_{2,5} in België voor het jaar 2003, zonder de emissies van de Hot Spot-zone Antwerpse Haven</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Berekening van de bijdragen van de verschillende sectoren in het jaar 2003</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Berekening van de concentraties PM₁₀ en PM_{2,5} in België voor het jaar 2015.....</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Inschatting van de Vlaamse en de niet-Vlaamse bijdrage aan de concentraties PM₁₀ en PM_{2,5} in België voor het jaar 2015</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Berekening van de achtergrondconcentraties PM₁₀ en PM_{2,5} in België voor het jaar 2015, zonder de emissies van de Hot Spot-zone Antwerpse Haven</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Berekening van de bijdragen van de verschillende sectoren in het jaar 2015</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
<i>Berekening van de achtergrondconcentraties fijn stof voor de Hot Spot zone Antwerpse Haven voor het jaar 2010</i>	<i>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>
SAMENVATTING EN CONCLUSIES	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
LITERATUUR.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht van de meetstations gelegen in het afgebakend gebied.	28
Tabel 2: Overzicht puntbronnen in de omgeving van de meetstations (bron: IMJV) Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.	
Tabel 3: Overzicht diffuse stofbronnen in de nabije omgeving van de meetstations Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.	
Tabel 4: Rekenresultaat volgens het MIMOSA-model voor de uitlaatemissies van het wegverkeer (de niet-uitlaatemissies zijn niet in het model opgenomen).....	37
Tabel 5: Overzicht stofemissies scheepvaart in de nabije omgeving van de meetstations.....	42
Tabel 6: Overzicht van de meetplaatsen.....	44
Tabel 7: Overzicht van de meetstations met hun lokale bijdrage tot de jaargemiddelde concentratie PM_{10} voor de periode april 2004 t.e.m. maart 2005	47
Tabel 8: Modelresultaten voor de huidige situatie van de 3 meetstations (periode april 2004 t.e.m. maart 2005).....	52
Tabel 9: Afstanden (grootte-orde) van de gegroepeerde diffuse bronnen tot de meetstations.	59
Tabel 10: Gemodelleerde PM_{10} -achtergrondconcentraties zonder lokale bronnen binnen het studiegebied.....	59
Tabel 11: Vlaamse bijdragen (%) aan de PM_{10} -achtergrondconcentraties	59
Tabel 12: Gemodelleerde PM_{10} -achtergrondconcentraties (zonder lokale bronnen) opgesplitst in Vlaamse en buitenlandse bijdragen	60
Tabel 13: Gemodelleerde PM_{10} -concentraties met ook de lokale bronnen erbij	60
Tabel 14: Overzicht gemeten metaalconcentraties tijdens de meetcampagne	63
Tabel 15: Overzicht modelresultaten voor de huidige (periode april 2004 t.e.m. maart 2005) en toekomstige situatie (2010 en 2015) voor de 3 meetstations	69
Tabel 16: Sectorverdeling bij IASA en in BelEUROS..... Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.	
Tabel 17: Relatieve bijdrage van de antropogene Vlaamse emissies aan de PM_{10} -concentraties in januari en juli 2003 en een inschatting van de gemiddelde bijdrage in 2003 in de Belgische Gewesten	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 18: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van alle antropogene Vlaamse emissies in januari en juli 2003 en een inschatting van de gemiddelde bijdrage in 2003 in de Belgische Gewesten.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 19: Reducties in PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de primaire fijn stof emissies van puntbronnen in de “Hot Spot”-zone van de Antwerpse Haven. Berekening voor het volledige jaar 2003.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 20: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “verbranding” in Vlaanderen; bijdragen berekend voor januari en juli 2003 en de gemiddelde bijdrage	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 21: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “verbranding” in Vlaanderen; januari en juli 2003 en gemiddelde bijdrage van deze sector	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 22: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “huishoudens” in Vlaanderen; bijdragen berekend voor januari en juli 2003 en de gemiddelde bijdrage	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 23: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “huishoudens” in Vlaanderen voor januari en juli 2003 en gemiddelde voor 2003.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Tabel 24: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in Vlaanderen; bijdragen berekend voor januari en juli 2003 en de gemiddelde bijdrage	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.

- Tabel 25: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in Vlaanderen voor januari en juli 2003 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 26: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “transport” in Vlaanderen voor januari en juli 2003 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 27: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “transport” in Vlaanderen voor januari en juli 2003 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 28: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “landbouw” in Vlaanderen voor januari en juli 2003 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 29: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “landbouw” in Vlaanderen voor januari en juli 2003 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 30: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van alle antropogene Vlaamse emissies in januari en juli 2015 en een inschatting van de gemiddelde bijdrage in 2015 in de Belgische Gewesten..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 31: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van alle antropogene Vlaamse emissies in januari en juli 2015 en een inschatting van de gemiddelde bijdrage in 2015 in de Belgische Gewesten..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 32: Reducties in PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de antropogene emissies van bronnen gelegen in de “Hot Spot”-zone van de Antwerpse Haven. Berekening voor het volledige jaar 2015. **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 33: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “verbranding” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 34: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “verbranding” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage..... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 35: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “huishoudens” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 36: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “huishoudens” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 37: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 38: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 39: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “verkeer” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 40: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “verkeer” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Tabel 41: Reducties in PM_{10} -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “landbouw” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

*Tabel 42: Reducties in $PM_{2,5}$ -concentraties bij het weglaten van de emissies van de sector “landbouw” in Vlaanderen voor januari en juli 2015 en gemiddelde bijdrage***Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

*Tabel 43: Jaargemiddelde PM_{10} -achtergrondconcentraties zonder de lokale bronnen van het Hot Spot gebied voor het jaar 2010***Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

*Tabel 44: Overzicht van de voor de verschillende sectoren berekende bijdragen aan de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties in Vlaanderen voor de jaren 2003 en 2015***Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

LIJST VAN FIGUREN

<i>Figuur 1: Overzichtskaart meetstations en afgebakend initieel studiegebied (rood kader)</i>	<i>29</i>
<i>Figuur 2: Overzicht industriële bronnen in de nabije omgeving van het meetstation Luchtbal (bron kaart: GHA).....</i>	<i>31</i>
<i>Figuur 3: Overzicht industriële bronnen in de nabije omgeving van het meetstation Linkeroever (bron kaart: GHA).....</i>	<i>32</i>
<i>Figuur 4: Overzicht industriële bronnen in de nabije omgeving van het meetstation Boudewijnsluis (bron kaart: GHA).....</i>	<i>33</i>
<i>Figuur 5: Ligging van mogelijke diffuse bronnen rondom de 3 meetstations (blauwe gebieden rondom meetstations hebben een straal van 2000 m) (bron kaart: De Lloyd NV - 2004).....</i>	<i>36</i>
<i>Figuur 6: Lijnbronnen gebruikt voor de EMIAD- IFDM-berekening (op basis van de gegevens voor 2003). De emissies zijn uitgedrukt in g per meter weg per dag.</i>	<i>38</i>
<i>Figuur 7: Afbakening gebieden rond meetstations voor lokale emissies scheepvaart (bron kaart: De Lloyd NV - 2004).....</i>	<i>40</i>
<i>Figuur 8: Locaties van de 4 meetplaatsen van de extra meetcampagne.</i>	<i>45</i>
<i>Figuur 9: voorbeelden van overblijvende gemeenschappelijke pieken op de zes meetstations in en rond Antwerpen, na aftrek van de virtuele achtergrond.</i>	<i>46</i>
<i>Figuur 10: PM₁₀ concentraties per windsector (0° = noordenwind, 90° = oostenwind, enz.)</i>	<i>47</i>
<i>Figuur 11: Correlatiecoëfficiënt tussen windsnelheid en concentratie, per windsector.....</i>	<i>48</i>
<i>Figuur 12: Duidelijke afname van de concentratie in functie van windsnelheidsklassen in Zwijndrecht, voor een aantal windrichtingen.</i>	<i>49</i>
<i>Figuur 13: Tijds patronen van de gemiddelde PM₁₀ concentratie in Antwerpen luchtbal in verschillende richtingen.....</i>	<i>50</i>
<i>Figuur 14: Pollutierozen van de gemeten PM₁₀ voor de 3 meetstations.</i>	<i>55</i>
<i>Figuur 15: Pollutierozen van de berekende PM₁₀ voor de 3 meetstations.....</i>	<i>55</i>
<i>Figuur 16: Cumulatieve frequentiedistributie (CFD) van de lokale component afgeleid uit de metingen (zwarte lijn) en berekende impact van de lokale bronnen (rode stippellijn) voor de meetstations Antwerpen Luchtbal, Linkeroever en Boudewijnsluis.....</i>	<i>56</i>
<i>Figuur 17: Tijdreeksen van de lokale component afgeleid uit de metingen (rood) en berekende impact van de lokale bronnen (blauw) voor de meetstations Luchtbal, Antwerpen Linkeroever en Boudewijnsluis.</i>	<i>57</i>
<i>Figuur 18: Tijdreeksen van achtergrond (grijs), lokale component afgeleid uit metingen (rood) en berekende impact van lokale bronnen (blauw) voor het meetstation Linkeroever.</i>	<i>57</i>
<i>Figuur 19: 3e Havendok</i>	<i>58</i>
<i>Figuur 20: Pollutierozen gemeten (linkse pollutierozen) en berekend (rechtse pollutierozen) voor de impact van lokale PM₁₀ bronnen voor de meetstations tijdens juli-augustus 2006 (bovenste figuur) en voor de meetcampagne juli-augustus 2006 (onderste figuur).....</i>	<i>62</i>
<i>Figuur 21: Tijdreeksen (glijdende daggemiddelden) van gemeten (rood) en berekende (blauw) impact van lokale PM₁₀-bronnen in de Antwerpse haven, meetcampagne juli-augustus 2006: VITO en VMM meetpunten; in µg PM₁₀/m³.</i>	<i>64</i>
<i>Figuur 22: Hoge PM₁₀-waarden 's nachts bij wegvallende zuidenwind gemeten in het meetpunt K399 (Waterbedelingspost).....</i>	<i>66</i>
<i>Figuur 23: Verband tussen aantal overschrijdingsdagen (PM₁₀, 24 uur > 50 µg/m³) en de jaargemiddelde PM₁₀ concentraties voor alle PM₁₀ stations in België in het kalenderjaar 2002 (bron data: IRCEL).</i>	<i>68</i>
<i>Figuur 24: Coördinatensysteem en elementen van de bi-Gaussiaanse pluim.Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>	
<i>Figuur 25: Cumulatieve frequentieverdeling van meetstations in Antwerpen + mogelijke kandidaten achtergrondstations.....Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>	
<i>Figuur 26: Cumulatieve frequentieverdeling van enkel de kandidaten achtergrondstations.Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</i>	

Figuur 27: Afwijkende trend van Houtem en Dessel.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 28: CFD van het virtueel achtergrondstation, op basis van meetstations Hasselt, Aarschot en Destelbergen.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 29: Pollutieroos van het virtueel achtergrondstation, op basis van meetstations Hasselt, Aarschot en Destelbergen.**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 30: CFD van de lokale meetstations in en rond Antwerpen, zonder de bijdrage van de achtergrondconcentraties (virtuele achtergrond afgetrokken)**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 31: Pollutierozen van de lokale meetstations in en rond Antwerpen, zonder de bijdrage van de achtergrondconcentraties (virtuele achtergrond afgetrokken)**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 32: Voorbeelden van overblijvende gemeenschappelijke pieken op de zes meetstations in en rond Antwerpen, na aftrek van de virtuele achtergrond.**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 33: Uiteindelijk resultaat: lokale pollutierozen, gecorrigeerd voor de virtuele achtergrond en voor de gemeenschappelijke lokale piekjes.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 34: Afbakening van de zone in de Antwerpse Haven: Voor het gebied binnen het zwart omlijnde kader (coördinaten: $x = 139000 - 154000$, $y = 213000 - 231000$) werden de gekende antropogene emissies bij de bepaling van de PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -achtergrondconcentraties weggelaten.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 35: Gemiddelde PM_{10} -concentratie in Europa in het jaar 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 36: Jaargemiddelde concentratie PM_{10} in België in 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 37: Jaargemiddelde waargenomen PM_{10} -concentratie in België in 2003; bron: IRCEL**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 38: Gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie in het jaar 2003 in Europa**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 39: Jaargemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie in België in het jaar 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 40: Relatief verschil in PM_{10} -concentratie tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor januari 2003 in Europa**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 41: Relatief verschil in PM_{10} -concentratie tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor januari 2003 in België.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 42: Relatief verschil in PM_{10} -concentratie tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor juli 2003 in Europa.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 43: Relatief verschil in PM_{10} -concentratie tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor juli 2003 in België**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 44: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties in Europa tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor het volledige jaar 2002.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 45: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties in België tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor het volledige jaar 2002.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 46: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties in Europa tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor januari 2003 in Europa**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 47: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties in Europa tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor januari 2003 in België.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 48: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties in Europa tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor juli 2003 in Europa.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 49: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties in Europa tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor juli 2003 in de Benelux.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 50: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties in Europa tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor juli 2003 in België.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 51: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties in Europa tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor het volledige jaar 2002.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

- Figuur 52: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties in België tussen een berekening met en zonder Vlaamse emissies voor het volledige jaar 2002**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 53: Relatief verschil in gemiddelde PM_{10} -concentratie in België tijdens het volledig jaar 2003 tussen een berekening met alle antropogene emissies en een berekening zonder de antropogene emissies in de “Hot Spot” zone Antwerpse Haven**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 54: Relatief verschil in gemiddelde PM_{10} -concentratie in de Benelux tijdens het volledig jaar 2003 tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder de antropogene emissies in de “Hot Spot” zone Antwerpse Haven**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 55: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie in België tijdens het volledig jaar 2003 tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder de antropogene emissies vanuit bronnen in de “Hot Spot” zone Antwerpse Haven**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 56: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie in de Benelux tijdens het volledige jaar 2003 tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder de antropogene emissies vanuit bronnen in de “Hot Spot” zone Antwerpse Haven**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 57: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies van uit de sector “verbranding” in januari 2003.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 58: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies van uit de sector “verbranding” in juli 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 59: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies van uit de sector “verbranding” in januari 2003.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 60: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies van uit de sector “verbranding” in juli 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 61: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “huishoudens” in januari 2003.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 62: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “huishoudens” in juli 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 63: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “huishoudens” in januari 2003.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 64: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “huishoudens” in juli 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 65: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in januari 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 66: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in juli 2003.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 67: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in januari 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 68: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in juli 2003.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 69: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in juli 2003; gebied van de Benelux uitvergroott**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 70: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verkeer” in januari 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 71: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verkeer” in juli 2003 ... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 72: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verkeer” in januari 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 73: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verkeer” in juli 2003 ... **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 74: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “landbouw” in januari 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 75: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “landbouw” in juli 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 76: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “landbouw” in januari 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 77: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “landbouw” in juli 2003**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 78: Jaargemiddelde PM_{10} -concentraties voor het jaar “2015” in het hele modeldomein**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 79: Jaargemiddelde PM_{10} -concentraties in het jaar “2015” in België**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 80: Relatief verschil tussen de jaargemiddelde PM_{10} -concentraties voor de jaren 2003 en 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 81: Gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie in het hele modeldomein tijdens het jaar “2015” .. **Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 82: Gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie in het jaar “2015” in België**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 83: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentraties tussen het jaar 2003 en “2015”**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 84: Relatief verschil in gemiddelde PM_{10} -concentratie tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor het jaar 2015; situatie januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 85: Relatief verschil in gemiddelde PM_{10} -concentratie tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor het jaar 2015; situatie januari 2015 in België.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 86: Relatief verschil in gemiddelde PM_{10} -concentratie in Europa tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor het jaar 2015; situatie juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

- Figuur 87: Relatief verschil in gemiddelde PM_{10} -concentratie in de Benelux tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor het jaar 2015; situatie juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 88: Relatief verschil in gemiddelde PM_{10} -concentratie in België tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor het jaar 2015; situatie juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 89: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor januari 2015 in Europa.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 90: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor januari 2015 in België**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 91: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor juli 2015 in Europa**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 92: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor juli 2015 in de Benelux**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 93: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie tussen een berekening met alle emissies en een berekening zonder Vlaamse antropogene emissies voor juli 2015 in België**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 94: Relatief verschil in gemiddelde PM_{10} -concentratie in België tijdens het volledige jaar 2015 tussen een berekening met alle antropogene emissies en een berekening zonder de antropogene emissies in de “Hot Spot” zone Antwerpse Haven**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 95: Relatief verschil in gemiddelde $PM_{2,5}$ -concentratie in België tijdens het volledige jaar 2015 tussen een berekening met alle antropogene emissies en een berekening zonder de antropogene emissies in de “Hot Spot” zone Antwerpse Haven**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 96: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verbranding” in januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 97: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verbranding” in juli 2015**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 98: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verbranding” in januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 99: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verbranding” in juli 2015**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 100: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “huishoudens” voor januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 101: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “huishoudens” voor juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**
- Figuur 102: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “huishoudens” voor januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 103: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “huishoudens” voor juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 104: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 105: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 106: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 107: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sectoren “industrie” en “raffinaderijen” in juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 108: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verkeer” in januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 109: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verkeer” in juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 110: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verkeer” in januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 111: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “verkeer” in juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 112: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “landbouw” in januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 113: Relatief verschil in PM_{10} -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “landbouw” in juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 114: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “landbouw” in januari 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

Figuur 115: Relatief verschil in $PM_{2,5}$ -concentraties tussen een berekening met alle Vlaamse emissies en een berekening zonder de Vlaamse emissies vanuit de sector “landbouw” in juli 2015.....**Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.**

0 SAMENVATTING

Dit document geeft een samenvatting van de resultaten van de studie “*Onderzoek naar de bronnen van PM₁₀ in de haven van Antwerpen*”, aangeduid met de verkorte titel “*Hot spots Antwerpen*”.

De studie had als doel voor de meetstations van de VMM in de omgeving van het zuidoosten van de haven van Antwerpen (met name 42M802 Antwerpen Luchtbal, 40AB01 Antwerpen Boudewijnsdijk, en 40AL01 Antwerpen Linkeroever) de lokale bijdrage aan de PM₁₀ concentraties te identificeren en de oorzaak van de overschrijdingen bloot te leggen, om vervolgens geschikte emissiereductiemaatregelen voor te stellen en door te rekenen. In de studie worden volgende onderdelen behandeld:

1. De identificatie van de mogelijke stofbronnen die bijdragen tot de vastgestelde overschrijdingen en bijna-overschrijdingen;
2. De bepaling van de achtergrondconcentratie per locatie, rekening houdend met het diffuse en grensoverschrijdende aandeel;
3. Nagaan hoeveel moet gereduceerd worden om de grenswaarden te halen, rekening houdend met de NEC-richtlijn, en de richtlijn over de emissies van grote stookinstallaties;
4. Voorstellen en evalueren van bijkomende maatregelen indien na doorrekening blijkt dat de grenswaarden niet gehaald zullen worden.

De methodologie

Om de mogelijke stofbronnen te identificeren die bijdragen tot de overschrijdingen van de PM₁₀ grenswaarden van 3 meetstations in het zuidoosten van de Antwerpse haven, wordt een emissie-inventaris opgesteld. De bronnen-inventaris (paragraaf 2.3) bestaat deels uit gekende bronnen, zoals verkeer (uitlaatemissies volgens het MIMOSA-model), gebouwenverwarming (verdeeld over een jaar volgens de graaddagenafhankelijkheid), zeeschepen (volgens het MOPSEA model, aangevuld met de emissies van de hulpmotoren t.g.v. het laden en lossen) en de meest recente geleide emissies van de industrie. Basisgegevens hiervoor komen van de EIVR (Emissie-inventaris lucht) die geactualiseerd is voor het jaar 2003, en de integrale milieujaarverslagen 2004 en 2005 voor o.m. de petrochemische sector. Voor deze laatste zijn een aantal reductiemaatregelen meegenomen in de emissie-inventaris die vanaf einde 2004 geïmplementeerd waren. Daarnaast zijn er in de haven van Antwerpen een aantal bronnen die men niet kent. Daarvan zijn er sommige bronnen die momenteel niet beschouwd worden, zoals de niet-uitlaatemissies van het verkeer, de emissies van de baggerboten, de sleepboten en de binnenvaart en geleide industriële emissies die onder de rapporteringdrempel van Vlarem II liggen. Een andere belangrijke groep onbekende bronnen zijn de diffuse emissies die bij de opslag- en overslag activiteiten ontstaan. In deze studie wordt in eerste instantie via omgekeerde modellering geprobeerd een schatting te maken van de ligging en grootte van deze laatste soort emissies in de Antwerpse haven. Het resultaat van deze modellering is een stel mogelijke bronnen, waarvan het bestaan in realiteit plausibel (uit plaatsbezoeken e.d.) is, maar waarvan de bronsterkte nog onzeker is. Er kan geen algemeen onzekerheidsinterval op de bronsterkte van de verschillende diffuse bronnen bepaald worden. Een aantal elementen dragen bij tot de onzekerheid:

- De afstand van de bron tot het meetstation is soms onzeker, omdat er verschillende mogelijkheden zijn binnen een bepaald bedrijf of gebied. In het maximale geval kan voor zeer dichtbij gelegen bronnen zoals bv. in het 3e Havendok de variatie in bronsterkte een factor 4 zijn.
- De onbekende verdeling van bronsterktes van bronnen die op één lijn liggen ten opzichte van het meetstation. Het model kan hierin geen onderscheid maken. Het is daarom beter om de bronsterktes per gebied te rapporteren.
- De onzekerheid over het realistisch karakter van de bron. Indien een bepaalde locatie in het model gestoken wordt levert dit een wiskundig resultaat op. Met andere woorden: aan de bron wordt een emissie toegekend. In geval van het 5e Havendok is beslist om de gemodelleerde bronsterkte niet mee te nemen in de resultaten om een beter wiskundig resultaat te bekomen. Dit heeft als gevolg dat andere, nabijgelegen bronnen een hogere bronsterkte krijgen, om te compenseren voor deze correctie.
- In bepaalde gevallen is de modellering niet optimaal, eenvoudigweg omdat we nog bronnen missen. De vrij sterke zuidwestelijke piek in de pollutie van het meetstation 40AB01 Boudewijnsdijk kan bv. niet verklaard worden.
- Er is nood aan betere emissiedata voor scheepvaart (sleepboten, baggerboten en binnenvaart) en aan betere niet-uitlaatemissies. Deze bronnen zijn niet opgenomen, waardoor in de richting van deze bronnen de modelberekening meer belang toekent aan de diffuse bronnen.

In deze studie wordt gebruik gemaakt van zo recent mogelijke meetgegevens met degelijke validatiestatus. Voor de meetpunten van de VMM zijn dit de meetwaarden waarvan de statistieken gepubliceerd zijn in het laatste jaarverslag 'Luchtkwaliteit in Vlaanderen', en dat waren, bij aanvang van deze studie, de meetwaarden van het meteorologische jaar 2004-2005 (april 2004 tot en met maart 2005). Op deze gegevens is de omgekeerde modellering uitgevoerd. Vervolgens werden de gegevens van de meetcampagne (paragraaf 2.4) juli-augustus 2006 gebruikt om de ruimtelijke spreiding van de gevonden fugatieve bronnen verder te verfijnen. De locaties voor de meetcampagne zijn pas gedefinieerd na een eerste modelberekening en een verkenning ter plaatse om zo optimaal mogelijk bijkomende informatie te genereren.

Naast de lokale bijdrage aan de PM₁₀ concentraties is ook de bijdrage van alle bronnen buiten het gebied in kaart gebracht. Hiervoor wordt het model BeEUROS gebruikt en is een bronnenbestand aangemaakt op basis van Europese emissiedata voor het jaar 2003 en 2015. Deze bijdrage moet bepaald worden om de toekomstscenario's te kunnen berekenen, en om voor deze toekomstscenario's opnieuw de lokale bijdrage te onderscheiden.

Resultaten

In hoofdstuk 3 worden de resultaten beschreven.

De lokale bijdragen aan de meetstations in de Antwerpse haven worden bepaald. Dit is nodig om een duidelijker 'contrast' te bekomen in de bepaling van de lokale bronnen. De (vrij hoge) regionale achtergrondconcentratie aan PM₁₀ maakt het immers moeilijker om deze lokale bronnen te bepalen. Na herhaalde berekeningen met het model is nadien gebleken dat we in de winter een te lage schatting van de impact van de lokale bronnen hebben. Met andere woorden: er wordt in de winter vermoedelijk een te hoge achtergrond

afgetrokken. Om deze reden is de regressie uitgevoerd op de periode april-september 2004, en vervolgens omgerekend naar jaargemiddelde bijdragen van de lokale (diffuse) bronnen.

De pollutierozen van de verschillende meetstations worden geanalyseerd voor de periode april 2004 t.e.m. maart 2005, waarbij de windrichtingafhankelijkheid en de correlatie van de PM_{10} concentratie met de windsnelheid indicatief is voor de positie en de aard van de bronnen. We stellen een scherpe piek van diffuse emissie vast op het meetstation 42M802 Antwerpen Luchtbal, in de richting van het 3e Havendok. Ook voor het meetstation Antwerpen Boudewijnsdijk 40AB01 worden diffuse emissies (op- en overslag) geïdentificeerd: in de richting van het kanaaldok B1, en in zuidwestelijke richting. Deze laatste bron is niet geïdentificeerd. Analyse van de tijdsafhankelijkheid is vooral geschikt om verkeersbronnen te identificeren. Voor 42M802 Antwerpen Luchtbal is de zuidoostelijke piek hierdoor te verklaren.

Hieronder volgt een overzicht van de modelresultaten voor de huidige situatie (april 2004 t.e.m. maart 2005), met identificatie van bronnen en kwantificering en bronsterktes.

Tabel S1: Bijdrage van de lokale bronnen aan de jaargemiddelde PM_{10} concentratie, op basis van de emissies 2003 en 2004, en op basis van inverse modellering.

Bron	Emissie (ton PM ₁₀ /jaar)	Bijdrage tot jaargemiddelde (µg PM ₁₀ /m ³)		
		Luchtbal	Linkeroever	Boude- wijnsluis
Puntbronnen - petrochemie	1737	0,25	0,4	0,8
Puntbronnen - andere	150	0,04	0,06	0,2
Diffuse bronnen				
Kanaaldok B1	585	0,1	0,2	1,5
Graandok	469	0,3	0,3	0,7
3e Havendok	341	2,3	0,3	0,05
Amerikadok	251	0,85	0,7	0,05
Leopolddok/Hansadok	423	0,1	0,4	0,2
Hansadok Zuid	829	0,3	0,4	0,2
SUBTOTAAL	2897	3,9	2,3	2,7
Wegverkeer en diverse bronnen				
Wegverkeer		2,3	0,8	0,2
Verwarming en ander transport		2,7	3,1	1,7
Zeeschepen	490	0,5	0,7	2,1
SUBTOTAAL		5,5	4,6	4,0
TOTAAL		9,7	7,4	7,7

Lokale bronnen dragen ongeveer 20 tot 25% bij tot de jaargemiddelde concentraties op de verschillende meetstations ($39,0 \mu g PM_{10}/m^3$ voor Luchtbal, $32,0 \mu g PM_{10}/m^3$ voor Linkeroever en $37,0 \mu g PM_{10}/m^3$ voor Boudewijnsdijk over de periode april 2004 t.e.m. maart 2005). Hiervan zijn verkeer en verwarming de belangrijkste componenten. De directe

impact van puntbronnen in het havengebied is beperkt. Hun effect wordt door de hoge schoorstenen uitgesmeerd over een groter gebied. Op deze manier dragen zij dus wel bij tot de achtergrondconcentraties in West-Europa. De bijdrage van de lokale diffuse bronnen is belangrijk. Voor Antwerpen Luchtbal betekenen zij ongeveer 10% van de jaargemiddelde concentraties; voor de andere twee meetstations ongeveer 7%. Voor Boudewijnsluis is de bijdrage van de scheepvaart (enkel zeeschepen) de belangrijkste. Een lokale bijdrage van bijna 6% is relatief hoog in vergelijking met het gemiddelde in Vlaanderen (op basis van emissies).

De bepaling van de bronsterkte van de diffuse bronnen is gevoelig aan de plaatsing van het zwaartepunt van de emissies tijdens de modellering. Er is vastgesteld dat de benodigde emissie om een gemeten concentratie te verklaren toeneemt met bijna een factor 3 bij verdubbeling van de afstand. Voor bedrijven die op een grotere afstand van een meetpunt liggen, of die vanuit 2 meetpunten vanuit een (voldoende grote) verschillende hoek worden gezien, is de geschatte hoeveelheid emissie minder gevoelig aan de plaatsing van het zwaartepunt van de emissies.

In onderstaande tabel S2 worden ter illustratie de geschatte afstanden (grootte-orde) van de gegroepeerde diffuse bronnen tot de meetstations weergegeven. De meeste bronnen liggen binnen een straal van 2 km van het dichtsbijzijnde meetstation. Enkel de bronnen gegroepeerd in Leopolddok/Hansadok en Hansadok Zuid liggen buiten 2 km van elk meetstation. De bron 5e Havendok viel weg tijdens de modellering om een beter wiskundig resultaat te bekomen en is hier niet meer weergegeven.

Tabel S2: Afstanden (grootte-orde) van de gegroepeerde diffuse bronnen tot de meetstations.

Diffuse bronnen	Geschatte afstand (grootte-orde) van de diffuse bron tot het meetstation in km		
	Luchtbal	Linkeroever	Boudewijnsluis
Kanaaldok B1	6,5 - 7,8	6,4 - 7,8	1,1 - 2,1
Graandok	5,1 - 5,6	4,7 - 5,2	1,6 - 2,1
3e Havendok	0,7 - 1,6	2,6 - 3,6	5,7 - 6,8
Amerikadok	2,5 - 3,1	1,1 - 1,6	5,9 - 6,9
Leopolddok/Hansadok	3,0 - 5,2	2,5 - 3,8	2,5 - 4,6
Hansadok Zuid	4,9 - 5,4	2,4 - 3,4	2,9 - 3,8

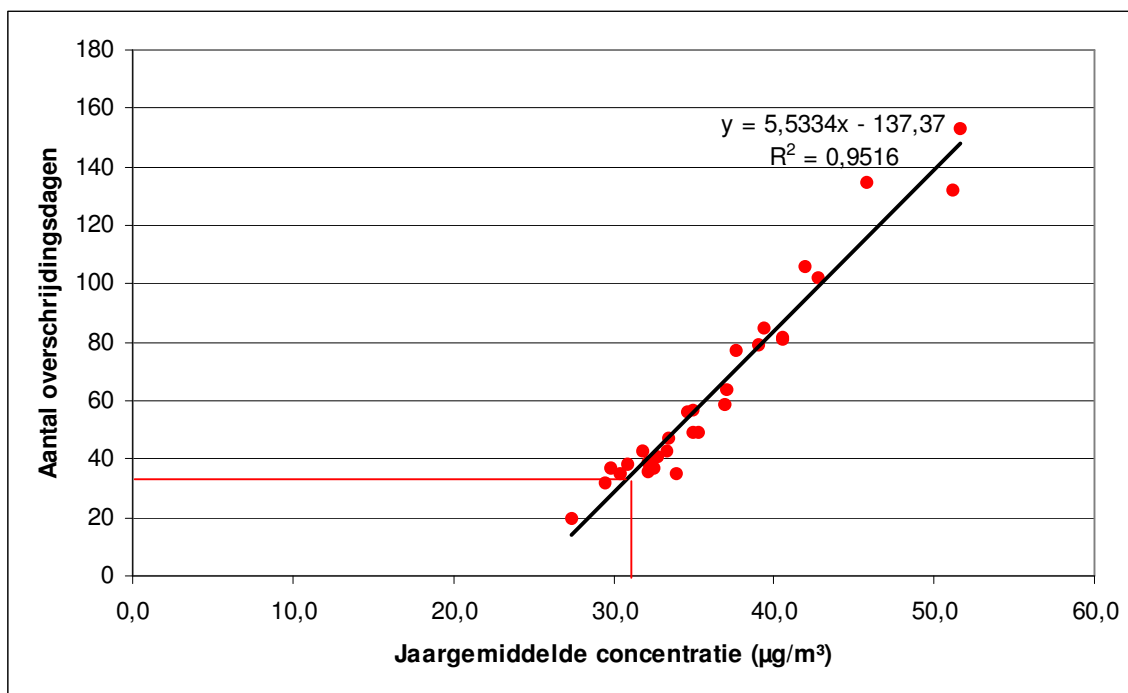
De regionale achtergrond ter hoogte van de meetstations wordt bepaald, zowel voor de huidige toestand als voor 2010 en 2015. Dit gebeurt aan de hand van het BelEUROS-model dat de bijdrage van alle bronnen buiten het afgebakende gebied in de Antwerpse haven rond de verschillende meetstations berekent met een resolutie van 15x15 km². Voor deze berekeningen wordt gebruik gemaakt van ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) meteodata, gegevens voor de menglaaghoogte berekend door IRCEL op basis van ECMWF-gegevens en emissiegegevens van EMEP/CORINAIR voor het basisgrid en bijkomende emissiegegevens van de Vlaamse Emissieinventarissen. De verticale structuur van BelEUROS wordt gerepresenteerd door 4 lagen: grondlaag, menglaag, reservoirlaag en toplaag.

Tabel S3: Bijdrage van de bronnen buiten het gebied tot de jaargemiddelde PM₁₀ concentraties, op basis van BelEUROS.

Station	2003 [µg/m ³]	2010 [µg/m ³]	2015 [µg/m ³]
Antwerpen-Linkeroever (40AL01)	26,1	21,9	19,4
Antwerpen-Luchtbal (42M802)	23,8	20,8	18,8
Boudewijnsluis (40AB01)	25,8	22,7	20,7

Deze achtergrondconcentratie is zoals te verwachten vrij hoog, maar daalt in functie van de tijd door reeds bestaande en geplande wetgeving. De concentratie is tegelijk een onderschatting omdat niet alle bronnen in Europa gekend zijn, zoals natuurlijke bijdragen als zeezout en opgewaaid bodemstof. Deels is dit te wijten aan onvolledige emissiebestanden van (stationaire) puntbronnen, en deels omdat natuurlijke bronnen en diffuse bronnen van op- of verwaaiend stof niet gekend zijn. Hierdoor zal de som van de gemodelleerde achtergrondconcentratie met de gemodelleerde lokale bijdrage aan de jaargemiddelde concentratie niet gelijk zijn aan de gemeten concentraties ter hoogte van de drie meetstations.

De toekomstige situatie wordt geanalyseerd, rekening houdend met een verlaagde achtergrond, de reeds bestaande wetgeving, en het verschil tussen gemeten concentraties en gemodelleerde concentraties vanwege de ongekende bronnen. Voor het bepalen van de reducties die nodig zijn om de grenswaarden voor PM₁₀ in 2015 te respecteren zijn we uitgegaan van de correlatie tussen het aantal overschrijdingen van de daggemiddelde PM₁₀ concentraties van 50 µg/m³ en de jaargemiddelde PM₁₀ concentraties. De grenswaarde van 35 overschrijdingsdagen komt dan overeen met een jaargemiddelde PM₁₀ concentratie van 31,2 µg/m³, zie onderstaande figuur.



Figuur S1: Verband tussen aantal overschrijdingsdagen (PM_{10} , $24h > 50 \mu g/m^3$) en de jaargemiddelde PM_{10} concentraties voor alle PM_{10} stations in België in het kalenderjaar 2002 (bron data: IRCEL).

Deze daggrenswaarde is beduidend strenger dan de jaargrenswaarde van $40 \mu g/m^3$ en is dus de limiterende van de twee. Daarom hebben we ons voor 2015 gebaseerd op deze daggrenswaarde.

Tabel S4: Samenvatting van de modelresultaten en analyse van de concentraties en overschrijdingen in 2010 en 2015.

	Jaargemiddelde concentraties in $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$			
	april 2004 t.e.m. maart 2005	2010	2015 CLE ⁽⁴⁾	Norm
Meetstation Luchtbal				
Achtergrond: buitenland + Vlaanderen	23,8	20,8	18,8	18,8
Puntbronnen: petrochemie ⁽¹⁾	0,25	0,1	0,1	0,1
Puntbronnen: andere	0,04	0,04	0,04	0,04
Diffuse bronnen	3,9	3,9	3,9	2,4 ⁽²⁾
Wegverkeer ⁽³⁾	2,3	1,3	0,7	0,7
Zeeschepen	0,5	0,5	0,5	0,5
Verwarming en ander transport	2,7	2,7	2,7	2,7
Andere bronnen (o.a. natuurlijke)	5,6	5,6	5,6	5,6
TOTAAL (= gemeten concentratie)	39,0	34,9	32,3	30,9
Aantal dagen berekende overschrijdingen	69	51	41	35
Aantal dagen gemeten overschrijdingen	66			
Meetstation Linkeroever				
Achtergrond: buitenland + Vlaanderen	26,1	21,9	19,4	19,4
Puntbronnen - petrochemie ⁽¹⁾	0,4	0,3	0,3	0,3
Puntbronnen - andere	0,06	0,06	0,06	0,06
Diffuse bronnen	2,3	2,3	2,3	2,3
Wegverkeer ⁽³⁾	0,8	0,4	0,2	0,2
Zeeschepen	0,7	0,7	0,7	0,7
Verwarming en ander transport	3,1	3,1	3,1	3,1
Andere bronnen (o.a. natuurlijke)	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
TOTAAL (= gemeten concentratie)	32,0	27,3	24,6	24,6
Aantal dagen berekende overschrijdingen	39	20	8	8,3
Aantal dagen gemeten overschrijdingen	32			
Meetstation Boudewijnsdijk				
Achtergrond: buitenland + Vlaanderen	25,8	22,7	20,7	20,7
Puntbronnen - petrochemie ⁽¹⁾	0,8	0,5	0,5	0,5
Puntbronnen - andere	0,2	0,2	0,2	0,2
Diffuse bronnen	2,7	2,7	2,7	2,1 ⁽²⁾
Wegverkeer ⁽³⁾	0,2	0,1	0,1	0,1
Zeeschepen	2,1	2,1	2,1	2,1
Verwarming en ander transport	1,7	1,7	1,7	1,7
Andere bronnen (o.a. natuurlijke)	3,5	3,5	3,5	3,5
TOTAAL (= gemeten concentratie)	37,0	33,5	31,4	30,8
Aantal dagen berekende overschrijdingen	60	46	37	34
Aantal dagen gemeten overschrijdingen	55			

⁽¹⁾ voor de raffinaderijen werd een emissiereductie van 40 % verondersteld voor 2010 en 2015 (NEC)

⁽²⁾ voor de diffuse bronnen bij Antwerpen Luchtbal en Boudewijnsdijk wordt een reductie van 37 % respectievelijk 24 % vooropgesteld om aan de norm te voldoen tegen 2015

⁽³⁾ voor het wegverkeer wordt een emissiereductie van 44% verondersteld in 2010 ten opzichte van 2003 en van 68 % 2015 ten opzichte van 2003.

⁽⁴⁾ Current Legislation

Vaststellingen:

1. Mits een reductie van ongeveer 40% van de diffuse emissies kan de norm in 2015 gehaald worden voor het meetstation Antwerpen Luchtbal. Voor 2010 is er voor Antwerpen Luchtbal nog een bijkomende zware reductie vereist om de norm te behalen.

In theorie komt dit neer op een reductie van alle diffuse bronnen in de omgeving met 100%, maar dit is uiteraard niet realistisch. Ongeveer 1/7 van de bijdragen is bovendien nog niet verklaard. Bijkomend onderzoek naar de juiste impact van zeeschepen (zoals een betere afschatting van de emissies van de hulpmotoren t.g.v. het laden en lossen) en mogelijke reducties en het effect van reductiemaatregelen voor stof bij op- en overslagbedrijven is hier op zijn plaats.

2. De totale gemodelleerde bijdrage wordt voor Antwerpen Linkeroever overschat, jaargemiddeld met $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de periode april 2004 t.e.m. maart 2005. Omdat Antwerpen Linkeroever minder een probleem stelt, geeft dit geen aanleiding tot een vertekend beeld van de noodzakelijke reducties in 2010 of 2015.
3. Mits een reductie van ongeveer 25% op de diffuse bronnen die het meetstation Boudewijnsdijk beïnvloeden kan de norm in 2015 gehaald worden. Voor 2010 stelt er zich echter een probleem. Om de norm te behalen komt dit in theorie, zoals bij het meetstation Antwerpen Luchtbal, neer op een reductie van alle gekende diffuse bronnen met 100%. Dit is uiteraard niet realistisch. In zuidwestelijke richting van het meetstation Boudewijnsdijk is de locatie van een belangrijke diffuse bron nog niet gevonden, waardoor deze bron niet is opgenomen. Aangezien de bijdrage aan de pollutierisico's uit zuidwestelijke richting vrij belangrijk is moet er eerst werk gemaakt worden van het traceren van deze bron.

Opmerking: een verschil van enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kan reeds belangrijk zijn voor het behalen van de normen. Het is echter ook zo dat om de immissieconcentratie met $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ te verlagen er soms veel inspanningen op gebied van emissies dienen te gebeuren. In andere "hot spot" gebieden wordt ook vastgesteld dat de lokale invloed beperkt is tot enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

De resultaten van een bijkomende meetcampagne in de zomer van 2006 bevestigen dat een aantal bronnen typisch bijdragen tot de PM_{10} concentraties in de meetstations. De bovenstaande resultaten zijn plausibel, zo bevestigen deze metingen gedurende de zomer van 2006.

Tegelijk worden ook een aantal nieuwe bronnen gedetecteerd. Met de beperkte meetcampagne is het echter niet mogelijk om de stofemissie van deze nieuwe bronnen ook te bepalen.

De studie bevestigt een aantal vaststellingen uit de eerste hot-spot studie (Mensink et al., 2006), en uit de studie over diffuse stofemissies (Torfs et al., 2006). In industriegebieden zijn vooral de lokale diffuse emissies afkomstig van op- en overslagactiviteiten van uiteenlopende bedrijven (zand, cement, graan, ertsen,...) een belangrijke factor in de PM_{10} concentraties die in meetstations in de nabijheid worden gemeten. Aan de hand van lange tijdreeksen van metingen kunnen deze diffuse emissies bepaald worden. Bijkomende metingen tonen aan dat er bovendien nog een aantal bronnen buiten het 'gezichtsveld' van de meetstations vallen, die daardoor niet gekwantificeerd kunnen worden. Het is dus belangrijk om maatregelen op sectorieel niveau te nemen, en niet enkel maatregelen op te leggen aan de bedrijven die het dichtst bij de meetstations liggen. Deze studie toont ook aan dat verkeer een vrij grote bijdrage levert aan de lokale PM_{10} concentratie, met name in die stations die zowel door lokale industrie beïnvloed worden, als in de buurt van belangrijke verkeersassen liggen.

Voor Zwijndrecht is een beperktere analyse gemaakt op basis van de pollutiemoos van het meetstation. Hieruit blijkt dat een belangrijke verkeersbijdrage in zuidelijke en oostelijke richting een rol speelt, maar dat in westelijke en zuidwestelijke richting de PM_{10} bijdrage niet alleen door een ochtendspits/avondspits verkeerspatroon kan worden verklaard. Aangezien bijkomende metingen op dit ogenblik door de VMM worden uitgevoerd kan dit in de nabije toekomst uitgeklaard worden.

Aanbevelingen en prioriteiten voor verder onderzoek:

1. Het begroten van de emissies van de baggerboten, de sleepboten en de binnenvaart.
2. De locatie van sommige (on)bekende diffuse bronnen beter in kaart brengen. De extra meetcampagne in juli en augustus 2006 illustreert het complexe PM_{10} verhaal: meetstations observeren slechts die bronnen binnen een straal van ongeveer 2 km. Daarbuiten liggen nog veel onbekende bronnen van PM_{10} . Door de extra meetcampagne in juli-augustus is er geen bevestiging gekomen van de emissies bij verschillende bedrijven. Wel is een vermoedelijke bron nabij het Leopolddok en het Albertdok gevonden.
Een aantal onbekende bronnen dienen nog geïdentificeerd te worden (ligging en grootte). De meetwaarden bij de Boudewijnsdijk bv. tonen een belangrijke aanwaaier van PM_{10} bij zuidwestelijke winden. Met de gekende bronnen wordt er veel minder berekend. Bijkomende metingen, bijvoorbeeld vlak ten zuidwesten van de Van Cauwelaertsluis, zouden toelaten om de oorsprong van dit extra PM_{10} aan een bepaalde bron te koppelen. (Extra scheepvaartemissies bij de sluisen? Niet geïnventariseerde PM_{10} lozingen? Minimale opwaaier van stof van bodem/vegetatie ?)
3. Bedrijven aanzetten om in hun IMJV hun diffuse stofemissies en genomen maatregelen beter te rapporteren. De meeste bedrijven met potentiële diffuse stofemissies, met name vooral de op- en overslagbedrijven, moeten echter geen IMJV opstellen, hierdoor gaat belangrijke informatie omtrent grootte-orde van diffuse emissies en reeds genomen maatregelen verloren.
4. De op- en overslagactiviteiten strikter controleren om diffuse stofemissies te beperken. Niet enkel het bestaan van de nodige procedures voor op- en overslag op papier is belangrijk, nog belangrijker is dat ze in de praktijk correct worden uitgevoerd.
5. Het onderzoeken van discrepanties bij diffuse emissies gerapporteerd in het IMJV en berekend tijdens de modellering.
6. Het nagaan van emissiereducerende maatregelen (welke en sinds wanneer) bij op- en overslagbedrijven.

1 INLEIDING EN DOELSTELLING

1.1 Algemeen

Op internationaal niveau komt het beleid omtrent fijn stof (PM_{10}) tot stand omwille van het grensoverschrijdende karakter, de nadelige gezondheidseffecten en de milieugevaarlijke aard van de deeltjes.

De Europese Unie wijdde aan fijn stof een richtlijn (1999/30/EG), onderdeel van de kaderrichtlijn luchtkwaliteit (1996/62/EG). De dochterrichtlijn 1999/30/EG voorziet luchtkwaliteitsnormen voor de bescherming van de gezondheid van de mens voor, onder andere, fijn stof (PM_{10}).

De kaderrichtlijn luchtkwaliteit bepaalt dat bij overschrijden van de grenswaarden, gesommeerd met de overschrijdingsmarge, die jaarlijks lineair afneemt tot 0% in het jaar van inwerkingtreding van de grenswaarde, er door de lidstaten plannen en programma's dienen opgesteld en uitgevoerd te worden om te verzekeren dat de grenswaarden tegen de vooropgestelde streefdatum gerespecteerd zullen worden. De plannen en programma's dienen opgesteld en overgemaakt te worden aan de Europese Commissie uiterlijk twee jaar na het einde van het jaar waarin de niveaus werden waargenomen. De inhoud van de richtlijn werd integraal opgenomen in titel 2 van het Vlarem (afdeling 2.5.3.).

In de haven van Antwerpen is in 2003 de grenswaarde op het meetstation 42M802 (Antwerpen Luchtbal), vermeerderd met de toen geldende overschrijdingsmarge, overschreden zowel voor de daggemiddelden als voor het jaargemiddelde PM_{10} niveau. Voor deze locatie moet dus een plan en programma opgesteld worden, conform de Europese richtlijnen en Vlarem, en dit uiterlijk tegen december 2005.

Er bestaan geen emissiedoelstellingen noch normen voor PM_{10} . In het Europese CAFE (Clean Air for Europe) programma, ter ondersteuning van de Europese Commissie bij de bestrijding van luchtverontreiniging, en in het kader van de UN-ECE Conventie van Genève voor grensoverschrijdende luchtverontreiniging (LRTAP) wordt echter nagegaan welke emissiedoelstellingen in Europa haalbaar zijn. Ondertussen zal de uitvoering van de Europese NEC-richtlijn voor SO_2 en NO_x een gunstig effect hebben op de secundaire PM_{10} concentraties (2001/81/EG). Bij het opstellen van een saneringsplan voor deze locatie, moet dus rekening gehouden worden met de verwachte daling in emissies van precursoren van PM_{10} .

Deze studie geeft de wetenschappelijke onderbouwing van het op te stellen plan en programma voor de locatie 42M802. Daarnaast wordt aandacht besteed aan de meetlocatie 40AL01 op de Antwerpse Linkeroever, waar sinds midden 2003 gemeten wordt en aan de meetlocatie 40AB01 aan de Boudewijnslus waar sinds begin 2004 gemeten wordt. Hierdoor wordt het studiegebied hoofdzakelijk bepaald door het zuidoosten van de Antwerpse Haven, inclusief de belangrijkste verkeersaders, industriegebieden en woonkernen.

1.2 Over de begrippen "diffuus" en "fugitief"

In de studie worden de begrippen *diffuus* en *fugitief* gebruikt om de emissies te karakteriseren. *Diffuus* heeft betrekking op de locatie van de emissies: die is verspreid. Als tegenhanger hiervan gebruiken we de term "puntbron". *Fugitief* betekent vluchtend of ontvluchtend en zegt iets over de aard van de emissies. Bedoeld wordt dat ze *vluchtend* zijn. Dit laatste begrip is duidelijker bij bijvoorbeeld organische stoffen waar fugatieve emissies deze zijn die via lekken aan afdichtingen ontstaan. Bij stofemissies is dit onderscheid niet strikt en worden beide termen door elkaar gebruikt, temeer omdat in Engelstalige teksten steeds van *fugitive emissions* wordt gesproken.

Onder diffuse emissies verstaan we bijgevolg emissies die niet via een specifieke afzuiging of puntlozing naar de lucht worden afgevoerd. Opwaaiend stof bij transport op bedrijventerreinen, stofproductie bij op- en overslag activiteiten zijn enkele voorbeelden. Het begrip diffuse emissies is niet te verwarren met diffuse bronnen. Dit laatste gaat over activiteiten die niet aan een locatie kunnen toegekend worden of die over een groot verspreid oppervlak optreden. Emissies van wegverkeer, of de collectief geregistreerde emissies van kleine industriële bedrijven op verschillende locaties vallen onder de diffuse bronnen. Nochtans worden de termen wel eens door elkaar gebruikt, en wordt de term diffuse bron soms gebruikt als het gaat over bron van fugatieve (diffuse) emissies.

1.3 Doelstelling

De opdracht heeft tot doel de volgende aspecten uit te werken:

- Identificatie van de mogelijke stofbronnen (antropogene, biogene, geleide en diffuse) die bijdragen tot de in 2003 vastgestelde overschrijdingen in het meetstation Antwerpen Luchtbal en tot de concentraties aan PM_{10} in het meetstation Antwerpen Linkeroever;
- Bepaling van de PM_{10} - en, waar mogelijk $PM_{2,5}$ -, emissie per bron;
- Inschatting van de lokale, Vlaamse en buitenlandse bijdrage op deze locaties, zowel voor de primaire PM_{10} emissies als voor de precursoren van secundair gevormd PM_{10} ;
- Voorstellen van PM_{10} emissiereductiemaatregelen, met een evaluatie van de kosten ervan;
- Doorrekenen van de maatregelen naar het immissieniveau, rekening houdend met de uitvoering van de NEC-richtlijn binnen en buiten Vlaanderen;
- Voorstellen en evalueren van bijkomende maatregelen indien na doorrekening blijkt dat de grenswaarden niet behaald zullen worden.

Naast het wetenschappelijk onderbouwen van de op te stellen plannen en programma's met het oog op de bescherming van de bevolking, kunnen de projectresultaten ook gebruikt worden ter voorbereiding van internationale onderhandelingsronden voor de emissiereducties van fijn stof. Anderzijds kunnen de resultaten ook aangewend worden om sectorale emissiereductieprogramma's in het kader van de internationale verplichtingen te definiëren. Deze studie vormt een schakel in het Vlaamse fijn stofbeleid.

2 METHODOLOGIE EN GEGEVENS

2.1 Methodologie

Om de mogelijke stofbronnen te identificeren die bijdragen tot de overschrijdingen van de PM_{10} grenswaarden van 3 meetstations in de Antwerpse Haven, wordt een emissie-inventaris opgesteld. De bronnen-inventaris (paragraaf 2.3) bestaat deels uit gekende bronnen, zoals verkeer (uitlaatemissies volgens het MIMOSA-model), gebouwenverwarming (verdeeld over een jaar volgens de graaddagenafhankelijkheid), zeeschepen (volgens het MOPSEA model, aangevuld met de emissies van de hulpmotoren t.g.v. het laden en lossen) en de geleide emissies van de industrie (uit EIVR (Emissie-inventaris lucht) en integrale milieujaarverslagen). Daarnaast zijn er in de haven van Antwerpen een aantal bronnen die men niet kent. Daarvan zijn er sommige bronnen die momenteel niet beschouwd worden, zoals de niet-uitlaatemissies van het verkeer, de emissies van de baggerboten, sleepboten en binnenscheepvaart, en de geleide industriële emissies die onder de rapporteringdrempel van Vlare II liggen. Een andere groep onbekende bronnen zijn de diffuse emissies die bij de opslag- en overslag activiteiten ontstaan. In deze studie wordt in eerste instantie via omgekeerde modellering geprobeerd een schatting te maken van de ligging en grootte van deze laatste soort emissies in de Antwerpse haven.

Een belangrijk kenmerk van deze diffuse emissies is, dat ze niet continu plaatsgrijpen. Een schip met een verwaaibare vracht wordt gedurende een aantal uren gelost, een deel van de lading verwaait direct, een ander deel valt op de kaai, waar het door rondrijdende voertuigen later in de lucht wordt gebracht, en dan is er een tijdje geen materiaal dat verwaait. Het beste dat men kan reproduceren is een schatting van de gemiddelde hoeveelheid materiaal die op een bepaalde plaats verwaait. De tijdreeks van de berekende concentraties zal dus piekwaarden van de gemeten tijdreeks missen, zal hogere minima dan de gemeten tijdreeks bevatten, en zal een aantal pieken vertonen die in de gemeten tijdreeks ontbreken.

De bepaling van de fugatieve bronnen (ligging en bronsterkte) is een iteratief proces, waarbij men probeert een bronneninventaris op te bouwen, die, wanneer deze in een verspreidingsmodel wordt gebruikt, tijdreeksen van berekende concentraties geeft die in zo veel mogelijk opzichten (tijdreeks, pollutierozen, cumulatieve frequentieverdeling) overeenstemt met de beschikbare meetwaarden.

De tijdreeksen van de gemeten PM_{10} -waarden zijn opgesplitst in een tijdreeks met achtergrond PM_{10} concentraties en in een tijdreeks met de PM_{10} concentraties veroorzaakt door lokale bronnen. Het is deze laatste tijdreeks, die we zo goed mogelijk proberen te reproduceren.

Het uitgangsprincipe voor de bepaling van deze diffuse bronnen via omgekeerde modellering is eenvoudig, zie ook bijlage 3 voor bijkomende informatie.

- Aan elke potentiële bronlocatie kent men een eenheidsbronsterkte toe en berekent men de tijdreeks van de halfuurgemiddelde concentraties C_u die deze éénheidsbron veroorzaakt in elk meetpunt.

- Ook berekent men, voor elk meetpunt, de tijdreeks van de halfuurgemiddelde concentraties C_k die veroorzaakt worden door alle gekende bronnen.
- Uit de tijdreeksen van halfuurgemiddelde concentraties worden tijdreeksen van daggemiddelde concentraties afgeleid
- Dan maakt men een stelsel van vergelijkingen, bestaande uit één vergelijking per dag en per meetpunt, van de vorm:

$$C_{mj} = C_{kj} + \sum_N x_u C_{uj}$$
 met
 - subscript j: verwijst naar de dag,
 - C_{mj} : de gemeten concentratie op dag j
 - C_{kj} : de concentratie op dag j van alle gekende bronnen
 - $\sum_N$: de sommatie over N potentiële bronlocaties (teller u = 1 t.e.m. N)
 - C_{uj} : de concentratie op dag j van de éénheidsbron u
 - x_u : de te bepalen correctiefactor voor de éénheidsbron u
- Indien de periode P dagen omvat, en men M meetpunten en N potentiële bronlocaties heeft, dan geeft dit een stelsel van $P \times M$ vergelijkingen met N onbekenden x_u .
- Dit stelsel kan opgelost worden met een regressietechniek¹. Voor het probleem van bronsterktebepaling is de methode van Householder erg praktisch, omdat deze methode ook werkt in het geval van co-lineaire variabelen, en ook kan toegepast worden indien er in het stelsel meer onbekenden zijn dan vergelijkingen.

De aldus bekomen oplossing - of verzameling bronsterkten- is weliswaar wiskundig optimaal, maar is in de praktijk niet altijd realistisch. Men moet de praktische bruikbaarheid van de oplossing verifiëren. Dit gebeurt door deze bronnen in het luchtkwaliteitsmodel te steken, de tijdreeksen te berekenen die door de geschatte emissies van deze bronnen veroorzaakt worden, en dan na te gaan in hoeverre de kenmerken van deze berekende tijdreeksen overeenstemmen met die van de gemeten tijdreeksen.

Dit is vaak een iteratief proces. Meestal bemerkt men een aantal punten, waarop de berekende tijdreeksen ernstig afwijken van de gemeten tijdreeksen. Men kan dan ofwel de oplossing manueel aanpassen (individuele groepen bronnen sterker of zwakker maken^{2,3}), bronnen uit het stelsel verwijderen⁴, of een aantal dagen uit het stelsel⁵ verwijderen. Ook

¹ Men mag de regressie niet doen op halfuurgemiddelde concentraties. De kans dat, tijdens een half uur, de transportwind tussen een bron en een meetpunt dezelfde is als de windrichting, die ergens in de omgeving gemeten is, is erg klein. (De windrichting verandert al met de hoogte waarop ze gemeten wordt.)

² Afhankelijk van de tijdreeksdelen die dominant zijn in de som van de kwadraten van de verschillen tussen observatie en voorspelling, kunnen de brontermen 20-40 % te hoog of te laag zijn om het periodegemiddelde te reproduceren.

³ Dit is het geval indien regressie meer belang hecht aan een goede overeenstemming tussen gemeten en berekende tijdreeks in meetpunt K, ten koste van een aanzienlijk onder- of overschatting van de tijdreeks voor een andere meetpunt.

⁴ Indien twee (of meer) potentiële bronnen zo dicht bij elkaar liggen dat regressie geen onderscheid kan maken tussen de bijdragen van deze bronnen op de gemeten impact, dan probeert regressie de gemeten tijdreeks optimaal te benaderen door aan de ene bron een zeer grote positieve bronterm toe te kennen en aan de andere bron een bijna even grote negatieve bronsterkte. Het optreden van zulke negatieve brontermen in de oplossing betekent dat men een grotere ruimtelijke resolutie vraagt dan uit de gegevens kan afgeleid worden. Men moet dus één van beide bronnen uit de regressie verwijderen en bij de interpretatie van de oplossing er rekening mee houden dat de overblijvende bronterm eigenlijk staat voor de gemeenschappelijke uitstoot van de twee bronnen samen.

kan men de tijdsafhankelijkheid van de bronnen (dag/nacht regime, werkdag/weekend) en de windsnelheidsafhankelijkheid (wegwaai evenredig met een zekere macht van de windsnelheid, vanaf een bepaalde minimum windsnelheid) wijzigen⁶. Naast een zo goed mogelijke overeenstemming tussen gemeten en berekende tijdreeksen voor de periode waarover de regressie gebeurde, is het nuttig na te gaan of de verzameling bronnen ook in staat is het verloop van de luchtkwaliteit over een latere periode te reproduceren.

Het resultaat van al deze manipulaties is een stel mogelijke bronnen, waarvan het bestaan in realiteit plausibel (uit plaatsbezoeken e.d.) is, maar waarvan de bronsterkte nog onzeker is.

In deze studie wordt gebruik gemaakt van zo recent mogelijke meetgegevens met degelijke validatiestatus. Voor de meetpunten van de VMM zijn dit de meetwaarden waarvan de statistieken gepubliceerd zijn in het laatste jaarverslag 'Luchtkwaliteit in Vlaanderen', en dat waren, bij aanvang van deze studie, de meetwaarden van het meteorologische jaar 2004-2005. Op deze gegevens is de omgekeerde modellering uitgevoerd. Vervolgens werden de gegevens van de meetcampagne juli-augustus 2006 gebruikt om de ruimtelijke spreiding van de gevonden fugatieve bronnen verder te verfijnen. De locaties voor meetcampagne op zich zijn pas gedefinieerd na een eerste modelberekening en een verkenning ter plaatse om zo optimaal mogelijk bijkomende informatie te genereren.

Naast de lokale bijdrage aan de PM₁₀ concentraties is ook de bijdrage van alle bronnen buiten het gebied in kaart gebracht. Hiervoor wordt het BeEUROS-model gebruikt met een resolutie van 15x15 km² en is een bronnenbestand aangemaakt op basis van Europese emissiedata. Voor deze berekeningen wordt gebruik gemaakt van ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) meteodata, gegevens voor de menglaaghoogte berekend door IRCEL op basis van ECMWF-gegevens en emissiegegevens van EMEP/CORINAIR voor het basisgrid en bijkomende emissiegegevens van de Vlaamse Emissieinventarissen. De verticale structuur van BeEUROS wordt gerepresenteerd door 4 lagen: grondlaag, menglaag, reservoirlaag en toplaag.

Deze bijdrage moet bepaald worden om de toekomstscenario's te kunnen berekenen, en om voor deze toekomstscenario's opnieuw de lokale bijdrage te onderscheiden.

Tot slot wordt voor de toekomstige situatie nagegaan of deze voldoet aan de PM₁₀ grenswaarden, en wordt indien nodig doorgerekend hoeveel reductie er vereist is.

2.2 Afbakening van het gebied

De afbakening van het gebied dient zodanig te gebeuren dat zoveel mogelijk gegarandeerd kan worden dat de oorzaken van de overschrijdingen in de aangehaalde meetstations gevonden kunnen worden. Daarvoor werd in eerste instantie een gebied afgebakend rond volgende meetstations in het Antwerpse havengebied, zie onderstaande tabel.

⁵ In deze studie wordt de hele winterperiode 2004-2005 uit het stelsel verwijderd. Dagen met abnormaal hoge/lage concentraties zijn allicht niet 'representatief' voor de luchtverontreinigingstoestand op het meetpunt; regressietechnieken hechten echter zeer veel belang aan deze extreme waarnemingen (zie verder in deze tekst)

⁶ Men kan zelfs een 'fictieve bron' toevoegen, zoals bij 40AB01, meetpunt Boudewijnsluis, gedaan werd. Deze fictieve bron zorgt ervoor dat de regressie niet probeert de hoge, voorlopig onverklaarbare PM₁₀-waarden bij zuidwestenwind te verklaren door hoge bronsterktes te veronderstellen in aanpalende windsectoren.

Tabel 1: Overzicht van de meetstations gelegen in het afgebakend gebied.

Meet-station	Plaats	Gemeten parameters			Meting meteo (zoals windrichting en -snelheid)
		NO _x	SO ₂	PM ₁₀	
40AL01	Linkeroever			x	
40AB01	Boudewijnsdijk			x	
42M802	Luchtbal (Havannastraat)	x	x	x	x
42R815	Zwijndrecht	x	x	x	
42R821	Beveren Waas	x	x		
42R822	Petroleumkaai (Polderdijkweg)	x	x		
42R830	Doel (Scheldemolenstraat)	x	x		
42R831	Berendrecht (Hoefbladstraat)		x		
40AB02	Berendrecht			x	

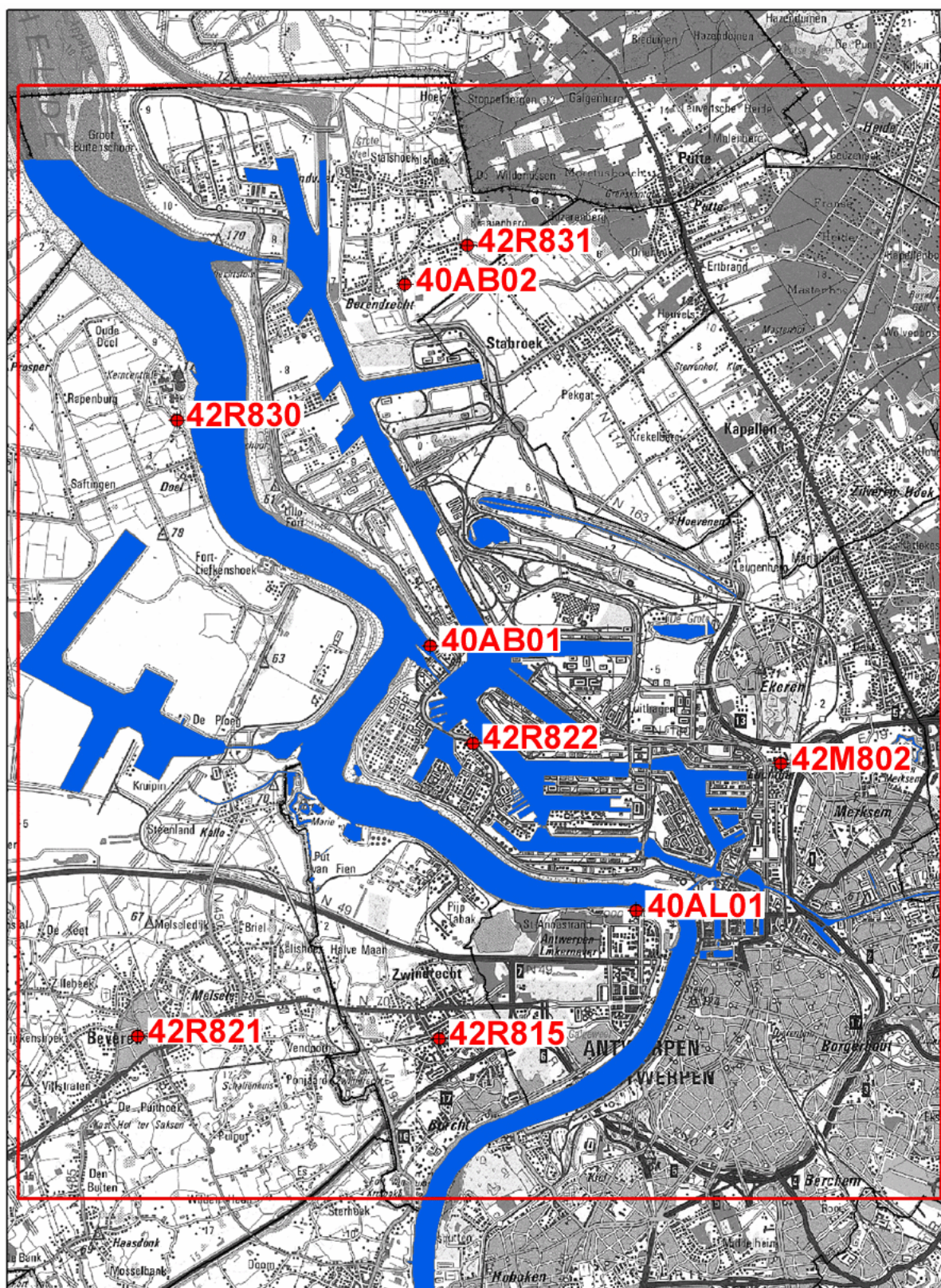
De grenzen van het gebied werden in eerste benadering afgeleid door rond de meetstations een straal van 3 km te voorzien, zie onderstaande figuur (rood kader). Op deze figuur is tevens de ligging van de verschillende meetstations weergegeven. Dit was het initieel studiegebied.

In het verder verloop van deze studie wordt een beperkt gebied uit dit initieel studiegebied in detail bekeken, namelijk het zuidoosten van de haven van Antwerpen.

Er wordt vooral gekeken naar de volgende 3 meetstations, nl:

- het meetstation Luchtbal (42M802) waar in 2003 de in de richtlijn 1999/30/EG bepaalde daggemiddelde en/of jaargemiddelde concentraties PM₁₀, verhoogd met de geldende overschrijdingsmarge, in de omgevingslucht werd overschreden,
- het meetstation Antwerpen Linkeroever (40AL01),
- het meetstation Boudewijnsdijk (40AB01).

Er wordt een straal van 2 km voorzien rond deze meetstations, omdat de vorige studie heeft uitgewezen dat de lokale bijdragen zich in afstand beperken en voor het meetstation slechts "merkbaar" of "voelbaar" zijn tot op een afstand van 1 à 2 km.



Figuur 1: Overzichtskaart meetstations en afgebakend initieel studiegebied (rood kader)

2.3 Emissies

2.3.1 Lokale industriële bronnen

Rond de drie meetstations (Boudewijnsluis, Linkeroever en Luchtbal) werden cirkelvormige gebieden afgebakend van ongeveer 2 km waarin gekeken werd naar de lokale potentiële industriële bronnen voor stof.

Om een beter idee te vormen van de verschillende industriële bronnen werd de haven van Antwerpen verschillende keren bezocht. Daarnaast werden, voor zover mogelijk, milieujaarverslagen en specifieke bedrijfsinformatie (internet, brochures, ..) ingekeken. In een gesprek met CLW⁷ wordt de inventarisatie van de belangrijkste bronnen bevestigd.

Onderstaande 3 figuren geven een overzicht van de potentiële industriële bronnen voor stof per meetstation. Hierbij werd volgende kleurencode gebruikt:

- rode gebieden: (hoofdzakelijk) diffuse bronnen (vnl. op- en overslagbedrijven)
- blauwe gebieden: geleide bronnen (chemie en petrochemie)
- groene gebieden: geen potentiële stofbronnen (vnl. containers, e.d.)

Op deze figuren zijn tevens de respectievelijke pollutierozen na aftrek van de achtergrondconcentraties (periode april 2004 t.e.m. maart 2005) en de correlaties concentratie-windsnelheid weergegeven:

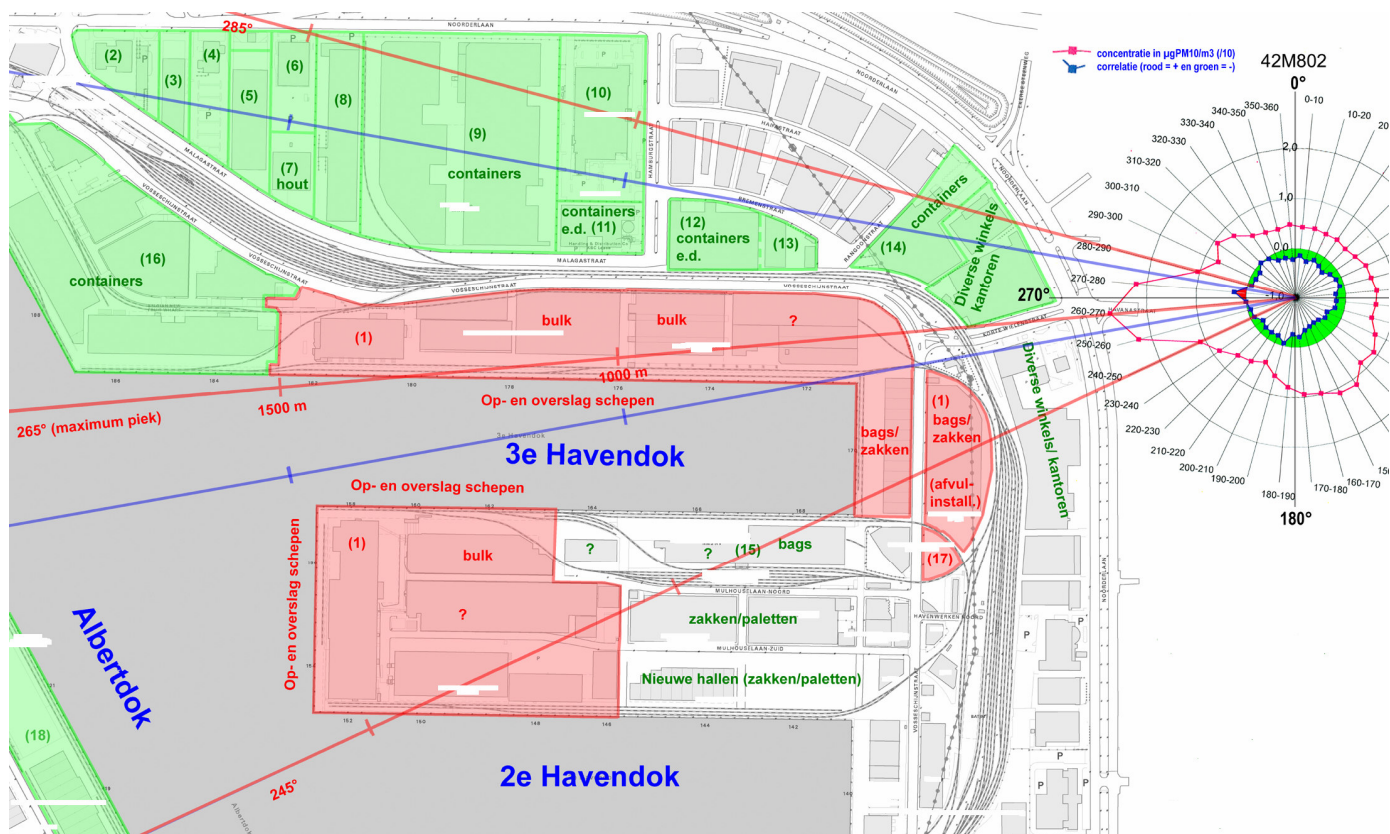
- rood: positieve correlatie concentratie-windsnelheid (windgedreven stof - stuifgevoelige bronnen)
- groen: negatieve correlatie concentratie-windsnelheid

De correlaties concentratie-windsnelheid werden bepaald door voor elke windsector (10°) het effect van de windsnelheid op de concentratie na te gaan.

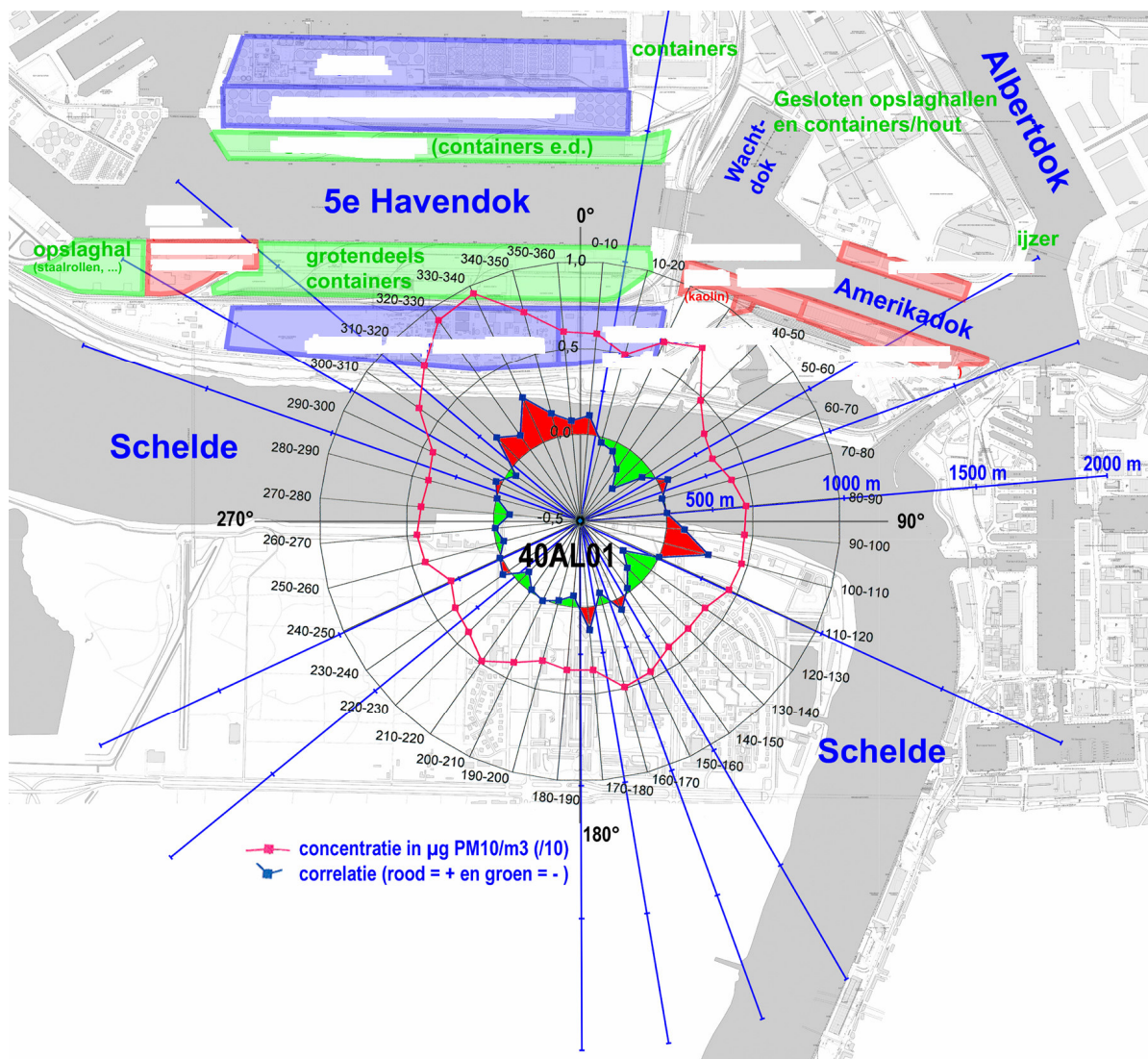
Om de verschillende pollutierozen van de 3 meetstations op te stellen is de meteo van het meetstation 42M802 (Antwerpen-Luchtbal) gebruikt. Hierdoor is het mogelijk dat op de 2 andere meetstations 40AB01 en 40AL01 lokale afwijkingen kunnen voorkomen t.o.v. de gebruikte meteo. De meteogegevens van het Antwerpse Havenbedrijf voor de locatie Boudewijnsluis hebben we niet meer kunnen integreren in het rapport.

De positieve correlatie beschrijft in hoeverre dat hogere PM₁₀ concentraties overeenkomen met hogere windsnelheden

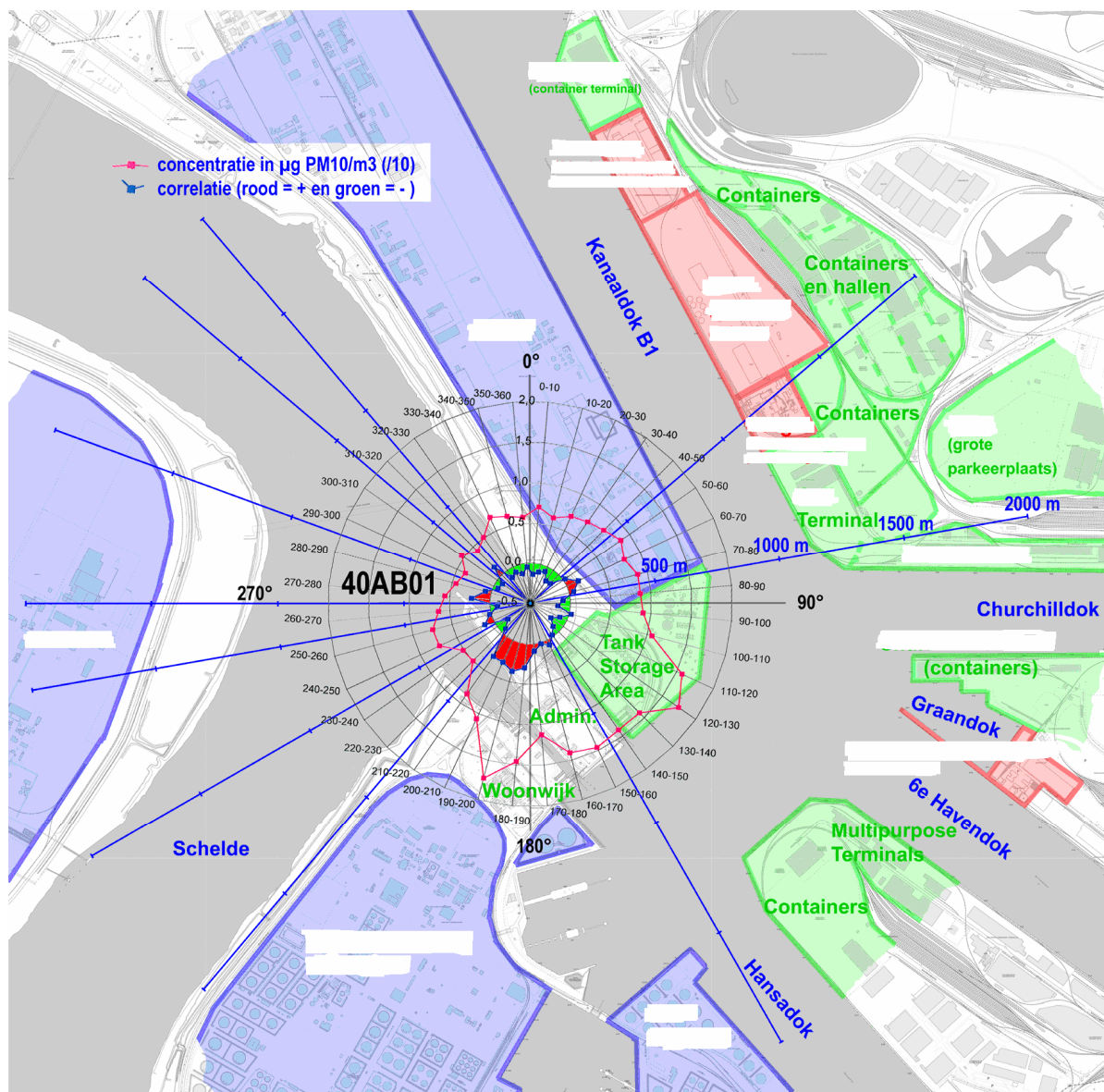
⁷ Centrum tegen Lucht- en Waterverontreiniging (een dienst van de stad Antwerpen) - Dhr. Marc Geukens persoonlijke communicatie, aug. 2006.



Figuur 2: Overzicht industriële bronnen in de nabije omgeving van het meetstation Luchtbal (bron kaart: GHA)



Figuur 3: Overzicht industriële bronnen in de nabije omgeving van het meetstation Linkeroever (bron kaart: GHA)



Figuur 4: Overzicht industriële bronnen in de nabije omgeving van het meetstation Boudewijnsdijk (bron kaart: GHA)

2.3.1.1 Puntbronnen

De emissies van de puntbronnen in de nabijheid van de meetpunten werden bekomen van IMJV, deze waarden werden voor de verdere modellering in EMIAD gebruikt voor de periode van april 2004 t.e.m. maart 2005.

In het algemeen veranderen de emissies van stationaire puntbronnen niet sterk over de verschillende jaren. Het is daarom plausibel om emissies van 2003 te combineren met recentere gegevens. Enkel voor die bronnen waar grote afwijkingen (emissiereducties) zijn vastgesteld, hebben we de berekende emissies uit 2003 geactualiseerd. Er werden ook puntbronnen toegevoegd die niet in de nabije omgeving van de meetstations gelegen zijn.

De PM₁₀ gegevens per emissiepunt werden voor 2003 berekend uitgaande van volgende beschikbare gegevens:

- de meest actuele BEMAS bestanden van de VMM voor TSP per emissiepunt (jaar 2001)
- de kernset uit de EIVR (Emissie-Inventaris Vlaamse Regio) van de VMM waar de totale TSP emissie per bedrijf kan teruggevonden worden (jaar 2003)

De kernset van de totale TSP emissie per bedrijf (jaar 2003) werd door VITO omgerekend naar de totale PM₁₀ emissie per bedrijf door gebruik te maken van de fracties PM₁₀ per sector vermeld in de EIVR van de VMM. De bekomen totale PM₁₀ emissies per bedrijf (jaar 2003) werden vervolgens verder opgeplitst per emissiepunt in dezelfde verhoudingen als de gerapporteerde TSP emissies per emissiepunt uit de BEMAS bestanden (jaar 2001).

Waar mogelijk relevant werden deze berekende PM₁₀ emissies per emissiepunt bijgestuurd met recentere gegevens uit de IMJV van 2004 en 2005. De gegevens in de IMJV zijn gerapporteerd in TSP, deze werden voor de bijgestuurde bedrijven gecorrigeerd naar PM₁₀ door gebruik te maken van de fracties PM₁₀ uit de EIVR van de VMM. Opmerking: deze PM₁₀ fracties bedragen voor de procesemissies van Total Raffinaderij Antwerpen en Esso Belgium 70 % PM₁₀; en voor de stookemissies van Total Raffinaderij Antwerpen 82 % PM₁₀ en van Esso Belgium 97 % PM₁₀.

De belangrijkste wijzigingen in emissies, met mogelijk een belangrijke impact voor de modelberekeningen, voor de periode april 2004 t.e.m. maart 2005 ten opzichte van de gebruikte emissie-inventaris voor 2003 is te vinden bij volgende bedrijven:

- Total Raffinaderij Antwerpen, waar de stofemissies met 61 % afnamen (bron IMJV: van 960 ton TSP/jaar in 2004 naar 373 ton TSP/jaar in 2005)
- Esso Belgium met een reductie van 34% (bron IMJV: van 644 ton TSP/jaar in 2004 naar 428 ton TSP/jaar voor 2005).

Dit is een gevolg van de ingebruikname van elektrofilters om te voldoen aan de nieuwe emissiegrenswaarde van 50 mg/Nm³ (in plaats van 300 mg/Nm³) voor de kraakinstallatie die vanaf 1 januari 2005 van kracht werd.

2.3.1.2 Diffuse bronnen

De diffuse stofbronnen in de nabije omgeving van de meetstations bestaan vooral uit op- en overslagbedrijven. Deze bedrijven hebben in het algemeen geen milieujarverslagen en zeker geen schattingen van mogelijke diffuse stofemissies.

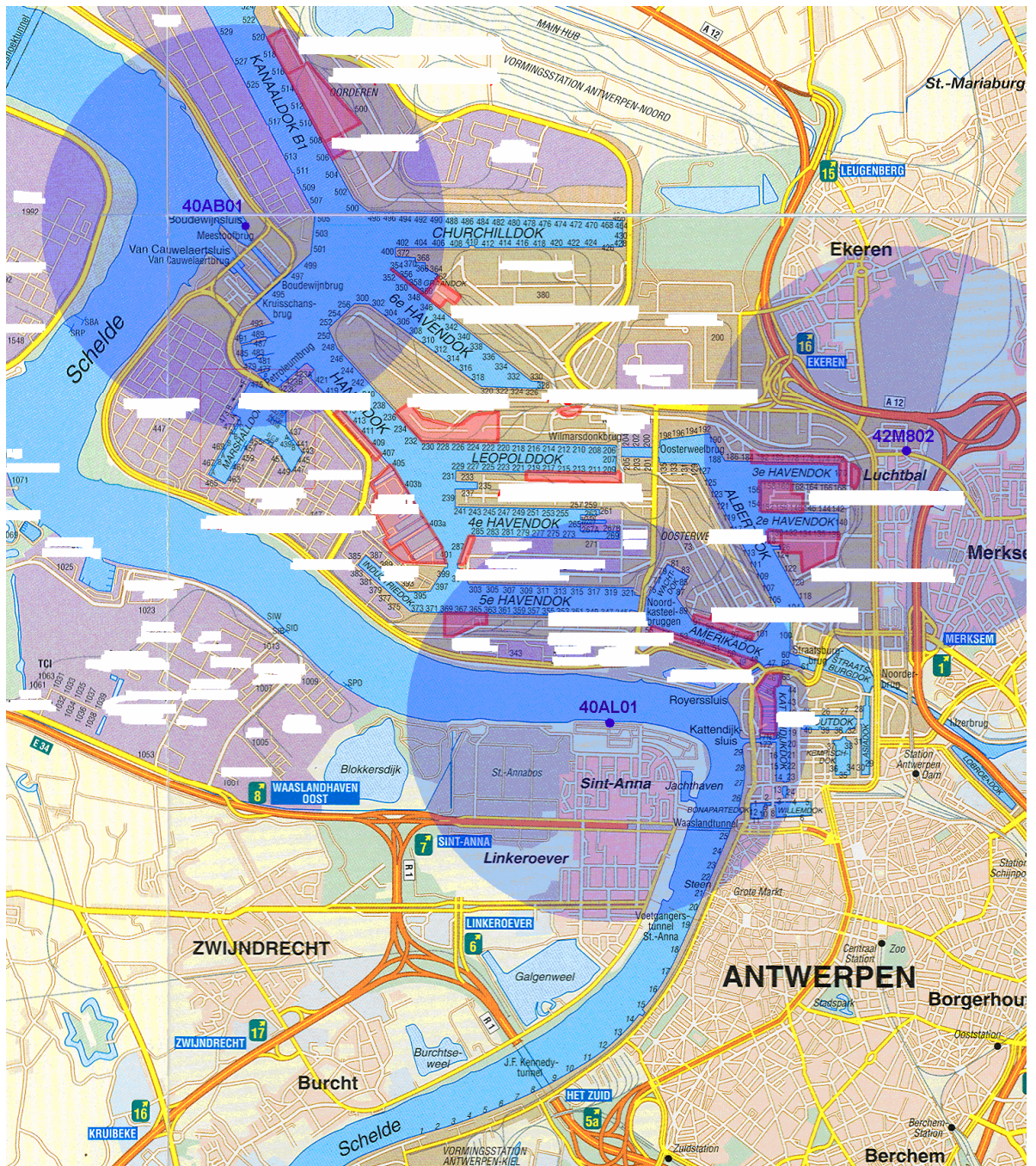
Uit de havenbezoeken werd een beeld bekomen van de mogelijke locaties van enkele diffuse bronnen. In het algemeen is het grootste gedeelte van de diffuse stofemissies te verwachten bij de overslagactiviteiten aan de kaaien. De meeste bedrijven beschikken over opslaghallen waar echter relatief weinig diffuse stofemissies t.g.v. manipulatie van de grondstoffen in de hallen te verwachten zijn.

Slechts twee bedrijven (nabij Boudewijnsluis) beschikken over onbedekte opslaghoppen.

Naast de onmiddellijke omgeving van de meetstations werd ook in de wat verder afgelegen gebieden tussen de meetstations gezocht naar diffuse bronnen. Deze bronnen werden ook mee in de modellering opgenomen.

Op basis van informatie van CLW werd nog twee bedrijven (bij Hansadok Zuid) opgenomen die buiten de onmiddellijke omgeving (1,5 à 2 km) van de meetstations liggen.

Onderstaande figuur geeft de ligging weer van de mogelijke diffuse bronnen. De blauwe gebieden rondom de meetstations hebben een straal van 2000 m. De locaties diffuse bronnen staan in het rood weergegeven.



Figuur 5: Ligging van mogelijke diffuse bronnen rondom de 3 meetstations (blauwe gebieden rondom meetstations hebben een straal van 2000 m) (bron kaart: De Lloyd NV - 2004)

2.3.2 Lokale verkeersbronnen

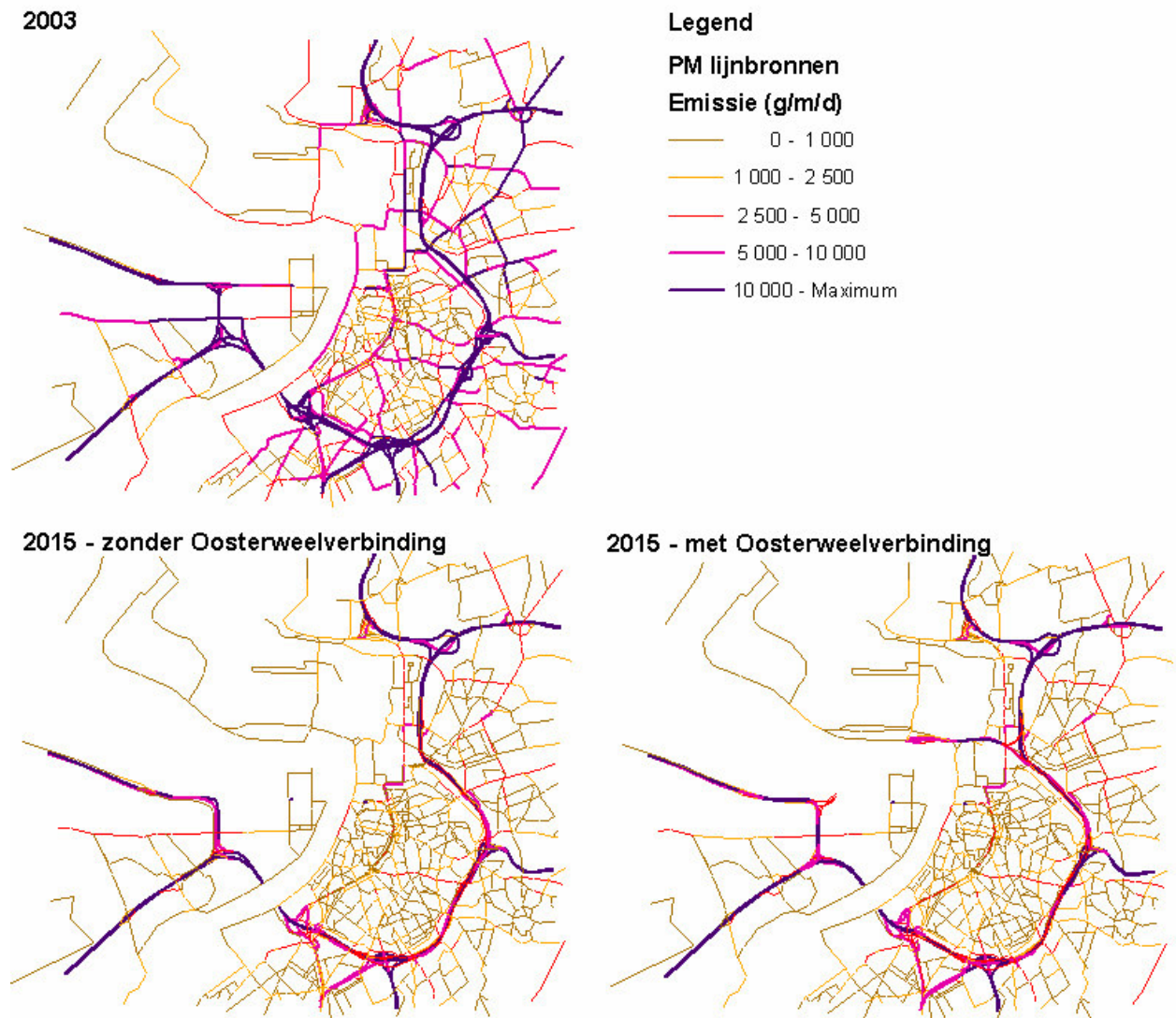
2.3.2.1 Wegverkeer

Basisgegevens voor de huidige en toekomstige (2015) verkeersafwikkeling in een gebied rondom Antwerpen zijn afkomstig van het studiebureau Tritel [ref. Verbeeck L. et al., 2006] en zijn consistent met andere studies, zoals deze over de toekomstige Oosterweelverbinding. Voor 2015 is voor het scenario met Oosterweelverbinding gekozen. De emissieberekeningen werden vervolgens met het model MIMOSA 3 uitgevoerd, zie Tabel 2. Het model kent 5 wegtypes. Het wegtype 3 (provinciale wegen) komt niet voor in het beschouwde gebied en is in de tabel weggelaten.

Tabel 2: Rekenresultaat volgens het MIMOSA-model voor de uitlaatemissies van het wegverkeer (de niet-uitlaatemissies zijn niet in het model opgenomen)

Wegtype	Beschrijving	PM ₁₀ (ton/jaar) 2003	PM ₁₀ (ton/jaar) 2015
1	Autosnelwegen (op- & afritten)	201,4	66,2
2	Hoofdwegen	9,7	5,5
4	Secundaire & verbindingswegen	21,2	6,6
5	Lokale wegen	15,6	5,8
	Totaal	247,8	84,0

De hier gebruikte versie van MIMOSA berekent enkel de uitlaat-emissies. De niet-uitlaat emissies afkomstig van bijvoorbeeld banden, remmen, wegdek en resuspensie van stoffen zijn niet opgenomen. Op basis van meteorologische gegevens berekent MIMOSA de uurlijkse emissies in functie van het aantal voertuigen die op elk aangegeven segment rijdt. Er wordt rekening gehouden met het aantal lichte en zware voertuigen tijdens de avondpiek alsook hun snelheid per wegsegment. Op basis van de tijdsfactoren en snelheidsprofielen aanwezig in het model worden deze piekurgegevens verspreid over de hele dag. De daling in emissies in 2015 ten opzichte van 2003 is hoofdzakelijk een gevolg van de evolutie van het wagenpark en de invoering van nieuwe EURO normen voor voertuigen en brandstoffen. De per wegsegment berekende resultaten worden dan gebruikt als lijnbronnen in de inputbestanden voor het model IFDM-EMIAD (zie Figuur 6).



Figuur 6: Lijnbronnen gebruikt voor de EMIAD- IFDM-berekening (op basis van de gegevens voor 2003). De emissies zijn uitgedrukt in g per meter weg per dag.

Opmerking:

Tijdens de periode juni tot oktober 2004 werd ring 1 (Antwerpse ring) richting 2 (richting Nederland) heraangelegd. Richting 2 kreeg een volledig nieuw wegdek. Tijdens de werken reed het verkeer in beide richtingen over richting 1 (richting Gent). Alle lokale op- en afritten waren afgesloten voor het verkeer. De effecten hiervan op de lokale emissies ter hoogte van Antwerpen Luchtbal zijn niet in rekening gebracht.

2.3.2.2 Scheepvaart

De totale emissie van de scheepvaart voor de gehele haven van Antwerpen bedraagt volgens de berekeningen van MOPSEA 516 ton TSP/jaar. De fractie van PM₁₀ bedraagt bij benadering 95% zodat de totale PM₁₀-emissie van de scheepvaart 490 ton PM₁₀/jaar is (ref. CEPMEIP databank van TNO).

Deze emissies van de scheepvaart worden verdeeld over 2 gebieden:

- emissies in de nabije omgeving van de meetstations met een gedetailleerde toewijzing
- emissies in de resterende haven van Antwerpen met een benaderende toewijzing

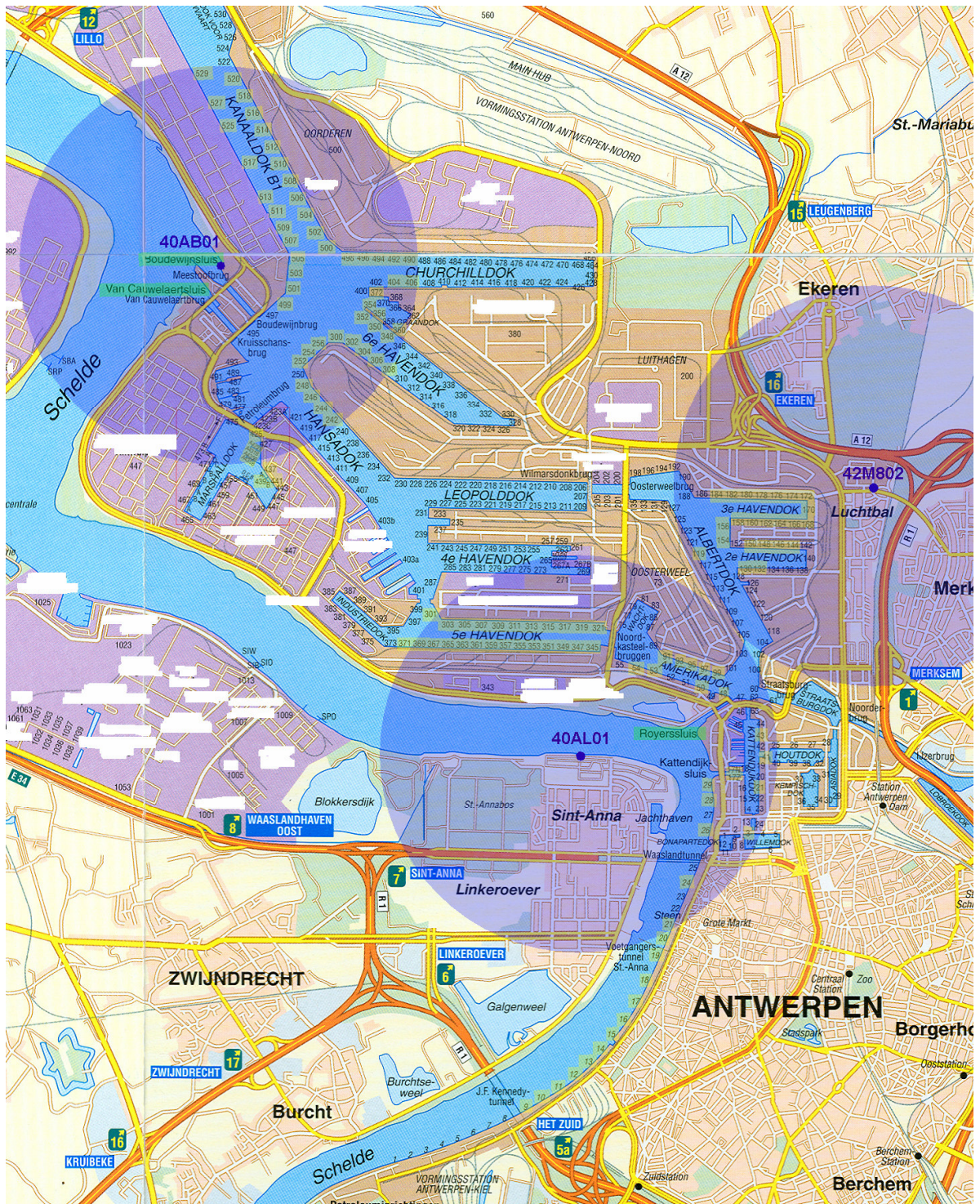
Er dient opgemerkt dat enkel de emissies van de motoren (hoofd- en hulpmotoren) van de zeeschepen worden beschouwd, zowel het varen als het stilliggen aan de kaai (inclusief het gebruik van de hulpmotoren bij het laden en lossen).

De emissies van bagger- en sleepboten en de binnenvaart zitten niet mee vervat in deze berekeningen. Deze emissies zijn zeker belangrijk in de Antwerpse haven maar zijn nog niet eerder in kaart gebracht. Om deze bijdrage te bepalen is er nood aan verder onderzoek.

Emissies scheepvaart in de nabije omgeving van de meetstations (2km)

De bepaling van de scheepvaartemissies in de nabije omgeving van de meetstations werd gedetailleerd uitgevoerd m.b.v. het rekenmodel MOPSEA. Hierbij werd een cirkelvormig zone rond de meetstations beschouwd (figuur 7, blauwe schijven met straal van 2000 m). De kaaien waarvoor stofemissies zijn bepaald, zijn in het geel aangeduid, de 3 sluizen zijn groen aangegeven.

Bij de berekening wordt onderscheid gemaakt tussen de emissies t.g.v. het varen en het stilliggen van de schepen. De emissies worden toegewezen aan de kaaien, sluizen en de Schelde.



Figuur 7: Afbakening gebieden rond meetstations voor lokale emissies scheepvaart (bron kaart: De Lloyd NV - 2004)

Emissies kaaïen

Bij het stilliggen kunnen de emissies toegewezen worden aan bepaalde locaties, nl. de respectievelijke kaaï. Deze emissies bestaan uit verbrandingsemissies door gebruik van hulpmotoren voor airco, keuken, wasserij, laden en lossen, ... e.d.

Opmerking: de emissies bij het stilliggen worden in MOPSEA bepaald zonder rekening te houden met de emissies (energieopwekking) t.g.v. laden en lossen. Om de totale emissies van het stilliggen te bekomen, werden de emissies uit MOPSEA met 2,66 vermenigvuldigd. Deze factor werd als volgt afgeleid, zie ook bijlage 1 voor meer detail. In het MOPSEA-project brengt VITO de emissies van hulpmotoren van zeeschepen in kaart voor het gebruik van airco, verlichting, ... tijdens het varen en stilliggen, nl. 236 ton TSP/jaar voor België. Aan de kaaïen van de 4 belangrijkste havens in België stoten de hulpmotoren van de zeeschepen ongeveer 182 ton TSP/jaar uit. Deze emissie is exclusief de emissies van de hulpmotoren bij het laden en lossen die door het MOPSEA-project niet worden ingeschat.

Aan de hand van emissiegegevens van het ECOSONOS model, heeft het Havenbedrijf van Antwerpen een inschatting gemaakt van het aandeel laden en lossen. Ze schatten dat ongeveer 56 % van de emissies van hulpmotoren afkomstig zijn van laden en lossen (gemiddelde CO₂, SO₂ en NO_x emissies)⁸. Dit betekent dat het laden en lossen op ongeveer 302 ton TSP/jaar geraamd kan worden.

De totale TSP emissies van de hulpmotoren inclusief laden en lossen aan de kaaï wordt dus geschat op 484 ton TSP/jaar (182 ton TSP/jaar + 302 ton TSP/jaar), een factor 2,66 hoger dan de ingeschatte emissies binnen het MOPSEA-project van 182 ton TSP/jaar.

Dit is uiteraard een grove benadering, andere cijfers zijn niet beschikbaar.

De emissies t.g.v. het varen zijn te wijten aan het varen van schepen van en naar de respectievelijke kaaï. Deze emissies kunnen moeilijker worden toegewezen aan een bepaalde locatie omdat de schepen van alle richtingen naar de respectievelijke kaaï kunnen toekomen (het ontrafelen hiervan zou veel werk in beslag nemen; daarnaast zijn deze emissies doorgaans beperkter, omdat de tijdsduur voor het varen kleiner is dan de tijdsduur voor het stilliggen inclusief laden en lossen).

Emissies sluizen

De emissies bij het varen en stilliggen aan de sluizen werden apart berekend. Er zijn hierbij geen overslagactiviteiten.

Emissies Schelde

De emissies bij het varen op de Schelde werden apart berekend. Er zijn hierbij geen emissies t.g.v. stilliggen.

Overzicht

Onderstaande tabel vat de berekende TSP emissies uit MOPSEA. Voor gedetailleerde rekenresultaten zie bijlage 1. De PM₁₀ emissies, die verder voor de modelberekeningen

⁸ Havenbedrijf van Antwerpen - Dhr. Luc Van Espen, persoonlijke communicatie, 2006.

gebruikt worden, worden bij benadering berekend als een fractie van 95% van de berekende TSP emissies uit MOPSEA (ref. CEPMEIP databank van TNO).

Tabel 3: Overzicht stofemissies scheepvaart in de nabije omgeving van de meetstations

Omgeving meetstation	Emissiebron	Varen (kg TSP/jaar)	Stilliggen (kg TSP/jaar) incl. laden en lossen (correctiefactor: 2,66)
Luchtbal	Kaaien	543	14452
Boudewijnsluis	Schelde	9585	-
	Boudewijnsluis en Van Cauwelaertsluis	2865	1371
	Kaaien - doorgaand verkeer	2574	-
	Kaaien	1541	48923
	TOTAAL	16565	50294
Linkeroever	Schelde	412	3896
	Royerssluis	65	68
	Kaaien	853	28628
	TOTAAL	1330	32592
TOTAAL voor de nabije omgeving van de 3 meetstations (varen en stilliggen incl. laden en lossen): 100781 kg TSP/jaar			

Emissies scheepvaart in de resterende haven van Antwerpen

De emissies van de scheepvaart in de nabije omgeving van de meetstations (2km zone) bedragen in het totaal 100,8 ton TSP/jaar, zie hierboven. In het totaal bedragen de emissies van de gehele haven van Antwerpen 516 ton TSP/jaar. De resterende 415,2 ton TSP/jaar wordt toegewezen door deze in eerste benadering te spreiden over het resterende havengebied. Uiteraard is dit slechts een grove benadering.

Als locatie voor de lijnbronnen worden de kaaien genomen. De bronsterkte per km kaai wordt bepaald uitgaande van de gedetailleerde berekeningen in de nabije omgeving van de meetstations (2 km zone). Deze bronsterkte bedraagt ongeveer 5,77 ton TSP/km kaai/jaar en wordt gelijkmatig geografisch verdeeld over 72 km kaaien zodat in het totaal de resterende 415,2 ton TSP/jaar wordt toegewezen. Voor de berekeningen wordt dit met de fractie van 95 % PM₁₀ gecorrigeerd om de PM₁₀ emissie te bekomen (ref. CEPMEIP databank van TNO).

2.3.3 Emissiebestanden voor bronnen buiten het "hot spot" gebied

Het BeleEUROS-model (zie ook bijlage 5) voor de regionale of ‘achtergrond’bijdrage aan fijn stof gebruikt emissiegegevens voor de 6 pollutanten NO_x, SO₂, NH₃, NMVOC, PM_{2,5} en PM_{10-2,5}. Alle emissiebestanden werden met de emissie-preprocessor PREMIS II voor het BeleEUROS-model aangemaakt. De methodologie voor het aanmaken van emissiebestanden voor BeleEUROS is in twee rapporten in detail beschreven (Colles et al., 2004; 2005). Hierin wordt ook de toegepaste werkwijze toegelicht, zoals de omzetting van emissiebestanden van het EMEP-rooster naar het (verfijnd) BeleEUROS-rooster, de verdeling van de EMEP- en

MIRA-sectoren naar de BelEUROS-sectoren en de verwerking van de emissiebestanden voor Vlaanderen. Recent werden in het kader van de optimalisatie van het BelEUROS-model ook de emissiebestanden voor de 6 polluenten verbeterd (Deutsch et al., 2006c). Alle in het kader van deze studie gebruikte emissiebestanden werden volgens deze vernieuwde werkwijze aangemaakt.

Voor de beschrijving van de situatie in het jaar 2003 werden zowel voor Vlaanderen alsook voor de rest van Europa emissiegegevens voor het jaar 2002 gebruikt.

Voor de berekening van een toekomstscenario werd ervoor gekozen om het jaar 2015 ipv. 2010 te modelleren en dit omwille van verschillende redenen:

- 1) De emissies voor het jaar 2010 (CAFE-baseline scenario CAFE_2010_CLE, versie C-04emis10-BL-V5 (2004-12-17) zijn waarschijnlijk te laag ingeschat. De emissieprognoses voor 2015 zouden daarentegen een realistischer beeld geven. Dit heeft vooral te maken met het feit dat er in de emissieprognose voor 2015 (van IIASA) verondersteld wordt dat de NEC-plafonds (zeker voor België) niet gehaald worden, terwijl in de emissieprognose voor 2010 (CAFE/EMEP) ervan uitgegaan wordt dat NEC wel gehaald wordt.
- 2) Het jaar 2010 werd reeds in de vorige "hot spot"-studie doorgerekend, echter alleen voor de 6 wintermaanden. Als we opnieuw 2010, nu wel met de geoptimaliseerde modelversie en voor een volledig jaar zouden berekenen, zouden de resultaten daarom verschillen met die uit het vorige rapport. Dit zou verwarring kunnen geven.
- 3) De opdrachtgever gebruikt zelf de achtergrondwaarden voor 2015 voor o.a. het CAR model.

Om toch ook voor het (in het kader van de onderhandelingen omtrent de NEC-richtlijn) belangrijke jaar 2010 over achtergrondconcentraties PM_{10} en $PM_{2,5}$ te kunnen beschikken, werd er lineair geïnterpoleerd tussen de met de emissies 2002 en de emissies 2015 berekende fijn stof concentraties. Op deze manier werd de achtergrond voor het jaar 2010 voor de gridcellen van de Antwerpse Haven berekend. Voor de berekening van de fijn stof achtergrondconcentraties voor 2010 werd dus dezelfde methodologie toegepast die ook voor de berekening van de achtergrondconcentraties voor het "CAR-model" voor de steden en gemeenten werd toegepast. Een andere manier van interpolatie dan een lineaire interpolatie is op dit moment wetenschappelijk niet te verantwoorden.

In deze studie werden voor de jaren 2003 en 2015 emissiebestanden aangemaakt, en berekeningen gemaakt met en zonder emissies in het hot-spot gebied, en met en zonder de Vlaamse emissies. De gegevens en resultaten worden uitvoerig besproken in bijlage 5.

2.4 Luchtkwaliteitsmetingen

Uit de eerste evaluatie van de pollutierozen van de PM_{10} stofconcentraties gemeten aan Antwerpen-Boudewijnsdijk (40AB01), Antwerpen-Linkeroever (40AL01) en Antwerpen-Luchtbal (42M802), plaatsbezoeken in de haven en studie van de beschikbare gis-informatie zoals luchtfoto's, blijkt dat voornamelijk in het gebied tussen deze 3 meetstations de stofbronnen nog niet voldoende onderscheiden kunnen worden.

Om bijkomende informatie te verschaffen voor de modellering, is gedurende 2 maanden (juli - augustus 2006) een stofmeting uitgevoerd op 4 meetplaatsen in de Antwerpse haven. Deze 4 meetplaatsen werden zo gekozen dat een goede geografische spreiding bekomen werd binnen het doelgebied rekening houdend met de ligging van de meetstations van de VMM (Antwerpen-Luchtbal 42M802, Antwerpen-Boudewijnsdijk 40AB01 en Antwerpen-Linkeroever 40AL01) in het zuidoosten van de Antwerpse haven. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de extra meetplaatsen.

Tabel 4: Overzicht van de meetplaatsen

Meetplaats	Benaming	Lambert coördinaten X	Lambert coördinaten Y
1	K102 - Havenbedrijf	152734	215041
2	K399 - waterbedelingspost	149287	215647
3	K201 - Oosterweelbrug	151376	216669
4	Polderdijkweg - locatie bij meetstation 42R822 van VMM	148081	217157

In Figuur 8 worden de locaties van de 4 extra meetplaatsen weergegeven.

Op de 4 meetplaatsen is een Partisol filterbemonsteraar geplaatst voor de bemonstering van 24 uur stalen (op Teflonfilters) samen met een Grimm stofmonitor. De stofmonitoren worden gebruikt voor hun goede tijdsresolutie voor bronlokalisatie op basis van pollutierozen. De Partisols worden gebruikt om de metingen m.b.v. de optische stofmonitoren om te rekenen naar metingen uitgevoerd volgens de referentiemeetmethode en voor chemische brontracering op basis van XRF-analyses. Gedurende 2 volledige maanden is op elke plaats elke dag PM_{10} bemonsterd op Teflon-filters. De PM_{10} waarden van beide toestellen zijn gebruikt voor de bepaling van de omrekeningsfactor.

De analyses van de filters voor de bepaling van de stofconcentraties met de Partisol bemonsteraar zijn uitgevoerd volgens de $PM_{2,5}$ norm (EN14970). Deze norm waarborgt een betere kwaliteit t.o.v. de oudere norm voor PM_{10} (EN12341). De gebruikte toestellen worden uitvoeriger beschreven in bijlage 2.

De meetplaatsen zijn indien mogelijk aan kaaimuren geplaatst om zo weinig mogelijk invloed van grote gebouwen zoals de vele opslaghallen te ondervinden. Voor een van de meetplaatsen was dit moeilijk realiseerbaar en hiervoor is uitgeweken naar meetplaats 42R822 van de VMM op de Polderdijkweg.



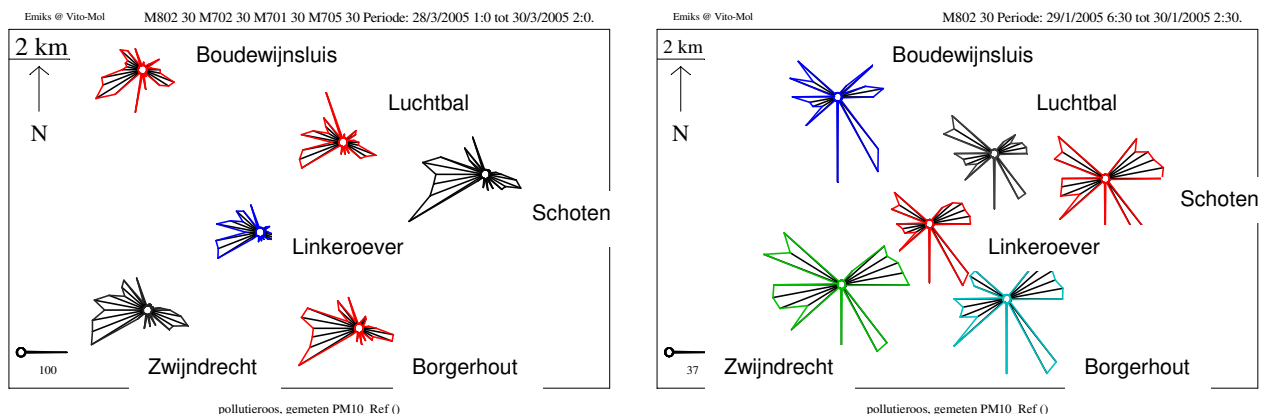
Figuur 8: Locaties van de 4 meetplaatsen van de extra meetcampagne.

3 RESULTATEN

3.1 Bepaling van de lokale bijdrage aan de meetstations

Om de lokale bijdrage te kunnen bepalen is er eerst gezocht naar de achtergrondconcentratie die van de lokale pollutierozen ‘afgetrokken’ kan worden. Er wordt gezocht naar gemeenschappelijke patronen in de concentratie tijdreeksen van de lokale meetstations en van enkele mogelijke kandidaat achtergrondstations. Deze gemeenschappelijke patronen worden dan beschouwd als de achtergrondconcentratie in het lokale gebied in de Antwerpse haven. Na analyse van een aantal kandidaat achtergrondstations bleven er drie stations (Aarschot, Hasselt en Destelbergen) over op basis waarvan een ‘virtuele’ pollutieroos voor een achtergrondstation gebouwd is. Er zijn uiteraard nog schommelingen tussen deze stations onderling, maar de cumulatieve frequentiedistributies (CFD) stemden vrij goed overeen. Op basis van deze concentratieverdeling van het virtueel achtergrondstation zijn de meetstations in de Antwerpse haven en nabije omgeving herleid tot hun lokale bijdrage. Voor meer detail hierover wordt verwezen naar de bijlage 4.

Ondanks het feit dat mogelijk de gemeenschappelijke achtergrond, die niets verklaart van de lokale hot-spots, verwijderd werd, zijn er toch nog gemeenschappelijke fenomenen waar te nemen op de 6 Antwerpse stations. Twee voorbeelden hieronder illustreren dit.



Figuur 9: voorbeelden van overblijvende gemeenschappelijke pieken op de zes meetstations in en rond Antwerpen, na aftrek van de virtuele achtergrond.

Deze gemeenschappelijke componenten (bv. in ZO en ZW richting) treden slechts zeer kortstondig op, zodat dit het algemene resultaat weinig beïnvloed. Deze fenomenen leren ons niets over nabije bronnen die specifiek zijn voor het meetpunt, zodat we deze gemeenschappelijke componenten zoveel mogelijk verwijderd hebben. De gemiddelde concentraties gemeten op deze stations, zonder de achtergrond zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 5: Overzicht van de meetstations met hun lokale bijdrage tot de jaargemiddelde concentratie PM_{10} voor de periode april 2004 t.e.m. maart 2005

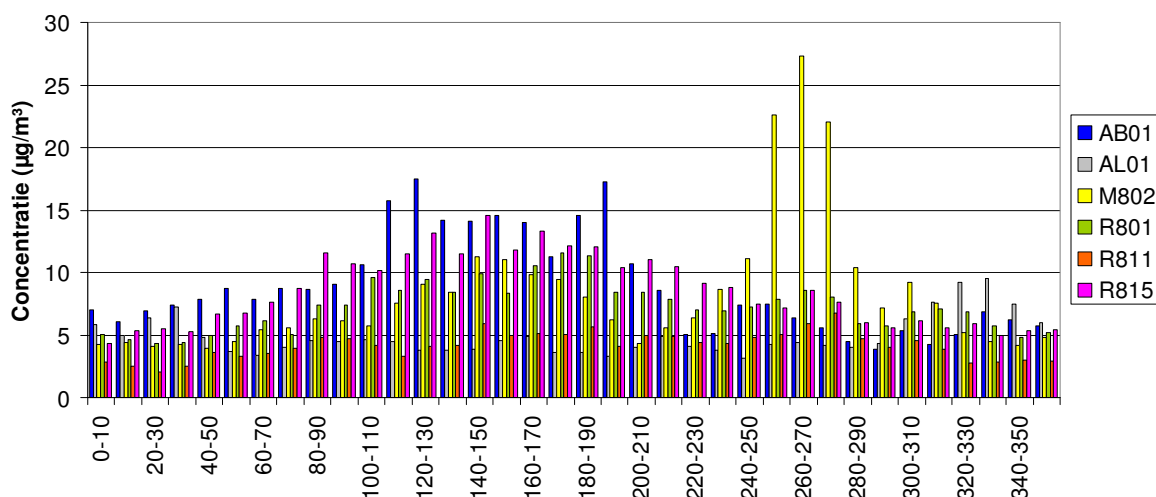
Meetstation	Omschrijving	Lokale bijdrage tot de jaargemiddelde concentratie PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) voor de periode april 2004 t.e.m. maart 2005
40AB01	Antwerpen - Boudewijnsdijk	8,5
40AL01	Antwerpen - Linkeroever	4,9
42M802	Antwerpen - Luchtbal	7,9
42R801	Antwerpen (Borgerhout)	7,3
42R811	Schoten	4,2
42R815	Zwijndrecht	8,6

3.2 Analyse van de lokale pollutierozen

De lokale pollutierozen worden bekomen na aftrek van de achtergrondpollutierozen, zie hiervoor ook de voorgaande paragraaf en voor meer detail de bijlage 4.

3.2.1 Windrichtingsafhankelijkheid

Met deze pollutierozen is nu verder gezocht naar verklarende factoren en aanwijzingen. We concentreren ons in hoofdzaak op de meetstations Boudewijnsdijk, Luchtbal, Linkeroever en Zwijndrecht. Opgesplitst per windsector (in sectoren van 10°) is het verloop voor de 6 stations geïllustreerd in onderstaande Figuur 10.



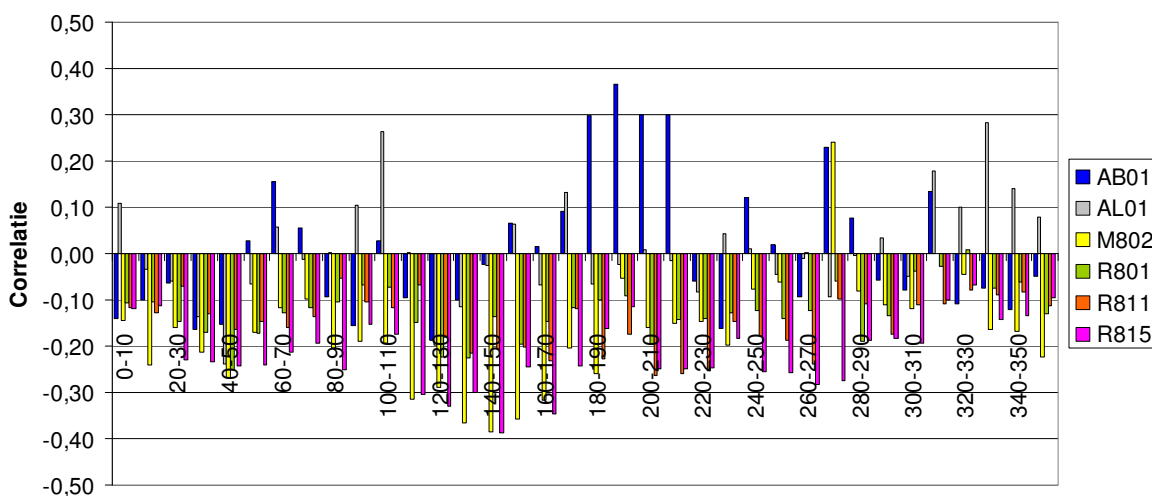
Figuur 10: PM_{10} concentraties per windsector (0° = noordenwind, 90° = oostenwind, enz.)

Hieruit blijkt vooral een sterke piek op station Luchtbal vanuit de richting 250° - 280° (west-zuidwest). Ook aan de Boudewijnsdijk zijn pieken vast te stellen in specifieke richtingen.

3.2.2 Windsnelheidsafhankelijkheid

Voor de analyse van de windsnelheidsafhankelijkheid gaan we uit van de vaststelling dat een positieve correlatie tussen windsnelheid en concentratie wijst op opwaaiend of verwaaiend stof, groter dan $2\text{ }\mu\text{m}$. Een negatieve correlatie duidt op een meting van fijn stof ($< 2\text{ }\mu\text{m}$) dat zich verspreidt als een gas (Gaussiaans, verdunning). In de meeste gevallen is dit fijn stof afkomstig van verbranding (uitlaat- of puntbronnen). Opsplitsing van de analyse van windsnelheidsafhankelijkheid per windsector geeft een ruimtelijk beeld van de aard van de bronnen die bijdragen tot de concentraties in dat meetstation, in die windsector.

In Figuur 11 is de correlatiecoëfficiënt concentratie-windsnelheid gegeven voor de verschillende meetstations, opgesplitst per windsector. De correlaties concentratie-windsnelheid werden bepaald door voor elke windsector (10°) het effect van de windsnelheid op de concentratie na te gaan. We stellen nogal veel negatieve (“PM als gas”) correlaties vast, wijzend op verbrandingsemissies van puntbronnen, verkeer en huishoudens. Borgerhout is een goed voorbeeld hiervan, maar ook Zwijndrecht. Opvallend zijn uiteraard de positieve ‘correlatiepieken’. Voor Luchtbal is de concentratiepiek in de sector $270^\circ\text{--}280^\circ$ blijkbaar een gevolg van op/ver-waaiend stof, zie ook Figuur 2. Omgekeerd is de piek in de sector $130^\circ\text{--}140^\circ$ aan de Boudewijnsdijk geen opwaaiend stof (negatieve correlatie, zie ook Figuur 4), de piek in de sector $190^\circ\text{--}200^\circ$ is blijkbaar dan weer wel een gevolg van op- of verwaaiend PM_{10} , evenals de bijdrage aan de PM_{10} concentratie vanuit de sector $60^\circ\text{--}70^\circ$.

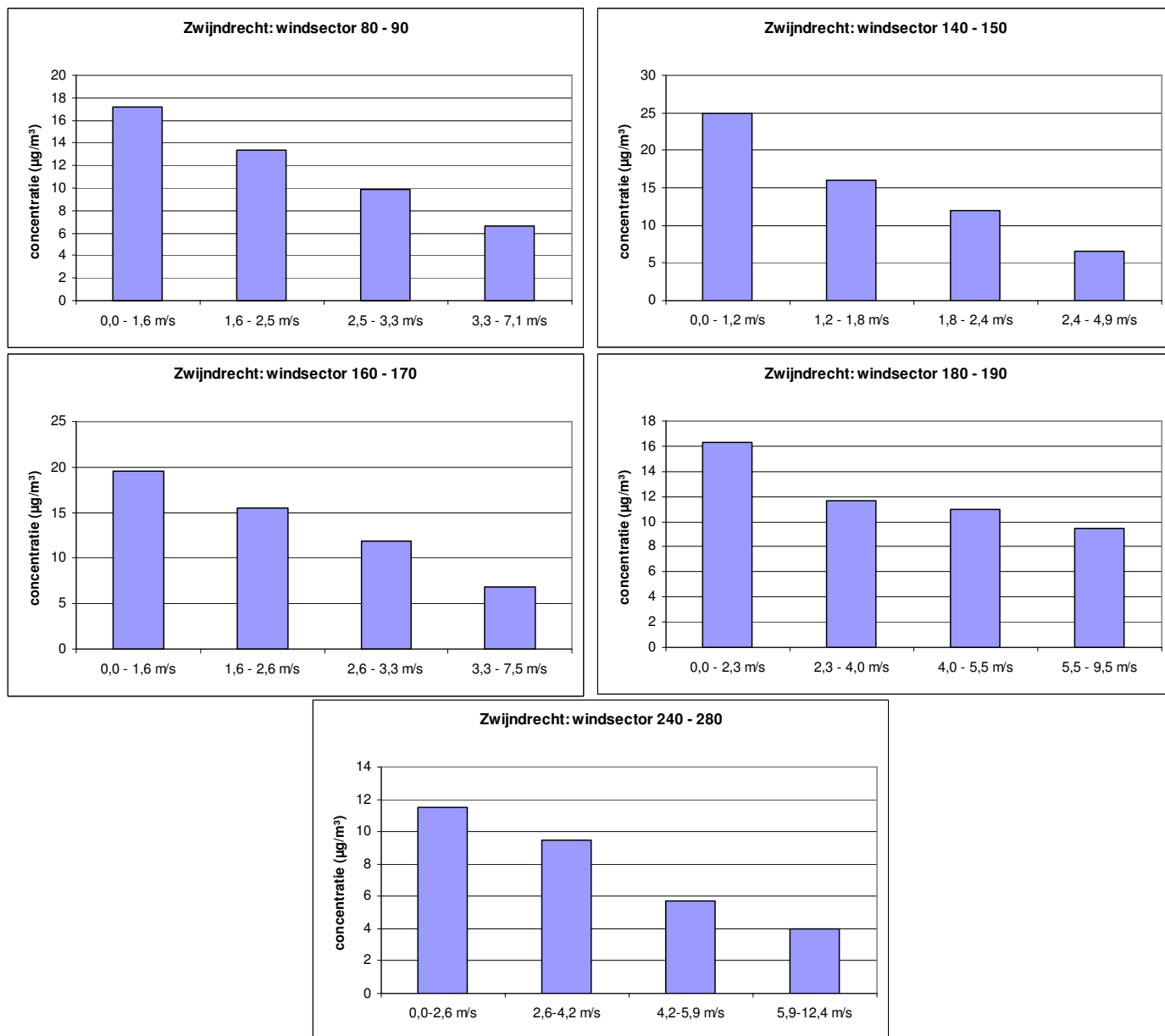


Figuur 11: Correlatiecoëfficiënt tussen windsnelheid en concentratie, per windsector.

Om deze analyse overzichtelijker te maken zijn zowel de concentratiepieken (pollutieroos) als de correlaties concentratie-windsnelheid samengebracht op kaart. Deze kaarten zijn een leidraad geweest voor verdere analyses en bijkomende metingen, zie de eerste 3 figuren onder 2.3.1.

In Zwijndrecht kan de invloed van het verkeer in de nabije omgeving worden vastgesteld (E17, knooppunt, aansluiting met E34, N70, spoor...). Zo illustreren de volgende figuren dat uit quasi alle richtingen een bijdrage van stof kleiner dan $2\text{ }\mu\text{m}$ is. Er is namelijk een duidelijke afname van de concentratie in functie van de windsnelheid voor nagenoeg alle

windrichtingen vast te stellen. Deze dalende trends zijn typisch voor stof kleiner dan $2\text{ }\mu\text{m}$. Daarnaast duidt stof kleiner dan $2\text{ }\mu\text{m}$ op de aanwezigheid van verbrandingsprocessen, zoals in dit geval dus het verkeer.

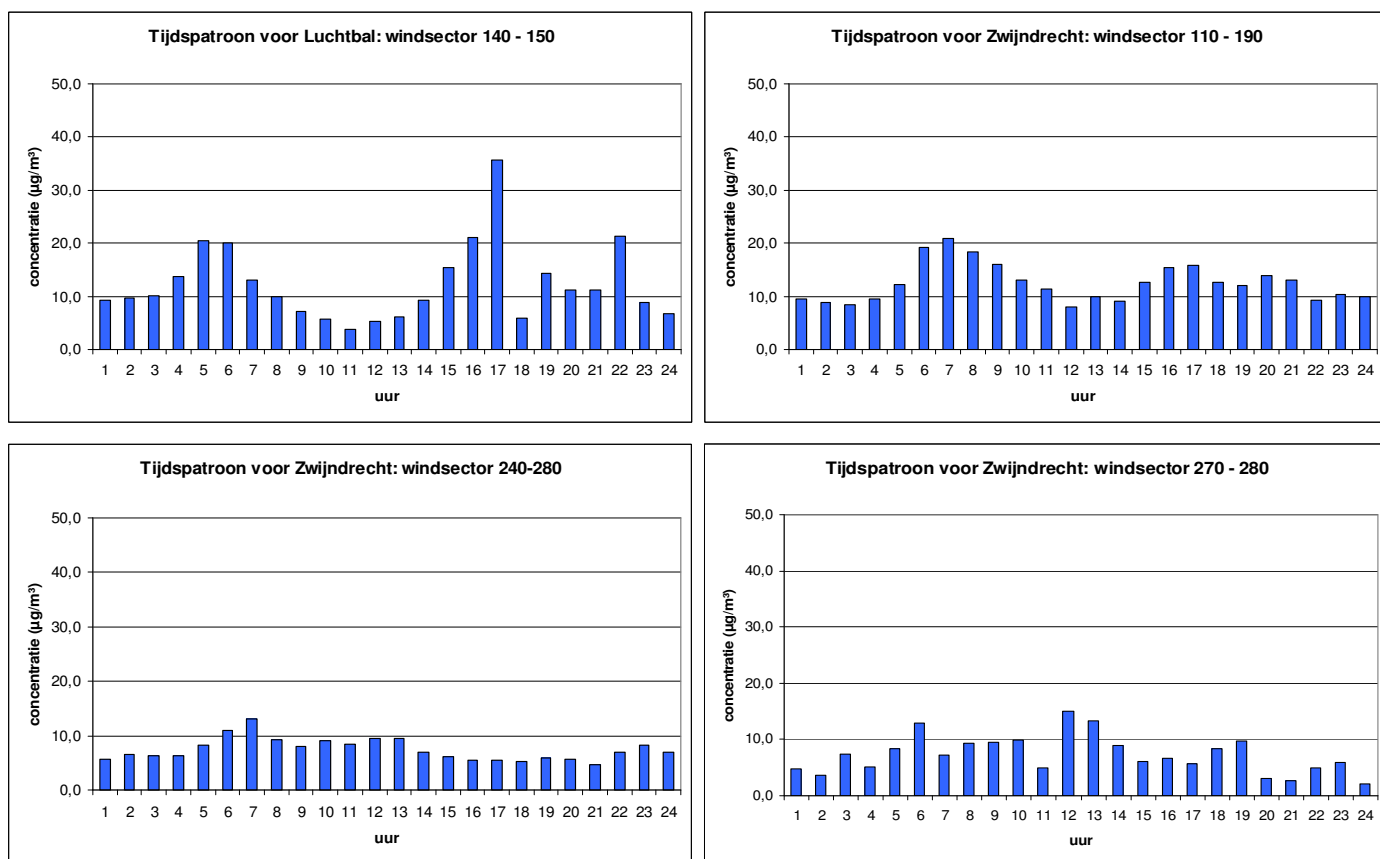


Figuur 12: Duidelijke afname van de concentratie in functie van windsnelheidsklassen in Zwijndrecht, voor een aantal windrichtingen.

3.2.3 Tijdspatronen

Figuur 13 geeft illustratief enkele tijdspatronen weer voor Luchtbal en Zwijndrecht voor verschillende windsectoren.

Opmerking: deze figuur voor de tijdspatronen is opgesteld op basis van de GMT-tijd (Greenwich Mean Time) en niet op basis van de locale tijd. Dit betekent dat er bij deze tijd 1 uur moet bijgeteld worden om de locale (Belgische) tijd te verkrijgen.



Figuur 13: Tijdspatronen van de gemiddelde PM₁₀ concentratie in Antwerpen luchtbal in verschillende richtingen

Een analyse van de tijdspatronen in bepaalde windsectoren geeft vooral bijkomende informatie indien een duidelijk dag- nachtpatroon kan waargenomen worden. Zo is voor Luchtbal vast te stellen dat de PM₁₀ bijdrage uit de windsector 140-150° (in de richting van de ring) een ochtend- en avondpiek kent, wat overeenstemt met verkeersintensiteit op de ring op deze tijdstippen, zie bovenste figuur links bij Figuur 13. Ook in Zwijndrecht wordt een dergelijk patroon vastgesteld uit de windsector 110°-190° (in de richting van de autosnelweg), zie bovenste figuur rechts bij Figuur 13. In andere richtingen is dit patroon minder duidelijk aanwezig.

Andere dag- nachtpatronen zijn minder duidelijk, zoals in de richting 240-280° (in zuidwestelijke tot westelijke richting) in Zwijndrecht, waar een relatief gelijkmatige bijdrage overdag wordt vastgesteld, zie onderste figuur links bij Figuur 13. Indien we details van deze richting 240 - 280° verder bekijken, is er geen duidelijk patroon meer vast te stellen. Zowel in de windrichting 260°-270° als in de richting 270°-280° (in de richting van de Statiestraat, zie ter illustratie de onderste figuur rechts bij Figuur 13) is er geen eenduidig patroon vast te stellen. Verkeer in de wijde omgeving, maar ook lokaal verkeer, bv. in de Statiestraat, en de nabijheid van de spoorweg zijn de mogelijke bronnen.

3.3 Modelresultaten: analyse van de huidige situatie

3.3.1 Modelresultaten IFDM en EMIAD

3.3.1.1 Rekenresultaten

Onderstaande tabel vat de rekenresultaten voor de 3 meetstations samen, nl. Luchtbal, Linkeroever en Boudewijnsdijk. Omdat de emissies van de petrochemie in het tweede deel van het meteorologisch jaar sterk gereduceerd werden hebben wij 2 berekeningen gemaakt: één met de reductie op de kraakinstallaties van de petrochemie voor het volledige meteorologische jaar en één met enkel een reductie in de laatste maanden, zie ook de voetnota's in onderstaande tabel.

Een aantal diffuse bronnen leveren een belangrijke bijdrage. De bedrijven aan kanaaldok B1 zijn bepalend voor het meetstation Boudewijnsdijk. De bedrijven in het 3e Havendok, ligt aan de basis van de duidelijke piek in west-zuidwestelijke richting van het meetstation Antwerpen Luchtbal.

Daarnaast zijn er diffuse bronnen met minder grote bijdragen dan bv. deze van het 3e Havendok. Zo hebben de bedrijven gelegen aan het Hansadok Zuid samen de grootste gemodelleerde bronsterkte; hun invloed is echter beperkt voor de 3 meetstations omwille van de grotere afstand. De op- en overslag activiteiten in het Amerikadok hebben de grootste bijdrage voor het meetstation Antwerpen Linkeroever. Het graandok (met de op- en overslag activiteiten) heeft een belangrijke invloed op het meetstation Boudewijnsdijk. De op- en overslag activiteiten aan het Leopolddok/ Hansadok hebben een minder belangrijke impact omwille van de afstand tot de meetstations.

Opmerking: de mogelijke emissiebron gelegen aan het 5e Havendok viel weg tijdens de modellering om een optimaler wiskundig resultaat te bekomen.⁹

Zeeschepen in en rond de Boudewijnsdijk zijn een niet te verwaarlozen bron. Wegverkeer ten slotte is duidelijk een van de belangrijkste bijdragen voor alle drie meetstations (in mindere mate voor het meetstation Boudewijnsdijk 40AB01).

Lokale bronnen dragen ongeveer 20 tot 25% bij tot de jaargemiddelde concentraties op de verschillende meetstations ($39,0 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ voor Luchtbal, $32,0 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ voor Linkeroever en $37,0 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ voor Boudewijnsdijk over de periode april 2004 t.e.m. maart 2005). Hiervan zijn verkeer en verwarming de belangrijkste componenten. De directe impact van puntbronnen in het havengebied is beperkt. Hun effect wordt door de hoge schoorstenen uitgesmeerd over een groter gebied. Op deze manier dragen zij dus wel bij tot de achtergrondconcentraties in West-Europa. De bijdrage van de lokale diffuse bronnen is belangrijk. Voor Antwerpen Luchtbal betekenen zij ongeveer 10% van de jaargemiddelde concentraties; voor de andere twee meetstations ongeveer 7%. Voor Boudewijnsdijk is de

⁹ Tijdens de extra meetcampagne in juli en augustus 2006, zie verder in de tekst onder 3.4, werd voor het meetpunt K399 (Waterbedelingspost) een bron in zuidelijke richting vastgesteld met veel hogere meetwaarden dan verwacht uit de berekeningen (zie gemeten pollutierisico K399 bij Figuur 20). De meetwaarden in zuidelijke richting wijzen op een grote hoeveelheid TSP. Vermoedelijk is dit een bedrijf op het 5e Havendok, maar omdat de wind uit zuidelijke richting enigszins ondervetegenwoordigd is tijdens de meetcampagne in juli en augustus 2006 zijn conclusies voor deze richting minder betrouwbaar.

bijdrage van de scheepvaart (enkel zeeschepen) de belangrijkste. Een lokale bijdrage van bijna 6% is relatief hoog in vergelijking met het gemiddelde in Vlaanderen (op basis van emissies).

Tabel 6: Modelresultaten voor de huidige situatie van de 3 meetstations (periode april 2004 t.e.m. maart 2005)

Bron	Emissie (ton PM ₁₀ /jaar)	Bijdrage tot jaargemiddelde (ng PM ₁₀ /m ³)		
		Luchtbal	Linkeroever	Boude- wijnsluis
Puntbronnen - petrochemie				
SUBTOTAAL ⁽¹⁾	1300 ⁽¹⁾ 1737 ⁽²⁾	191 ⁽¹⁾ 248 ⁽²⁾	328 ⁽¹⁾ 437 ⁽²⁾	445 ⁽¹⁾ 770 ⁽²⁾
Puntbronnen - andere				
SUBTOTAAL	150	39	62	187
Diffuse bronnen				
Kanaaldok B1:	585	96	177	1510
Graandok:	469	267	307	661
3e Havendok:	341	2258	284	49
Amerikadok:	251	850	685	48
5e Havendok:	valt weg in modellering	valt weg in modellering	valt weg in modellering	valt weg in modellering
Leopolddok/Hansadok	423	96	400	235
Hansadok Zuid	829	289	422	233
SUBTOTAAL	2897	3856	2275	2736
Wegverkeer en diverse bronnen				
Wegverkeer		2320	767	211
Verwarming en ander transport		2687	3066	1669
Zeeschepen	490	480	653	2101
SUBTOTAAL		5487	4486	3981
TOTAAL		9573 ⁽¹⁾ 9630 ⁽²⁾	7151 ⁽¹⁾ 7260 ⁽²⁾	7349 ⁽¹⁾ 7674 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Berekening waarbij voor de hele periode april 2004 t.e.m. maart 2005 de bijkomende reductiemaatregelen voor Total Raffinaderij Antwerpen en Esso van kracht zijn

⁽²⁾ Variante berekening (realistisch scenario) met:

- voor de periode april 2004 t.e.m. oktober 2004: geen bijkomende reductiemaatregelen voor Total Raffinaderij Antwerpen en Esso
- voor de periode november 2004 t.e.m. maart 2005: met bijkomende reductiemaatregelen voor Total Raffinaderij Antwerpen en Esso

Opmerkingen

- De bepaling van de bronsterkte van de diffuse bronnen is gevoelig aan de plaatsing van het zwaartepunt van de emissies tijdens de modellering. Er is vastgesteld dat de benodigde emissie om een gemeten concentratie te verklaren toeneemt met bijna een factor 3 bij verdubbeling van de afstand. Voor bedrijven die op een grotere afstand van een meetpunt liggen, of die vanuit 2 meetpunten vanuit een (voldoende grote) verschillende hoek worden gezien, is de geschatte hoeveelheid emissie minder gevoelig

aan de plaatsing van het zwaartepunt van de emissies. Dit wordt verder uitvoerig besproken onder 3.3.1.3 waar de geschatte afstanden van de diffuse bronnen tot de respectievelijke meetstations terug te vinden zijn (zie Tabel 7).

- Voor wat de berekende bijdrage van het verkeer betreft, zijn enkel de uitlaat emissies berekend met MIMOSA.
- De categorie "verwarming en ander transport" bevat de volgende bronnen: gebouwenverwarming bevolking; gebouwenverwarming in de handel- en dienstensector; glastuinbouw; veeteelt (stallen en opslag, weide en uitrijden van dierlijk mest); brandstofverbruik in de landbouw, uitgezonderd glastuinbouw en visserij; luchtvaart; spoorverkeer. In deze studie slaat dit hoofdzakelijk op verwarming

3.3.1.2 Pollutierozen en CFD

Hieronder worden de modelresultaten weergegeven voor de lokale bijdragen aan de meetstations. In Figuur 14 en Figuur 15 zijn per meetstation de gemeten pollutierozen, respectievelijk de berekende (gemodelleerde) weergegeven.

Figuur 16 geeft de cumulatieve frequentiedistributie (CFD) van de lokale component afgeleid uit de metingen (zwarte lijn) en berekende impact van de lokale bronnen (rode stippellijn) voor de meetstations Antwerpen Luchtbal, Linkeroever en Boudewijnsdijk weer. Voor zowel Antwerpen Luchtbal als voor Antwerpen Linkeroever is de gemodelleerde CFD bij de hoge percentielen - dus daar waar de overschrijdingen zich voordoen - gelijklopend met de gemeten CFD. Voor het meetstation Boudewijnsdijk is de overeenkomst bij hoge percentielen gemiddeld genomen minder goed, omdat een bron niet gekwantificeerd kon worden (zie ook verder hieronder).

De twee meest opvallende elementen die uit de regressie naar voren komen zijn:

1. Na herhaalde analyse is vastgesteld dat metingen uit de wintertijd - binnen de ontwikkelde methodiek - niet gebruikt kunnen worden om de impact van lokale bronnen in de Antwerpse haven te bepalen.

Figuur 17 geeft de tijdreeksen weer van de lokale component afgeleid uit de metingen en berekende impact van de lokale bronnen voor de meetstations Luchtbal, Antwerpen Linkeroever en Boudewijnsdijk.

Figuur 18 geeft ter illustratie voor het meetstation Linkeroever de tijdreeksen weer met de achtergrond (grijs) erbij.

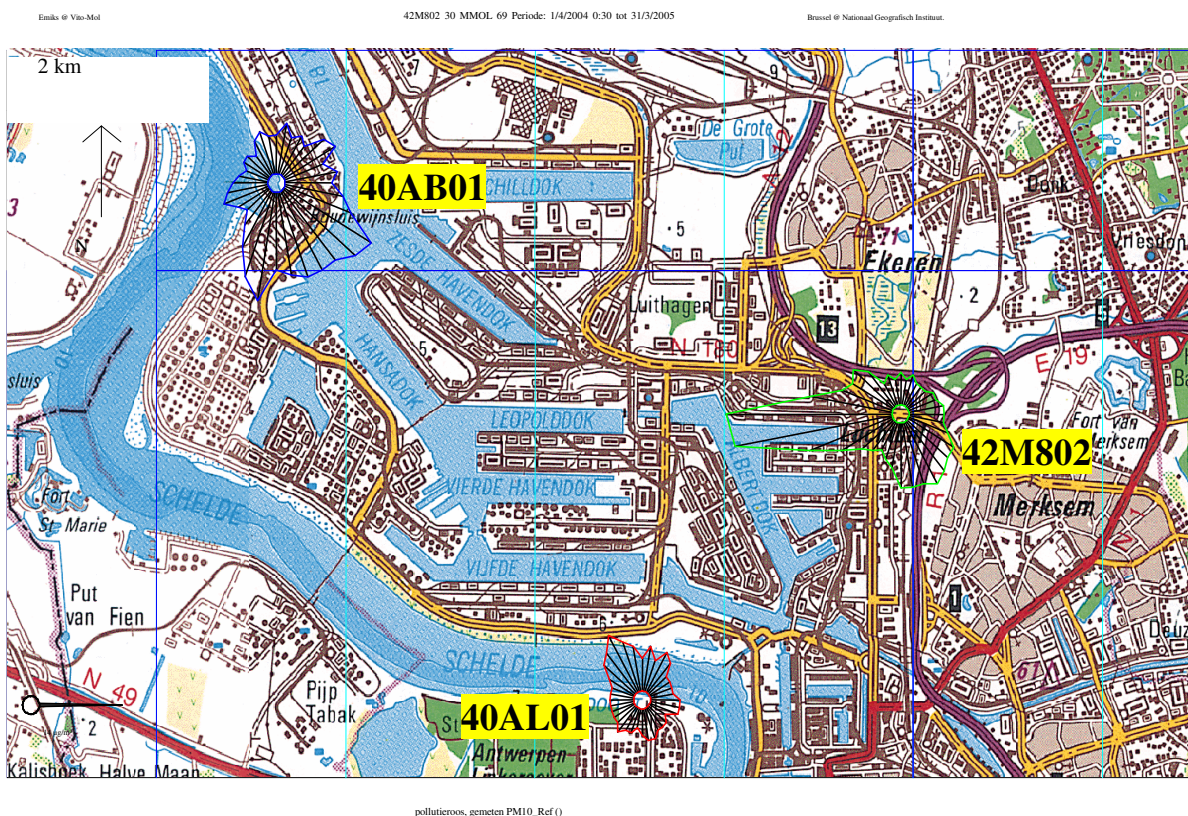
In Figuur 17 merkt men dat de tijdreeksen van de berekende impact in de zomermaanden vrij parallel met die van de meetwaarden verlopen, terwijl ze in de winter veel hoger zijn. Vanaf half maart komen de tijdreeksen gemeten en berekend weer bijeen. Ook tijdens de meetcampagne in juli-augustus is er een redelijk parallellisme tussen gemeten en berekende waarden.

Vermoedelijk is de PM_{10} -achtergrond relatief sterker beïnvloed door emissies van gebouwenverwarming en hebben deze emissies een vrij klein aandeel in de PM_{10} -achtergrond die de meetpunten bereikt. Gevolg: we hebben in de winter een te lage schatting van de impact van de lokale bronnen. Met andere woorden: er wordt in de winter vermoedelijk een te hoge achtergrond afgetrokken. Hierdoor geeft de berekening van de lokale bijdrage in de winter hogere concentraties dan het verschil tussen gemeten PM_{10} -concentratie en (te hoge) PM_{10} -achtergrond.

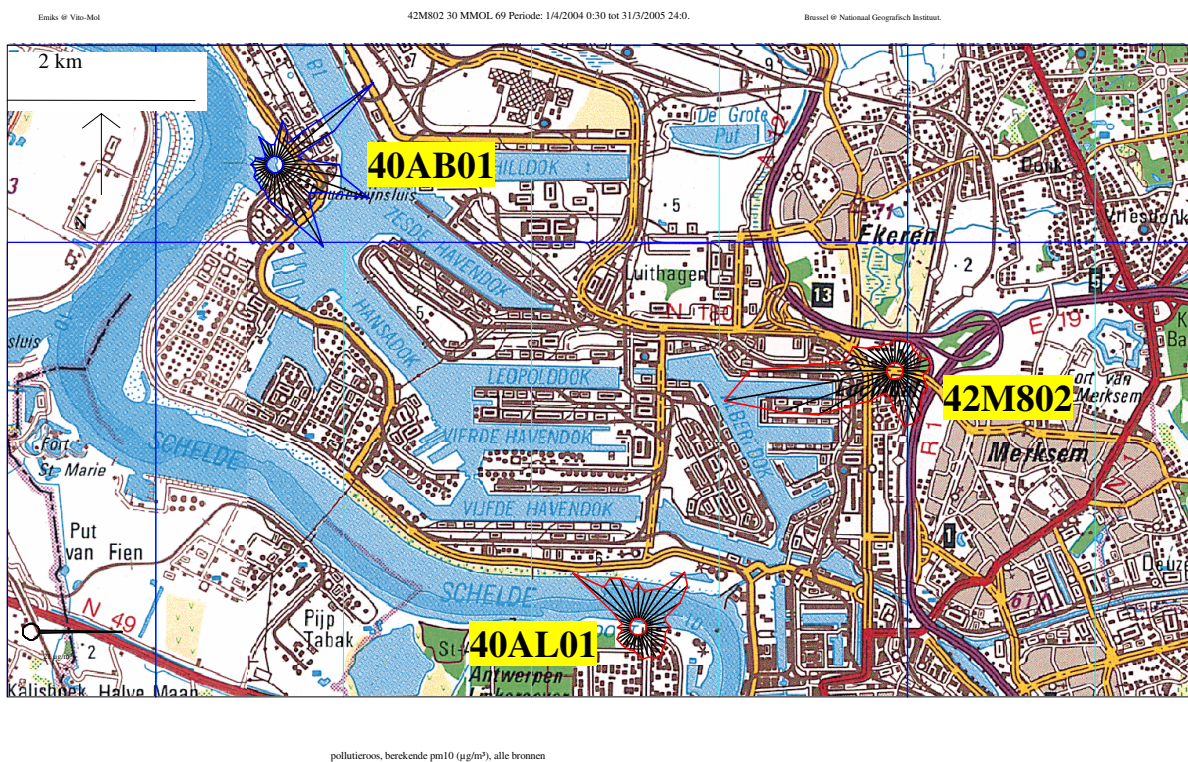
Om deze reden is de regressie uitgevoerd op de periode april-september 2004.

2. De meetwaarden bij de Boudewijnsdijk tonen een belangrijke aanwaai van PM_{10} bij zuidwestelijke winden, zie de pollutierozen voor 40AB01 in Figuur 14 (gemeten) en Figuur 15 (berekend).

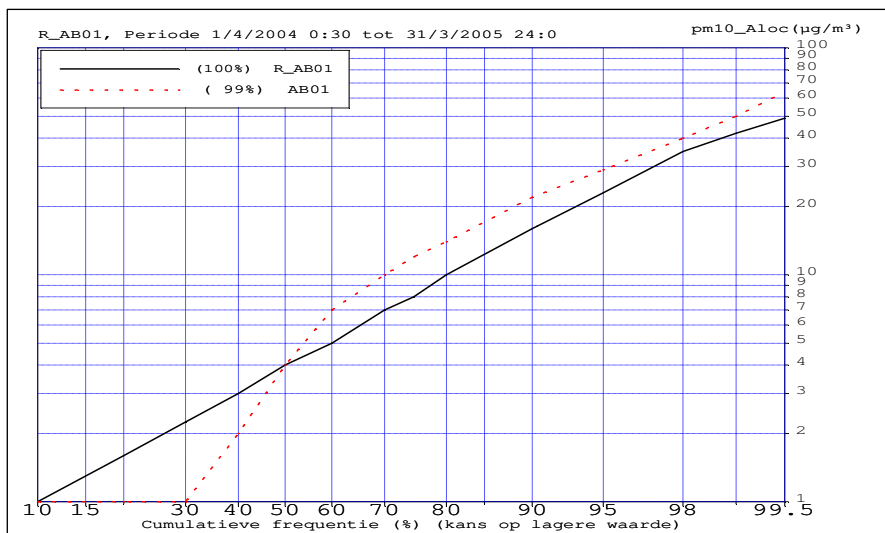
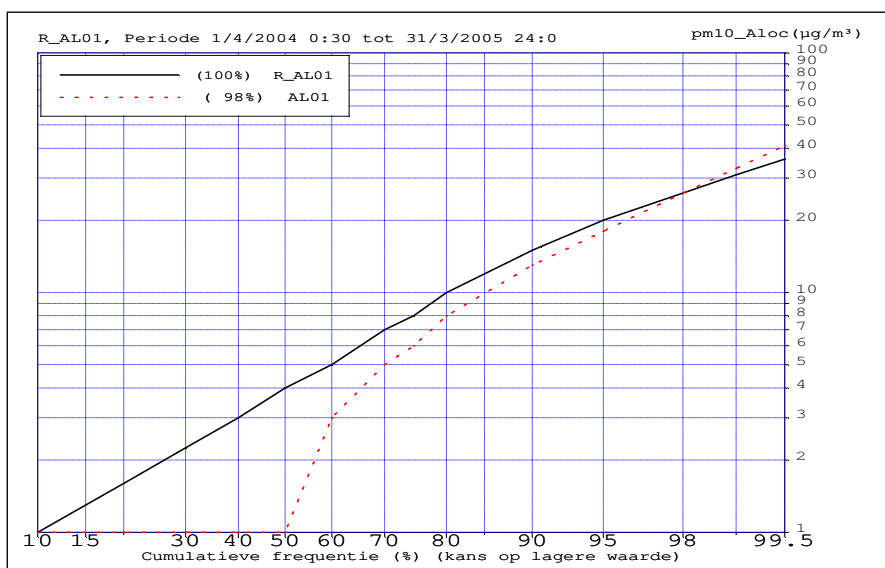
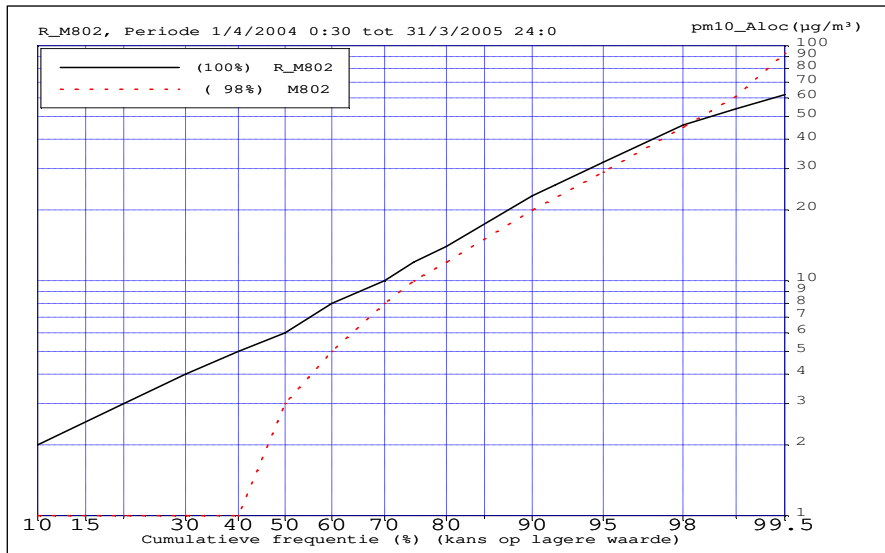
Met de gekende bronnen wordt er veel minder berekend. Bijkomende metingen, bijvoorbeeld vlak ten zuidwesten van de Van Cauwelaertsluis, zouden toelaten om de oorsprong van dit extra PM_{10} aan een bepaalde bron te koppelen. (Extra scheepvaartemissies bij de sluisen? Niet geïnventariseerde PM_{10} ? Minimale opwaai van stof van bodem/vegetatie ?)



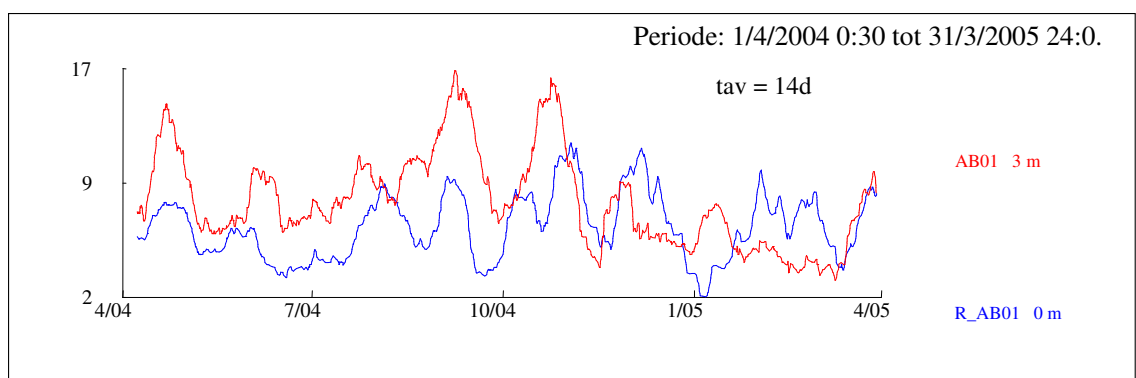
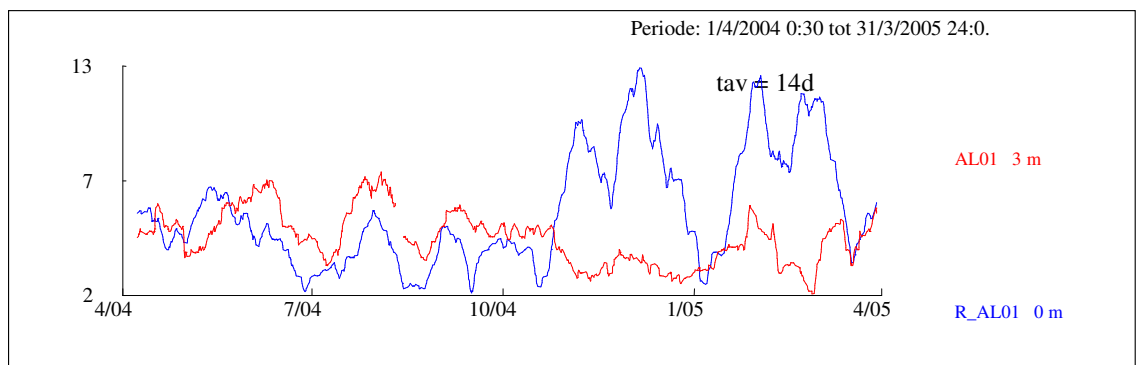
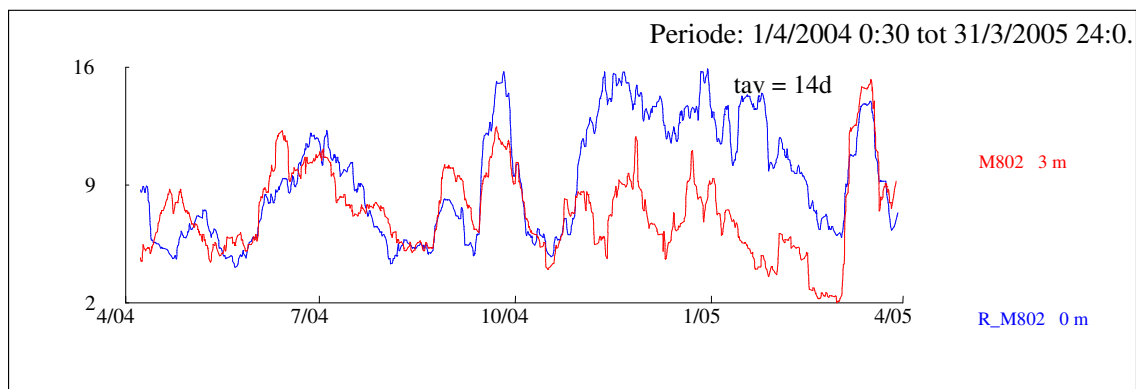
Figuur 14: Pollutierozen van de gemeten PM₁₀ voor de 3 meetstations.



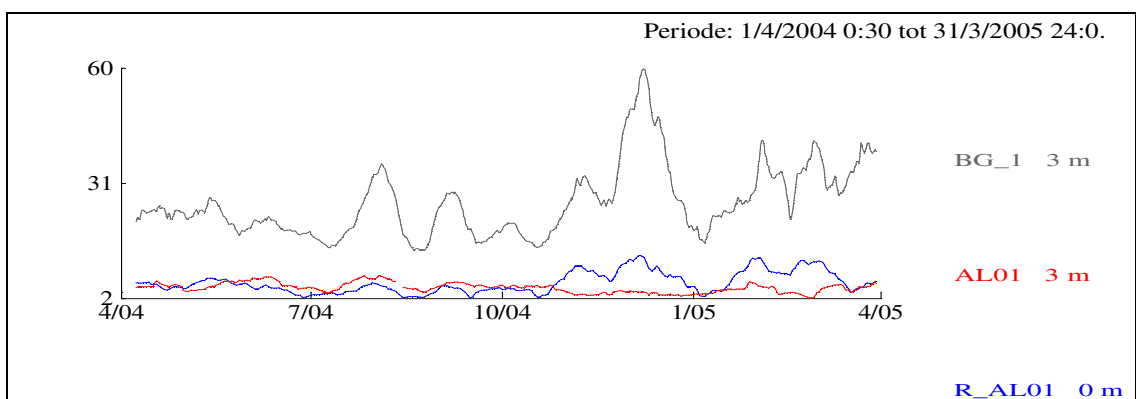
Figuur 15: Pollutierozen van de berekende PM₁₀ voor de 3 meetstations



Figuur 16: Cumulatieve frequentiedistributie (CFD) van de lokale component afgeleid uit de metingen (zwarte lijn) en berekende impact van de lokale bronnen (rode stippellijn) voor de meetstations Antwerpen Luchtbal, Linkeroever en Boudewijnsluis.



Figuur 17: Tijdreeks van de lokale component afgeleid uit de metingen (rood) en berekende impact van de lokale bronnen (blauw) voor de meetstations Luchtbal, Antwerpen Linkeroever en Boudewijnslui.

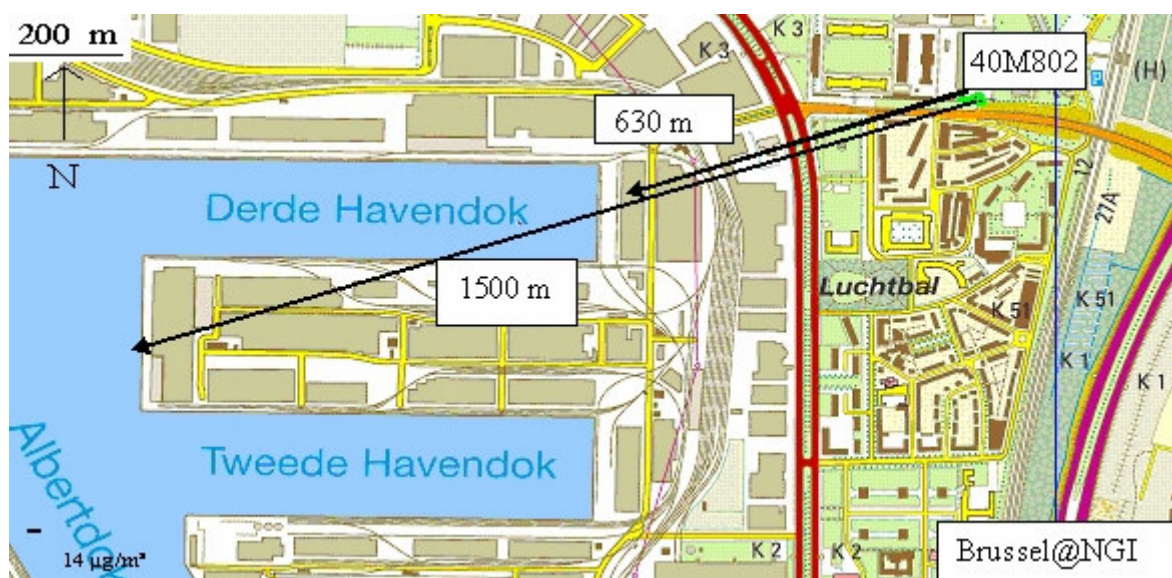


Figuur 18: Tijdreeks van achtergrond (grijs), lokale component afgeleid uit metingen (rood) en berekende impact van lokale bronnen (blauw) voor het meetstation Linkeroever.

3.3.1.3 Beperkingen en de relatie bronsterkte-afstand-impact

Er werden een aantal regressie-berekeningen uitgevoerd, elk met een andere strategie. De toewijzing van de PM_{10} -bronsterkte per havendok e.d. blijft bij de verschillende oplossingen min of meer constant. De toewijzing van de PM_{10} -massa aan de verschillende bedrijven in een havendok is echter niet mogelijk, behalve bij het 3e Havendok. De door regressie bepaalde hoeveelheid PM_{10} is echter afhankelijk van de plaats binnen het bedrijfsterrein, waar men het zwaartepunt van de emissies plaatst.

De installaties van een bedrijf in het 3e Havendok (zie Figuur 19) liggen op 630 meter tot 1500 meter van het meetpunt 42M802 (Luchtbal). Regressie kan - met de huidige configuratie van meetpunten- geen onderscheid maken tussen een emissie die plaats vindt op 630 meter en een emissie die plaatsvindt op 1500 meter in de zelfde richting. Maar in de praktijk moeten we aan de regressie zeggen waar de emissies van het bedrijf zich bevinden: ofwel dichtbij ofwel veraf.



Figuur 19: 3e Havendok

De benodigde emissie om een gemeten impact te verklaren neemt toe met bijna een factor 3 per verdubbeling van de afstand. Praktisch betekent dit dat, indien we zeggen dat alle emissie op 1500 m van het meetpunt plaats vindt, de regressie een bijna 4 maal grotere bronterm zal geven dan wanneer we alle emissie laten vertrekken van op 630 meter van het meetpunt.

Voor bedrijven die op een grotere afstand van een meetpunt liggen, of die vanuit 2 meetpunten vanuit een (voldoende grote) verschillende hoek worden gezien, is de geschatte hoeveelheid emissie minder gevoelig aan de plaatsing van het zwaartepunt van de emissies.

In onderstaande Tabel 7 worden ter illustratie de geschatte afstanden (grootte-orde) van de gegroepeerde diffuse bronnen tot de meetstations weergegeven. De meeste bronnen liggen binnen een straal van 2 km van het dichtstbijzijnde meetstation. Enkel de bronnen gegroepeerd in Leopolddok/Hansadok en Hansadok Zuid liggen buiten 2 km van elk

meetstation. De bron 5e Havendok viel weg tijdens de modellering om een beter wiskundig resultaat te bekomen en is hier niet meer weergegeven.

Tabel 7: Afstanden (grootte-orde) van de gegroepeerde diffuse bronnen tot de meetstations.

Diffuse bronnen	Geschatte afstand (grootte-orde) van de diffuse bron tot het meetstation in km		
	Luchtbal	Linkeroever	Boudewijnslui
Kanaaldok B1:	6,5 - 7,8	6,4 - 7,8	1,1 - 2,1
Graandok:	5,1 - 5,6	4,7 - 5,2	1,6 - 2,1
3e Havendok:	0,7 - 1,6	2,6 - 3,6	5,7 - 6,8
Amerikadok:	2,5 - 3,1	1,1 - 1,6	5,9 - 6,9
Leopolddok/Hansadok	3,0 - 5,2	2,5 - 3,8	2,5 - 4,6
Hansadok Zuid	4,9 - 5,4	2,4 - 3,4	2,9 - 3,8

3.3.2 Modelresultaten BelEUROS

De volgende tabel toont de berekende jaargemiddelde achtergrondconcentraties PM_{10} voor de meetlocaties van het studiegebied voor de “huidige situatie” (jaar 2003), voor het jaar 2015 en de via interpolatie verkregen achtergrondconcentraties voor het jaar 2010. *De berekeningen werden telkens uitgevoerd zonder de lokale emissies vanuit bronnen gelegen in het studiegebied.* Ook natuurlijke bijdragen zoals zeezout en opgewaaid bodemstof ontbreken in de berekening. Voor meer detail wordt naar bijlage 5 verwezen.

Tabel 8: Gemodelleerde PM_{10} -achtergrondconcentraties zonder lokale bronnen binnen het studiegebied

Station	2003 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2010 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2015 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Antwerpen-Linkeroever (40AL01)	26,1	21,9	19,4
Antwerpen-Luchtbal (42M802)	23,8	20,8	18,8
Boudewijnslui (40AB01)	25,8	22,7	20,7
Berendrecht (42R831)	25,8	22,7	20,7
Zwijndrecht (42R815)	25,5	22,0	19,9

Voor de Vlaamse en de buitenlandse bijdragen aan de vermelde PM_{10} -concentraties werden voor de 5 meetlocaties de volgende waarden berekend, zie onderstaande tabel.

Tabel 9: Vlaamse bijdragen (%) aan de PM_{10} -achtergrondconcentraties

Station	2003 [%]	2010 [%]	2015 [%]
Antwerpen-Linkeroever (40AL01)	44,9	42,3	40,8
Antwerpen-Luchtbal (42M802)	30,2	28,4	27,4
Boudewijnslui (40AB01)	26,2	25,3	24,7
Berendrecht (42R831)	26,2	25,3	24,7
Zwijndrecht (42R815)	43,9	43,2	42,7

Deze waarden zijn het percentage Vlaamse bijdrage aan de *gemodelleerde* PM_{10} -achtergrondconcentraties. Omwille van ontbrekende bijdragen (natuurlijke bronnen, ...) zou

de Vlaamse bijdrage aan de *gemeten* PM₁₀-concentraties iets lager liggen. In het hoofdstuk “Verspreiding van zwevend stof” van het MIRA-T focusrapport wordt de natuurlijke bijdrage in rekening gebracht en een gemiddelde Vlaamse bijdrage aan de PM₁₀-concentraties in Vlaanderen (voor het jaar 2002) van 29 % berekend. In de nabijheid van een gebied met vele emissies zoals de stad Antwerpen ligt de Vlaamse bijdrage echter hoger dan het Vlaamse gemiddelde. De Vlaamse bijdrage voor het jaar 2010 werd terug via een interpolatie bepaald.

De omrekening van de percentages Vlaamse bijdragen naar (absolute) PM₁₀-achtergrondconcentraties levert voor de 5 meetstations volgende Vlaamse en buitenlandse bijdragen op, zie onderstaande tabel.

Tabel 10: Gemodelleerde PM₁₀-achtergrondconcentraties (zonder lokale bronnen) opgesplitst in Vlaamse en buitenlandse bijdragen

Station	2003		2010		2015	
	Vlaamse bijdrage	Buitenlandse bijdrage	Vlaamse bijdrage	Buitenlandse bijdrage	Vlaamse bijdrage	Buitenlandse bijdrage
Antwerpen-Linkeroever (40AL01)	11,7	14,4	9,3	12,6	7,9	11,5
Antwerpen-Luchtbal (42M802)	7,2	16,6	5,9	14,9	5,2	13,6
Boudewijnsluis (40AB01)	6,8	19,0	5,7	17,0	5,1	15,6
Berendrecht (42R831)	6,8	19,0	5,7	17,0	5,1	15,6
Zwijndrecht (42R815)	11,2	14,3	9,5	12,5	8,5	11,4

De volgende tabel toont de resultaten voor de 5 meetstations voor een berekening *met* alle (antropogene) emissiebronnen, ook de bronnen gelegen in het studiegebied. Ter vergelijking zijn ook de gemeten jaargemiddelde PM₁₀-concentraties per meetstation weergegeven.

Tabel 11: Gemodelleerde PM₁₀-concentraties met ook de lokale bronnen erbij en jaargemiddelde PM₁₀-concentraties

Station	Gemodelleerd			Gemeten	
	2003 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2010 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2015 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2003 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	2004 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Antwerpen-Linkeroever (40AL01)	26,9	22,5	19,9	geen data	32,0
Antwerpen-Luchtbal (42M802)	26,1	22,4	20,3	43,6 ⁽¹⁾	38,5
Boudewijnsluis (40AB01)	29,4	25,7	23,3	geen data	36,6
Berendrecht (42R831)	29,4	25,7	23,3	geen data	geen data
Zwijndrecht (42R815)	26,5	23,0	20,6	geen data	35,6

⁽¹⁾ Jaargemiddelde vanaf april 2003

Uit deze tabel blijkt dat de modelresultaten van BelEUROS de gemeten waarden onderschatten. Mogelijke oorzaken voor deze onderschatting zijn:

1. de ongekennde bijdrage van natuurlijke en diffuse bronnen zowel binnen als buiten het lokale gebied en
2. de vermoedelijk onvolledige emissiebestanden voor puntbronnen in binnen- en buitenland.

3.4 Meetresultaten

De extra meetcampagne in juli en augustus 2006 heeft verschillende doeleinden:

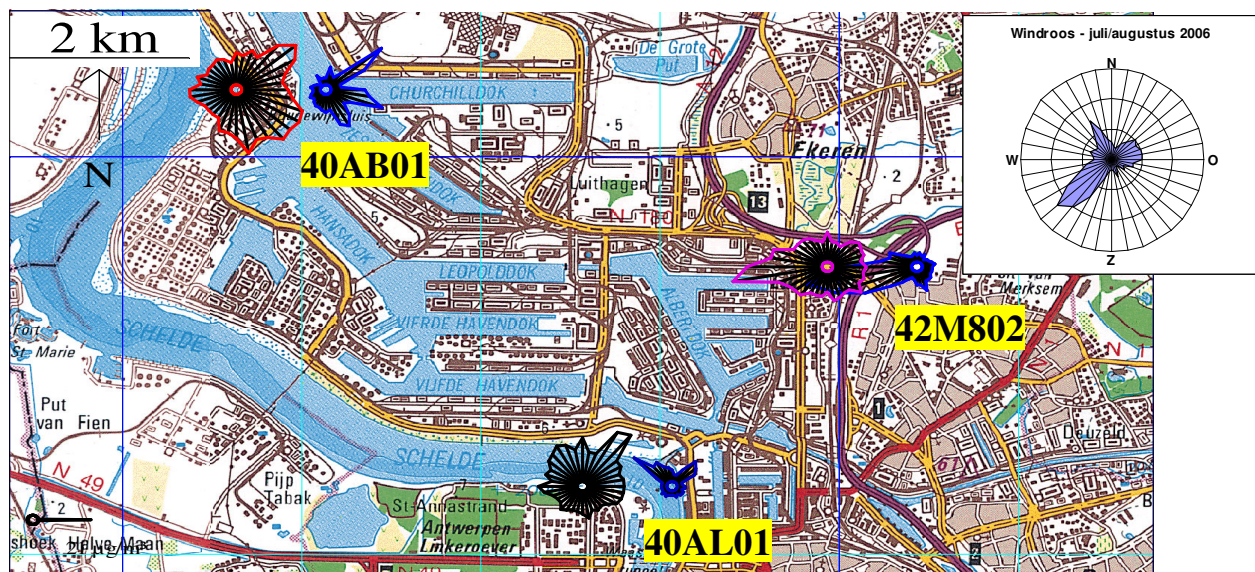
- Controle of dezelfde bronnen terug gevonden worden als bij de EMIAD modellering van de jaargemiddelde situatie.
- Zoeken van eventuele bijkomende bronnen op basis van het meer fijnmazig netwerk dat tijdens de korte meetcampagne is gebruikt.
- Op basis van de chemische samenstelling van het stof (het gehalte van bepaalde metalen) of de grootteverdeling van het stof, bepaalde onbekende bronnen lokaliseren of bekende bronnen bevestigen.

3.4.1 Pollutierozen

Zoals voor het meteorologisch jaar 2004-2005 werd voor deze meetcampagne een PM_{10} -achtergrond bepaald uit de laagste halfuursgemiddelden gemeten in het VMM meetnet Vlaanderen.

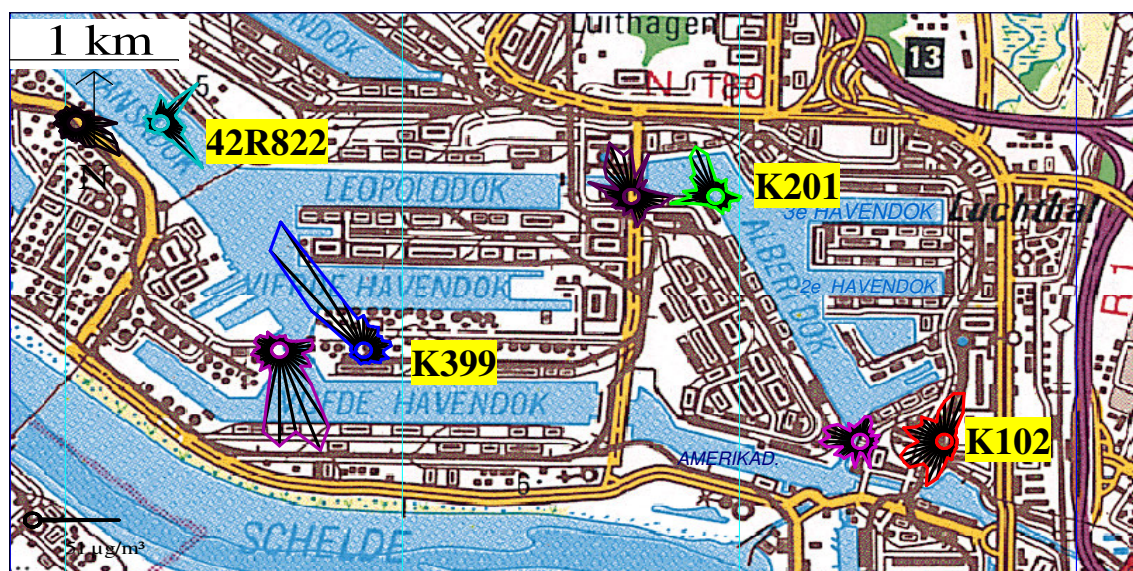
In onderstaande Figuur 20 worden de pollutierozen van de 4 extra meetplaatsen (op basis van de Grimm) en deze van de 3 meest nabijgelegen meetstations van de VMM weergegeven, samen met de gemodelleerde pollutierozen. De gemodelleerde pollutierozen houden rekening met de bronnen vermeld in Tabel 6. Tijdens de maanden juli en augustus 2006 kwam de wind voornamelijk uit zuidwesten en noordoosten wat redelijk vergelijkbaar is met windrozen voor een heel jaar. Enkel wind uit zuidelijke richting is enigszins ondervertegenwoordigd. Conclusies op basis van metingen uit deze windrichting zijn hierdoor minder betrouwbaar (zoals bv. de zuidelijke component van de pollutierozen van K399). De resultaten van de 3 meetstations van de VMM komen (globaal gezien) goed overeen in vergelijking met de pollutierozen van de jaargemiddelde situatie. In combinatie met de gunstige windroos zouden ook de extra metingen informatie moeten verschaffen die representatief is voor een langere periode.

Emiks @ Vito-Mol Meetstations van de VMM (1/7/2006 t.e.m. 31/8/2006)



pollutieroos, gemeten + "PM_ref" ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 pollutieroos, berekende pm10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), alle bronnen

Emiks @ Vito-Mol Meetcampagne (Grimm meetpunten VITO) (1/7/2006 t.e.m. 31/8/2006)



pollutieroos, gemeten + "PM_ref" ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 pollutieroos, berekende pm10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), alle bronnen

Figuur 20: Pollutierozen gemeten (linkse pollutierozen) en berekend (rechtse pollutierozen) voor de impact van lokale PM₁₀ bronnen voor de meetstations tijdens juli-augustus 2006 (bovenste figuur) en voor de meetcampagne juli-augustus 2006 (onderste figuur).

3.4.2 Gemeten metaalconcentraties

Onderstaande tabel geeft de gemeten metaalconcentraties weer tijdens de meetcampagne. Per meetplaats wordt aangegeven welke metalen op welke dag op welke plaats "verhoogd" zijn. De windrichting die erbij vermeld wordt, is een globale inschatting. De blauw gekleurde tekstgedeelten zijn de dagen met de grootste verhogingen, op de andere dagen zijn de verhogingen minder uitgesproken maar toch nog zichtbaar. De rode aanduidingen zijn de elementen die ook belangrijk verhoogd zijn ten opzichte van "normale" waarden in Vlaanderen (cfr. waarden gebruikt in de andere "hot spot" studies). Voor sommige dagen is ook al een eerste bronaanduiding gedaan. Voor meer gedetailleerde resultaten wordt naar de bijlage 2 verwezen.

Tabel 12: Overzicht gemeten metaalconcentraties tijdens de meetcampagne

Meet-plaats	Metalen	Dag	Meteo	Potentiële bronnen
K102	Al Si Ca	11 juli 22 augustus	NW W	- zand
	specifiek Ca	10 augustus	W	
	specifiek Al	14 augustus	W en NW	
K201	Cu Zn As Pb Ca	13 juli 18 juli	N N-en O	- (onbekende) metaalbronnen in noordoostelijke en noordwestelijke richting
	specifiek K	18 juli	NO	
	Zn + Cu	26 juli 8 augustus	NO N	
	P+Ti (beetje K)	4 augustus 8 augustus 25 augustus	NW N W en NW	
K399	Al Si Ca	8 juli 9 juli 10 juli	ZW ZW ZW	- zand - opslagplaats (W)
	S	8 juli 23 juli 18 augustus	ZW W Z	- petrochemie - zandhopen en cementbereiding
	Cu-Zn	19 juli	O; ZO; NE	
	Ni+V	6 augustus	NW	- verkeer (scheepvaart) - petrochemie
42R822	Al-Si-Ca + Mn-Fe	19 juli	O	- Fe afkomstig van slijpen/slijtage spoorweg - zand/ gritstralen ed schepen (ZO)
	S	13 augustus	variabel	- petrochemie

3.4.3 Tijdreeksen

Figuur 21 geeft de tijdreeksen (glijdende daggemiddelden) van de gemeten en de berekende impact van lokale PM₁₀-bronnen in de Antwerpse haven (meetcampagne juli-augustus 2006) voor zowel de VITO meetpunten als de VMM meetstations. Deze figuur wordt verder onder 3.4.4 besproken.

Meetcampagne (Grimm-metpunten VITO)	Meetstations van de VMM



Figuur 21: Tijdreeksen (glijdende daggemiddelden) van gemeten (rood) en berekende (blauw) impact van lokale PM_{10} -bronnen in de Antwerpse haven, meetcampagne juli-augustus 2006: VITO en VMM meetpunten; in $\mu g PM_{10}/m^3$.

3.4.4 Conclusies voor de extra meetplaatsen

Voor de verschillende meetplaatsen kunnen de verschillende pollutierozen (Figuur 20) en de tijdreeksen (Figuur 21) geëvalueerd worden rekening houdend met de grootteverdeling van het gemeten stof (zie bijlage 2), de chemische samenstelling (zie Tabel 12 en bijlage 2) en de aanwezigheid van gekende bronnen.

3.4.4.1 Grimm-metpunten VITO

Meetpunt K102 (Havenbedrijf)

In de (gemeten) pollutierozen worden bekende bronnen zoals deze gelegen aan het 3e Havendok (PM₁₀ uit noordoostelijke richting) en aan het Amerikadok (PM₁₀ uit westelijke richting) teruggevonden. De ligging van de emissies in het 3e Havendok konden dank zij deze metingen meer nauwkeurig bepaald worden.

In noordwestelijke richting ligt een onbekende bron van PM₁₀. De bron bevat aluminium, silicium en calcium. Aangezien echter deze elementen niet altijd samen voorkomen is dit geen typische "zand"bron.

Het verschil in de pollutierozen bij het meetpunt K102 (Havenbedrijf) is van rekentechnische oorsprong. In de rekencode ligt het meetpunt pal op de lijnbron die gebruikt is voor de weergave van de emissies van scheepvaart in deze dokken en de emissies van de bijhorende op- en overslag activiteiten. Deze emissies vinden in werkelijkheid plaats over een 2-dimensionaal gebied, terwijl door de lijnbron alles op één lijn wordt samengevoegd. Hierdoor is de pollutierozen van de regressie meer gepiekt, in vergelijking met de meer gespreide gemeten pollutierozen.

Meetpunt K201 (Oosterweelbrug)

Op dit meetpunt wordt ook een effect van het 3e Havendok waargenomen (PM₁₀ uit oostelijke richting).

De kleinere pieken in noordoostelijke en zuidoostelijke richting zouden afkomstig kunnen zijn van het verkeer (opwaaiend stof?).

De grootste piek in noordwestelijke richting wijst naar een onbekende bron van voornamelijk TSP. In dit stof zitten ook verschillende metalen. De noord-noordwestelijke piek in de gemeten pollutierozen van de meetwaarden bij de K201 (Oosterweelbrug) wordt gereproduceerd in de berekende pollutierozen door een extra lozingspunt ter hoogte van de Oosterweelbrug in rekening te brengen.

Meetpunt K399 (Waterbedelingspost)

Dit meetpunt komt het minst goed overeen met de gemodelleerde waarden. De verwachte emissiebron, nl. Hansadok Zuid, in noordwestelijke richting geeft lagere meetwaarden dan verwacht.

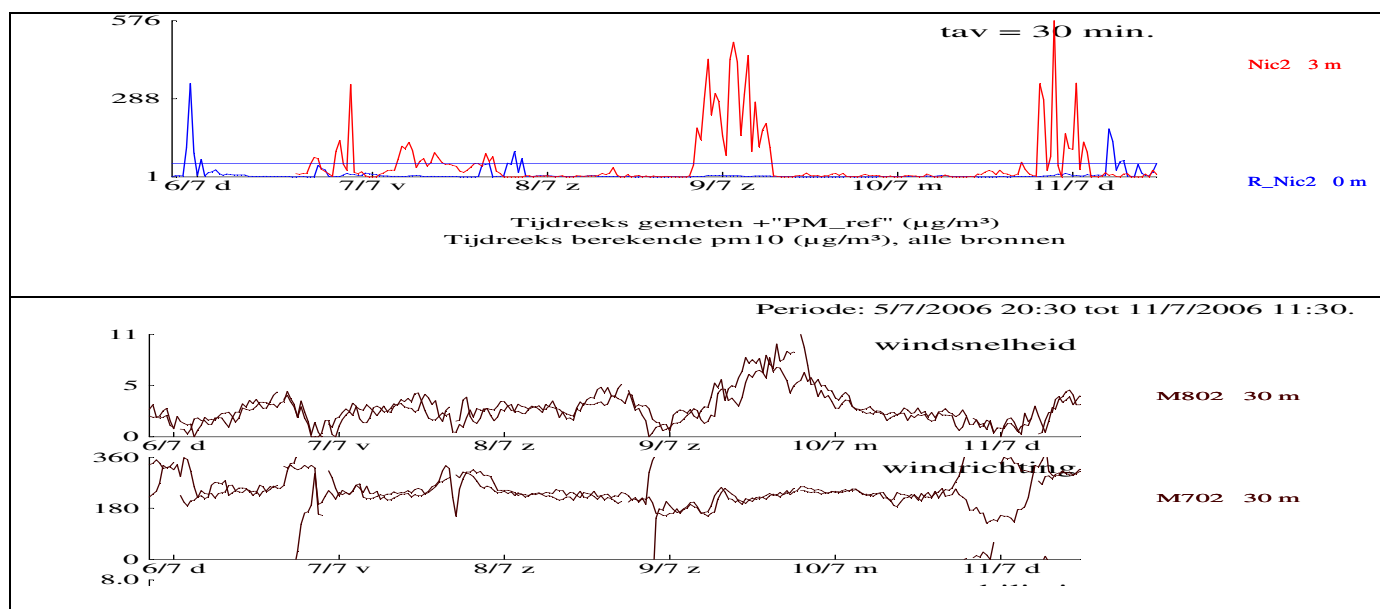
De bron in zuidelijke richting, vermoedelijk op het 5e Havendok, geeft veel hogere meetwaarden dan verwacht. De meetwaarden in zuidelijke richting wijzen op een grote hoeveelheid TSP. Opmerking: het is echter zo dat de wind uit zuidelijke richting enigszins ondervertegenwoordigd is tijdens de meetcampagne, zodat conclusies voor deze richting minder betrouwbaar zijn.

In oostelijke (4e Havendok) en westelijke richting worden een aantal kleinere onbekende bronnen aangetroffen van voornamelijk PM₁₀.

De pollutierozen gemeten-berekend bij het meetpunt K399 (Waterbedelingspost) zijn nogal verschillend.

De noordwestelijke piek in de pollutieroos van de berekende waarden, zie Figuur 20, zou kunnen komen van een emissiebron ter hoogte van Hansadok-Zuid, die gemodelleerd was als een continue bron. Deze piek is niet in de gemeten pollutieroos terug te vinden. De wind is tijdens de meetperiode tussen donderdag 3 augustus en zondag-middernacht 6 augustus van over deze werf naar het meetpunt gewaaid, zie de blauwe (gemodelleerde) piek in de tijdsreeks voor "Nic2" (K399) van Figuur 21. Dit kan er dus op duiden dat tijdens deze periode de emissiebron ter hoogte van Hansadok-Zuid niet actief zou geweest zijn. Voor de andere periodes kan over de emissiebron ter hoogte van Hansadok-Zuid geen uitspraak gedaan worden.

De piek naar het zuiden in de pollutieroos van de gemeten waarden is veroorzaakt door verhoogde PM_{10} -concentraties gemeten tijdens de nachten van 6-7, 8-9 en 10-11 juli bij wegvallende windsnelheid, zie de rode pieken in onderstaande Figuur 22 (close-up tijdsreeks halfuurswaarden PM_{10} en wind). Het lijkt op de impact van een lokale stationair lozende kleine bron waarvan de emissie zich in stilstaande lucht ophoopt.



Figuur 22: Hoge PM_{10} -waarden 's nachts bij wegvallende zuidenwind gemeten in het meetpunt K399 (Waterbedelingspost)

Meetpunt 42R822 (Polderdijkweg)

Hier wordt een verwacht effect van een PM_{10} bron terug gevonden in oostelijke richting. Een onbekende bron van zowel TSP als PM_{10} wordt gevonden in zuidoostelijke richting (in de richting van Hansadok-Zuid of 4e Havendok).

Het verschil tussen de pollutierozen gemeten-berekend bij het meetpunt 42R822 (Polderdijkweg) is een piek in noordoostelijke richting in de roos van de berekende waarden. Alleen in juli is de wind uit die richting gekomen, zo'n 60 halve uren: 10 keer overdag tussen 10 uur en 17 uur en 49 keer tussen 18 uur 's avonds en 5 uur 's morgens.

Besluit

De metingen bevestigen dus in grote lijnen dat de modelresultaten voor de huidige toestand plausibel zijn. Het is hiermee ook duidelijk dat de bronnen van PM₁₀ die bijdragen tot de PM₁₀ concentraties en overschrijdingen van de meetstations geen incidentele emissies veroorzaken, maar structureel bijdragen tot PM₁₀-emissies.

Daarnaast illustreren deze metingen nogmaals het complexe PM₁₀ verhaal: meetstations observeren slechts die bronnen binnen een straal van ongeveer 2 km. Daarbuiten liggen nog veel onbekende bronnen van PM₁₀.

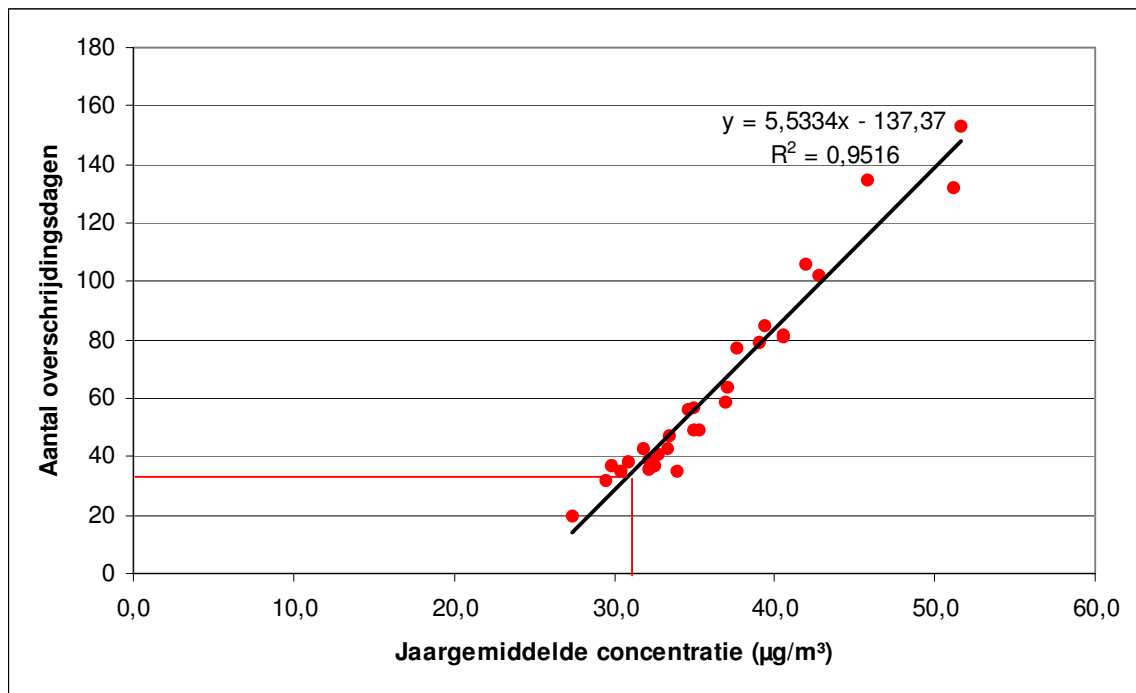
3.4.4.2 VMM-meetpunten

De pollutierozen in de 3 VMM meetpunten juli/augustus zijn ‘meer gevuld’ dan de overeenstemmende pollutierozen van de berekende waarden, zie Figuur 20. De tijdreeksen gemeten/berekend, zie Figuur 21, variëren min of meer gelijkmatig, al valt het op dat de verhouding meetwaarde/berekend in juli hoger is dan in augustus¹⁰.

3.5 Modelresultaten: analyse van de toekomstige situatie

Bij de analyse van de toekomstige situatie wordt rekening gehouden met een verlaagde achtergrond, de reeds bestaande wetgeving, en het verschil tussen gemeten concentraties en gemodelleerde concentraties vanwege de ongekende bronnen. Voor het bepalen van de reducties die nodig zijn om de grenswaarden voor PM₁₀ in 2015 te respecteren zijn we uitgegaan van de correlatie tussen het aantal overschrijdingen van de daggemiddelde PM₁₀ concentraties van 50 µg/m³ en de jaargemiddelde PM₁₀ concentraties. De grenswaarde van 35 overschrijdingsdagen komt dan overeen met een jaargemiddelde PM₁₀ concentratie van 31,2 µg/m³, zie onderstaande figuur. Deze daggrenswaarde is beduidend strenger dan de jaargrenswaarde van 40 µg/m³ en is dus de limiterende van de twee. Daarom hebben we ons voor 2015 gebaseerd op deze daggrenswaarde.

¹⁰ Het kan zijn dat voor deze warme juli-maand de gebruikte omzettingfactor monitor-PM₁₀-waarde naar PM_{10_ref} waarde te hoog is. Cfr. het verschil tussen de omrekeningsfactoren in België en Frankrijk. De overeenstemming tussen de tijdreeksen van de PM₁₀-piekwaarden en de temperatuur is erg opvallend. Opmerking: tijdens de meetcampagne was juli uitzonderlijk warm en droog (hoge concentraties opwaaiend stof, secundaire aerosolen) en augustus net heel nat.



Figuur 23: Verband tussen aantal overschrijdingsdagen (PM_{10} , 24 uur $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en de jaargemiddelde PM_{10} concentraties voor alle PM_{10} stations in België in het kalenderjaar 2002 (bron data: IRCEL).

Op basis van de bronnen en gekwantificeerde emissies, en de voorspelde toekomstige achtergrondconcentraties is in onderstaande tabel een overzicht gemaakt van de toekomstige situatie, rekening houdend met een aantal evoluties in de tijd. "Andere bronnen" is de sluitpost, waardoor de gemodelleerde resultaten overeenstemmen met de meting in de periode april 2004 t.e.m. maart 2005. Zowel verkeersemissies als emissies van puntbronnen zoals deze van de raffinaderijen zullen nog dalen zonder bijkomende maatregelen, nl. door toedoen van nieuwe stofnormen en NEC enerzijds, en door EURO normering anderzijds.

Tabel 13: Overzicht modelresultaten voor de huidige (periode april 2004 t.e.m. maart 2005) en toekomstige situatie (2010 en 2015) voor de 3 meetstations

	Jaargemiddelde concentraties in $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$			
	april 2004 t.e.m. maart 2005	2010	2015 CLE ⁽⁴⁾	Norm
Meetstation Luchtbal				
Achtergrond: buitenland + Vlaanderen	23,8	20,8	18,8	18,8
Puntbronnen: petrochemie ⁽¹⁾	0,25	0,1	0,1	0,1
Puntbronnen: andere	0,04	0,04	0,04	0,04
Diffuse bronnen	3,9	3,9	3,9	2,4 ⁽²⁾
Wegverkeer ⁽³⁾	2,3	1,3	0,7	0,7
Zeeschepen	0,5	0,5	0,5	0,5
Verwarming en ander transport	2,7	2,7	2,7	2,7
Andere bronnen (o.a. natuurlijke)	5,6	5,6	5,6	5,6
TOTAAL (= gemeten concentratie)	39,0	34,9	32,3	30,9
Aantal dagen berekende overschrijdingen	69	51	41	35
Aantal dagen gemeten overschrijdingen	66			
Meetstation Linkeroever				
Achtergrond: buitenland + Vlaanderen	26,1	21,9	19,4	19,4
Puntbronnen - petrochemie ⁽¹⁾	0,4	0,3	0,3	0,3
Puntbronnen - andere	0,06	0,06	0,06	0,06
Diffuse bronnen	2,3	2,3	2,3	2,3
Wegverkeer ⁽³⁾	0,8	0,4	0,2	0,2
Zeeschepen	0,7	0,7	0,7	0,7
Verwarming en ander transport	3,1	3,1	3,1	3,1
Andere bronnen (o.a. natuurlijke)	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
TOTAAL (= gemeten concentratie)	32,0	27,3	24,6	24,6
Aantal dagen berekende overschrijdingen	39	20	8	8,3
Aantal dagen gemeten overschrijdingen	32			
Meetstation Boudewijnsluis				
Achtergrond: buitenland + Vlaanderen	25,8	22,7	20,7	20,7
Puntbronnen - petrochemie ⁽¹⁾	0,8	0,5	0,5	0,5
Puntbronnen - andere	0,2	0,2	0,2	0,2
Diffuse bronnen	2,7	2,7	2,7	2,1 ⁽²⁾
Wegverkeer ⁽³⁾	0,2	0,1	0,1	0,1
Zeeschepen	2,1	2,1	2,1	2,1
Verwarming en ander transport	1,7	1,7	1,7	1,7
Andere bronnen (o.a. natuurlijke)	3,5	3,5	3,5	3,5
TOTAAL (= gemeten concentratie)	37,0	33,5	31,4	30,8
Aantal dagen berekende overschrijdingen	60	46	37	34
Aantal dagen gemeten overschrijdingen	55			

⁽¹⁾ voor de raffinaderijen werd een emissiereductie van 40 % verondersteld voor 2010 en 2015 (NEC)

⁽²⁾ voor de diffuse bronnen bij Antwerpen Luchtbal en Boudewijnsluis wordt een reductie van 37 % respectievelijk 24 % vooropgesteld om aan de norm te voldoen tegen 2015

⁽³⁾ voor het wegverkeer wordt een emissiereductie van 44% verondersteld in 2010 ten opzichte van 2003 en van 68 % 2015 ten opzichte van 2003.

⁽⁴⁾ Current Legislation

Vaststellingen:

1. Mits een reductie van ongeveer 40% van de diffuse emissies kan de norm in 2015 gehaald worden voor het meetstation Antwerpen Luchtbal. Voor 2010 is er voor Antwerpen Luchtbal nog een bijkomende zware reductie vereist om de norm te behalen. In theorie komt dit neer op een reductie van alle diffuse bronnen in de omgeving met 100%, maar dit is uiteraard niet realistisch. Ongeveer 1/7 van de bijdragen is bovendien nog niet verklaard. Bijkomend onderzoek naar de juiste impact van zeeschepen (zoals een betere afschatting van de emissies van de hulpmotoren t.g.v. het laden en lossen) en mogelijke reducties en het effect van reductiemaatregelen voor stof bij op- en overslagbedrijven is hier op zijn plaats.
2. De totale gemodelleerde bijdrage wordt voor Antwerpen Linkeroever overschat, jaargemiddeld met $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de periode april 2004 t.e.m. maart 2005. Omdat Antwerpen Linkeroever minder een probleem stelt, geeft dit geen aanleiding tot een vertekend beeld van de noodzakelijke reducties in 2010 of 2015.
3. Mits een reductie van ongeveer 25% op de diffuse bronnen die het meetstation Boudewijnsdijk beïnvloeden kan de norm in 2015 gehaald worden. Voor 2010 stelt er zich echter een probleem. Om de norm te behalen komt dit in theorie, zoals bij het meetstation Antwerpen Luchtbal, neer op een reductie van alle gekende diffuse bronnen met 100%. Dit is uiteraard niet realistisch. In zuidwestelijke richting van het meetstation Boudewijnsdijk is de locatie van een belangrijke diffuse bron nog niet gevonden, waardoor deze bron niet is opgenomen. Aangezien de bijdrage aan de pollutie uit zuidwestelijke richting vrij belangrijk is moet er eerst werk gemaakt worden van het traceren van deze bron.

Opmerkingen

Een verschil van enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kan reeds belangrijk zijn voor het behalen van de normen. Het is echter ook zo dat om de immissieconcentratie met $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ te verlagen er soms veel inspanningen op gebied van emissies dienen te gebeuren. In andere "hot spot" gebieden wordt ook vastgesteld dat de lokale invloed beperkt is tot enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Mogelijke reductiemaatregelen voor diffuse stofemissies bij o.a. op- en overslag bedrijven, kunnen teruggevonden worden onder [ref. Torfs R. et al, 2006].

Er wordt een reductie van 40% aangenomen voor de raffinaderijen. Dit is bijkomend aan de reductie die recent reeds gerealiseerd is. We vertrekken van de gevonden emissies in het meteorologisch jaar 2004-2005, waaruit blijkt dat een reductie is doorgevoerd die –in dat jaar- een impact heeft van 437 ton. Vanaf de volgende jaren is deze reductie permanent en bijna dubbel zo groot op jaarbasis (dus ongeveer 876 ton reductie per jaar). Er rest dan nog ongeveer 861 ton PM10 voor de petrochemische sector. Deze vermindert tegen 2010. In het stofplan wordt ervan uitgegaan dat de PM10-emissies zullen dalen tot ongeveer 440 of 590 ton per jaar in 2010, afhankelijk van de assumpties. Vertrekkend van die 861 ton resterende PM10 is er dus nog marge voor 32 tot 49% bijkomende reductie, conform het stofplan en onze gevonden emissies. Wij hebben hiervan een gemiddelde genomen van ongeveer 40%.

Deze assumptie heeft weinig invloed op het eindresultaat omwille van de relatief kleine bijdrage van de hoge puntbronnen van de raffinaderijen in de lokale PM_{10} problematiek.

4 AANBEVELINGEN EN PRIORITEITEN VOOR VERDER ONDERZOEK

1. Het begroten van de emissies van de baggerboten, de sleepboten en de binnenvaart.
2. De locatie van sommige (on)bekende diffuse bronnen beter in kaart brengen. De extra meetcampagne in juli en augustus 2006 illustreert het complexe PM₁₀ verhaal: meetstations observeren slechts die bronnen binnen een straal van ongeveer 2 km. Daarbuiten liggen nog veel onbekende bronnen van PM₁₀. Een aantal onbekende bronnen dienen nog geïdentificeerd (ligging en grootte) te worden. De meetwaarden bij de Boudewijnsdijk bv. tonen een belangrijke aanwaaier van PM₁₀ bij zuidwestelijke winden. Met de gekende bronnen wordt er veel minder berekend. Bijkomende metingen, bijvoorbeeld vlak ten zuidwesten van de Van Cauwelaertsluis, zouden toelaten om de oorsprong van dit extra PM₁₀ aan een bepaalde bron te koppelen. (Extra scheepvaartemissies bij de sluisen? Niet geïnventariseerde PM₁₀ lozingen? Minimale opwaaier van stof van bodem/vegetatie ?)
3. Bedrijven aanzetten om in hun IMJV hun diffuse stofemissies en genomen maatregelen beter te rapporteren. De meeste bedrijven met potentiële diffuse stofemissies, met name vooral de op- en overslagbedrijven, moeten echter geen IMJV opstellen, hierdoor gaat belangrijke informatie omtrent grootte-orde van diffuse emissies en reeds genomen maatregelen verloren.
4. De op- en overslagactiviteiten strikter controleren om diffuse stofemissies te beperken. Niet enkel het bestaan van de nodige procedures voor op- en overslag op papier is belangrijk, nog belangrijker is dat ze in de praktijk correct worden uitgevoerd.
5. Het onderzoeken van discrepanties bij diffuse emissies gerapporteerd in het IMJV en berekend tijdens de modellering.
6. Het nagaan van emissiereducerende maatregelen (welke en sinds wanneer) bij op- en overslagbedrijven.

5 REFERENCES

Builtjes (2006) persoonlijke communicatie

Cenedese A., Cosemans G., Erbrink H. (Chairman) and Stubi R.. Meteorology COST Action 710 - Final report 'Harmonisation of the pre-processing of meteorological data for atmospheric dispersion models' - EUR 18195 EN (1998), Part 4, p. 1-43 / B. E. A. Fisher, J. J. Erbrink, S. Finardi, et al (eds.).

Colles A., Janssen L., Deutsch F., Vankerkom J. (2004) Uitbreiding PREMIS voor NH₃, fijn stof en de MIRA-sectoren, Studie uitgevoerd in opdracht van de VMM, VITO-rapport 2004/IMS/R/249, 26 pp.

Colles A., Janssen L., Deutsch F., Vankerkom J. (2005) Uitbreiding van de emissie-preprocessor van het BeEUROS model voor fijn stof en naar de MIRA deelsectoren, Studie uitgevoerd in opdracht van de VMM, VITO-rapport 2005/IMS/R/118, 44 pp.

Cosemans G., Kretzschmar J.G., Huys C., De Weyn F., Westyn H.. Determination of the optimal location for a deNO_x-deSO_x in a coal-fired power plant as a function of the local eco-systems / Proceedings 4th International conference on air pollution. Monitoring, simulation and control. 27-31 August, 1996. Toulouse, France - (1996), p. 405-414 / B. Caussade, H. Power, C.A. Brebbia (eds.).

Cosemans G., Dumont G., Roekens, E. Kretzschmar J.G.. IFDM modelling for optimal siting of air quality monitoring stations around five oil refineries / Proceedings of the 21st NATO/CCMS International technical meeting on air pollution modeling and its applications. Baltimore, Maryland. November 6-10, 1995 - NATO challenges of modern society ; vol. 21 (1996), p. 642.

Cosemans G., Kretzschmar J.G.. The 1998 IFDM evaluation with the model validation kit. International Journal Environment and Pollution - Vol.14, Nos. 1-6: 122-130, 2000.

Cosemans G., Kretzschmar J.. Pollution roses for 24 h averaged pollutant concentrations by regression / 8th International conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion modelling for regulatory purposes - p. 414-418, Bulgarian Institute of Meteorology and Hydrology, Sofia (Bulgaria), 2002

Cosemans G., Kretzschmar J.G.. Pollutant roses for 24 h averaged pollutant concentrations by respectively least squares regression and weighted sums / 9th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes - Volume 2, p.370-374, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, Duitsland, 2004

Delobbe L., Mensink C., Schayes G., Brasseur O., Passelecq C., Passelecq D., Dumont G. en Demuth C. (2002) BeEUROS: Implementation and extension of the EUROS model for policy support in Belgium, Global Change and Sustainable Development, Federal Science Policy Office, Brussels.

Deutsch F, Lefebvre F, Vankerkom J, Adriaensen S, Mensink C, Blommaert F, De Saedeleer V, Roekens E (2004a) Implementation of the gas phase chemical mechanism CACM and the particulate matter module MADRID 2 into the EUROS model; Proceedings of the 2nd GLOREAM/EURASAP Workshop, Copenhagen, Denmark, 6-8 September 2004.

Deutsch F, Lefebvre F, Vankerkom J, Adriaensen S, Mensink C (2004b) Modellerling van fijn stof, Studie uitgevoerd in opdracht van de VMM, VITO-rapport 2004/IMS/R/205.

Deutsch F, Janssen L, Vankerkom J, Lefebvre F, Mensink C, Fierens F, Dumont G, Roekens E (2006a) Modelling changes of aerosol compositions over Belgium and Europe, International Journal of Environment and Pollution, accepted.

Deutsch F, Vankerkom J, Janssen L, Lefebvre F, Mensink C, Fierens F, Dumont G, Blommaert F, Roekens E (2006b) Extension of the AURORA and EUROS integrated air quality models to fine particulate matter by coupling to CACM/MADRID 2, Environmental Modeling & Assessment, submitted.

Deutsch F, Vankerkom J, Janssen L en Mensink C (2006c) Modelbouw en scenario-analyse - Zwevend stof: Optimalisatie van modellerling van fijn stof, Rapport voor studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (MIRA), VITO-rapport 2006/IMS/R/099.

EMIAD-versie 2.0: Handleiding. Eindrapport. Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, G. Cosemans. Vito-rapport: 2000/TAP/068.

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

Mensink C. et al. (2006) Onderzoek naar de bronnen van PM₁₀ die bijdragen aan overschrijdingen en bijna-overschrijdingen in 2002 van de grenswaarden en overschrijdingsmarges zoals bepaald in de Europese richtlijn 1999/30/EG, voorstellen tot reductiemaatregelen, doorrekening en evaluatie (Integrale samenvatting) VITO rapport 2006/IMS/R/22, studie uitgevoerd in opdracht van AMINAL.

Pun B.K., Wu S.-Y. en Seigneur C. (2001) Contribution of biogenic emissions to the formation of ozone and particulate matter: Modeling studies in the Nashville, Tennessee and Northeast domains, Phase 2 Report for CRC Project A-23, Document Number CP051-01-1, Coordinating Research Council, Inc., Alpharetta, GA, USA.

Pun B.K., Griffin R.J., Seigneur C. en Seinfeld J.H. (2002) Secondary organic aerosol 2. Thermodynamic model for gas/particle partitioning of molecular constituents, *J. Geophys. Res.* 107 (D17), 4333, AAC 4-1 - 4-15.

Schrooten L., De Vlieger I., Cornelis E., Lefebvre F., Lodewijks P. en Van Rompaey H. (2003), 'Evaluatie van het reductiepotentieel voor fijn stofemissies (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}) naar het compartiment lucht in een aantal sectoren in Vlaanderen', VITO.

Torfs R., Berghmans P., Bleux N., Cosemans G., Liekens I., Sleenwaert F. en Van Rompaey H. (2006), 'Onderzoek en inventarisatie van diffuse bronnen van fijn stof en de daarop aanwezige micropolluenten - Voorstellen tot reductiemaatregelen.', VITO.

Verbeeck L. en Versieren J. (2006), "Milieueffectrapportage Oosterweelverbinding - (Ontwerp) Technisch deelrapport Lucht", Beheersmaatschappij Antwerpen Mobiel (NV BAM)

Vestreng V et al. (2005) Inventory Review 2005. Emission data reported to LRTAP and NEC Directive, initial review of HMs and POPs, EMEP/EEA Joint Review Report, EMEP/MS-C-W Note 1, July 2005.

Zhang Y., Pun B., Vijayaraghavan K., Wu S.-Y., Seigneur C., Pandis S.N., Jacobson M.Z., Nenes A. en Seinfeld J.H. (2004) Development and application of the Model of Aerosol Dynamics, Reaction, Ionization, and Dissolution (MADRID), *J. Geophys. Res.* 109, D01202, doi:10.1029/2003JD003501.