

**TNO-rapport**

**TNO-034-UT-2009-00998\_RPT-ML**

**Effecten maatregelen voor oplossen knelpunten  
luchtkwaliteit in Amsterdam**

Datum	mei 2009
Auteur(s)	Menno Keuken Karin van der Valk
Projectnummer	034.84268
Trefwoorden	Luchtkwaliteit maatregelen groenvoorzieningen fijn stof
Opdrachtgever	Gemeente Amsterdam t.a.v. mevr. W. Schipper Nieuwevaart 5-9 1090 HB AMSTERDAM
Aantal pagina's	40
Bijlagen	4

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

## Samenvatting

In Amsterdam wordt in het beleid veel aandacht besteed aan het realiseren van een adequate luchtkwaliteit o.a. door P+R faciliteiten, hoge parkeertarieven, extra fietsvoorzieningen en milieuzone vrachtauto's. Hierdoor wordt verwacht dat Amsterdam op termijn voldoet aan de luchtkwaliteitseisen, zoals vastgelegd in de normen voor NO<sub>2</sub> (stikstofdioxide) en PM<sub>10</sub> (fijnstof). Daarnaast heeft de gemeente Amsterdam een Plan van Aanpak opgesteld voor een zevental knelpuntlocaties met als doel op *korte termijn* de luchtkwaliteit te verbeteren en/of gezondheidswinst te boeken. Deze zeven knelpuntlocaties zijn: Stadhouderskade, Spaarndammerdijk, Tasmanstraat, Prins Hendrikkade, Weesperstraat, Zeilstraat en Jan van Galenstraat. Het gaat hierbij om de volgende twee type maatregelen: 1.) de inzet van groen (hagen en bomen) om luchtvervuiling te filteren en 2.) het reinigen en spoelen van wegen om opwervend wegennest te verminderen.

Onderzoek naar de effectiviteit van deze maatregelen is uitgevoerd door TNO met de Jan van Galenstraat als testlocatie in de periode half juli 2008 t/m mei 2009. Als toelichting op het onderzoek, het volgende:

- *opwervend wegennest*; Onderzoek in het Beleidsondersteunend programma Fijn Stof (BOP), dat de afgelopen 2 jaar in Nederland in opdracht van VROM is uitgevoerd, laat zien dat opwervend stof circa 60% bijdraagt aan de verhoging van fijnstof door verkeer in drukke straten. Dit inzicht ondersteunt, samen met aanwijzingen voor mogelijke gezondheidseffecten van opwervend wegennest, het Amsterdamse beleid om deze verkeersemisies terug te dringen. Daarom wil Amsterdam *op bepaalde dagen*, waarop overschrijding van de etmaalnorm van fijnstof wordt verwacht, de straten reinigen en spoelen, zodat de bijdrage van opwervend stof wordt verminderd.
- *filteren van luchtvervuiling door hagen*; Fietsers, voetgangers en bewoners worden in straten blootgesteld aan luchtvervuiling door autoverkeer. Door plaatsing van hagen langs de weg wordt geprobeerd deze luchtvervuiling te absorberen;
- *rol van bomen*; Bomen in een straat belemmeren verdunning van luchtverontreiniging vooral met een kronendak dat de weg "overkapt". Hierdoor verslechtert de luchtkwaliteit in de straat. Echter, bladeren aan de bomen kunnen ook luchtverontreiniging absorberen, zodat de luchtkwaliteit in de straat verbetert. Deze twee tegengestelde effecten zijn onderzocht bij platanen in de Jan van Galenstraat.

In het onderzoek zijn meetpunten ingericht op een lokale achtergrond locatie en vijf meetpunten in de Jan van Galenstraat. Op deze meetpunten zijn concentraties van fijn stof (PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub>), stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en roet (elementair koolstof – EC) gemeten. Het verschil in concentraties in de Jan van Galenstraat ten opzichte van de achtergrond locatie is een maat voor de bijdrage van het verkeer aan de luchtvervuiling in de Jan van Galenstraat. Naast metingen van de luchtkwaliteit zijn verkeersdata in de Jan van Galenstraat aangeleverd door de Gemeente Amsterdam en meteorologische data door het KNMI. Op basis van het onderzoek zijn de conclusies en aanbevelingen als volgt:

- *luchtkwaliteit*; De NO<sub>2</sub> concentraties in de Jan van Galenstraat zijn ruim boven de luchtkwaliteitsnorm en dit bevestigt dat de Jan van Galenstraat een knelpunt is voor luchtkwaliteit;
- *opwervend wegennest*; Er is *geen* significant verschil gemeten in de bijdrage van opwervend stof voor dagen met of zonder reiniging/spoelen. Uit deze resultaten wordt geconcludeerd dat reinigen/spoelen, volgens de huidige methode, *niet*

- effectief is om te voldoen aan de etmaalnorm voor  $PM_{10}$  in knelpuntstraten. [N.B. Alleen bij hoge neerslagintensiteit van meer dan 2 mm/uur lijkt de bijdrage aan opwervelend stof verlaagd. Dit duidt erop dat bij een permanent nat wegdek de bijdrage van opwervelend stof wordt verlaagd. Deze conclusie is echter voorlopig want metingen van fijn stof zijn bij forse neerslag onbetrouwbaar.];
- *filteren van luchtvervuiling door hagen*; Een haag geplaatst op maximaal 1 m van de wegrand, lijkt als obstakel de verspreiding van luchtvervuiling naar fietsers (bij een gescheiden fietspad van het autoverkeer) en voetgangers te beperken. Voor bewoners, wonend op meer dan 7 m van de wegrand, heeft een haag van circa 140 cm hoogte weinig effect, want de luchtvervuiling is aan de gevel weer op het niveau alsof er geen scherm was geplaatst;
  - *rol van bomen (platanen)*; Uit de resultaten van de metingen van roetdeeltjes en stikstofdioxide wordt geconcludeerd, dat bomen (platanen) met bladeren in de lente en zomer, de verspreiding van luchtvervuiling in een straat met druk verkeer belemmeren. Dit wordt *niet* gecompenseerd door de luchtzuiverende werking van bomen (platanen).

Samenvattend wordt geconcludeerd dat de voorgestelde maatregelen, zoals het reinigen/spoelen van straten en het filteren van luchtvervuiling met hagen *niet* effectief zijn om knelpunten van de luchtkwaliteit op te lossen. *Wel* lijken hagen - direkt geplaatst langs de weg - geschikt om blootstelling aan luchtverontreiniging te verminderen van voetgangers en fietsers (op een gescheiden fietspad). Het openhouden van het kronendak van bomen langs een weg, bevordert verdunning van luchtvervuiling maar is waarschijnlijk onvoldoende om knelpunten, zoals in de Jan van Galenstraat op te lossen. Bomen (en groen in het algemeen) op plaatsen waar geen of weinig verkeer rijdt, zijn *wel* van belang vanuit het oogpunt van leefbaarheid, biodiversiteit en “hitte-stress” door klimaatverandering.

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b> .....	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Achtergrond</b> .....
1.1	Inleiding.....
1.2	De Jan van Galen straat als testlocatie.....
<b>2</b>	<b>Projectomschrijving</b> .....
2.1	Doelstelling.....
2.2	Aanpak.....
2.2.1	Overleg.....
2.2.2	Metingen.....
2.2.3	Data analyse.....
<b>3</b>	<b>Resultaten</b> .....
3.1	Reinigingsregime.....
3.2	Weersomstandigheden.....
3.3	Verkeersdata.....
3.4	De bijdrage van opwervend stof: PM <sub>2,5-10</sub> .....
3.5	Invloed van bladeren aan bomen op de luchtkwaliteit.....
3.5.1	Onderzoek naar het effect van bladeren in de Jan van Galenstraat.....
3.5.2	Theoretisch afvangstefficiency van bomen met bladeren.....
3.6	Effect van hagen.....
3.6.1	Het effect van hagen op de verspreiding van NO <sub>2</sub> .....
3.6.2	Het effect van hagen op de verspreiding van fijn stof.....
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b> .....
<b>5</b>	<b>Referenties</b> .....
<b>6</b>	<b>Verantwoording</b> .....

## Bijlagen

- 1 Meetlocaties in de Jan van Galenstraat (Amsterdam)
- 2 De reinigings- en sproeidagen in de Jan van Galenstraat
- 3 Verdeling windrichtingen in de periode half juli 2008 t/m half januari 2009 (Schiphol)  
(0 = noord; 90 = oost; 180 = zuid en 270 = west)
- 4 PM<sub>10</sub> (Osiris eenheden) op de zes meetlocaties: periode half juli t/m half oktober 2008 en periode half oktober 2008 t/m half januari 2009
- 5 De relatie tussen windsnelheid en –richting, en neerlsag

# 1 Achtergrond

## 1.1 Inleiding

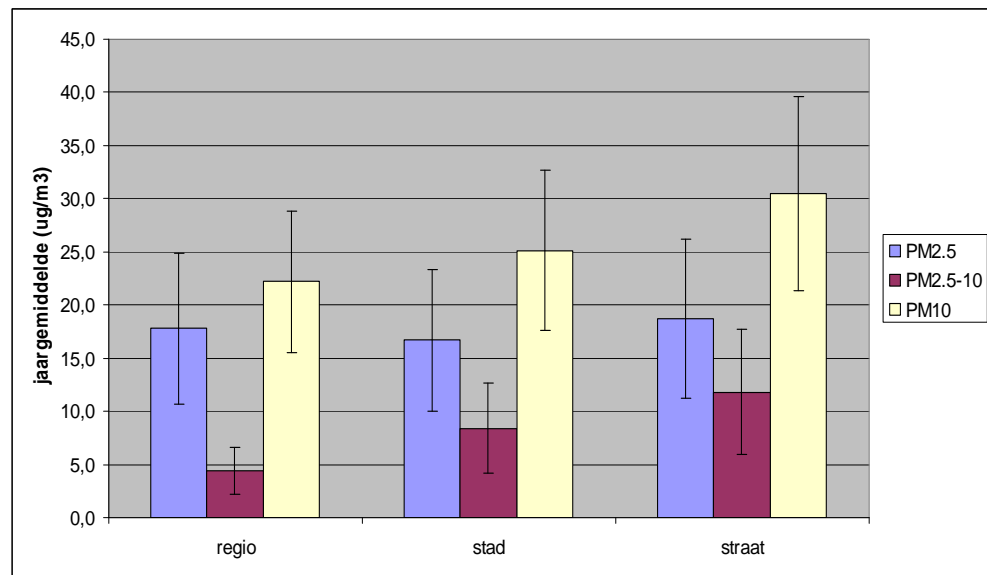
In Amsterdam wordt in het beleid veel aandacht besteed aan het realiseren van een adequate luchtkwaliteit o.a. door P+R faciliteiten, hoge parkeertarieven, extra fietsvoorzieningen en milieuzone vrachtauto's. Hierdoor wordt verwacht dat Amsterdam op termijn voldoet aan de luchtkwaliteitseisen, zoals vastgelegd in de normen voor NO<sub>2</sub> (stikstofdioxide) en PM<sub>10</sub> (fijnstof). In de tussentijd wil Amsterdam op korte termijn lokale maatregelen nemen om de luchtkwaliteit op een aantal knelpuntlocaties te verbeteren. Het gaat hierbij om de volgende twee type maatregelen: 1.) de inzet van groen om luchtvervuiling te filteren en 2.) het reinigen en spoelen van wegen om opwervend wegengestof te verminderen:

- *Lokale maatregelen en oplossen “knelpunten”*; De mogelijkheden met lokale maatregelen de luchtkwaliteit te verbeteren zijn beperkt want het overgrote deel van luchtverontreiniging komt van buiten Amsterdam aanwaaien. Dit geldt zeker voor PM<sub>10</sub> maar in mindere mate voor roet (EC) en NO<sub>2</sub>. Samen met algemene stedelijke bronnen geeft dit de *stedelijke achtergrond* van NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub>. Bovenop de stedelijke achtergrond zorgt de bijdrage van verkeer vooral met een hoog aandeel vrachtverkeer en in nauwe straten, dat normen worden overschreden. Voor fijnstof gaat het vooral om de etmaalnorm voor PM<sub>10</sub><sup>1</sup>. De gemeente Amsterdam heeft een Plan van Aanpak opgesteld voor een zevental knelpuntlocaties met als doel dat op *korte termijn* de luchtkwaliteit verbetert en/of er gezondheidswinst wordt geboekt. Deze zeven knelpuntlocaties zijn: Stadhouderskade, Spaarndammerdijk, Tasmanstraat, Prins Hendrikkade, Weesperstraat, Zeilstraat en Jan van Galenstraat. De Jan van Galenstraat is als testlocatie gekozen voor onderzoek naar de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen;
- *Nauwe straten en groen*; Een van de lokale maatregelen is gericht op de rol van groen om de luchtkwaliteit *in straten* te verbeteren. Het gaat hierbij *niet* om parken in een stad. Stadsparken zijn uiteraard gunstig voor de leefbaarheid en de luchtkwaliteit in een park is beter dan in de rest van de stad vanwege het ontbreken van verkeer. De rol van groen in een straat is echter niet zo eenvoudig. Het negatieve effect van bladeren aan bomen is beperking van de verdunning van luchtverontreiniging in vergelijking met de situatie zonder bladeren aan de bomen. Echter, het positieve effect van bladeren is de filterende werking van luchtverontreiniging [Gemeente Amsterdam, 2008]. Het negatieve effect (“bomen werken concentratieverhogend door beperkte verdunning”) lijkt belangrijker dan het positieve effect (“bomen werken concentratieverlagend door verwijdering van luchtvervuiling”) [Wesseling, 2008]. Een andere rol van groen zijn hagen langs wegen om luchtvervuiling vanuit verkeer te absorberen/filteren. Het gaat om hagen - een draadscherm begroeid met hydraklimplanten - die dicht langs de weg op het trottoir wordt geplaatst vooral om grof opwervend stof vanaf de weg te filteren. In het onderzoek in de Jan van Galenstraat is aandacht besteed aan het effect van bomen en hagen op luchtverontreiniging.
- *Reinigen en spoelen van wegen*; Het reinigen en spoelen van wegen wordt gezien als een maatregel om het opwervend stof door verkeer te verminderen. Fijnstof wordt door verkeer op drie manieren uitgestoten: via uitlaatemissies, door slijtage

<sup>1</sup> De etmaalconcentratie van 50 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub> mag per jaar niet meer dan 35 maal worden overschreden. Inclusief zeezout correctie in Amsterdam is dit aantal verhoogd tot 41 dagen per jaar.

zoals remvoeringen en door opwervend wegestof. De verhouding van deze drie type emissies is respectievelijk circa 40%, 10% en 50% [Ketzel, 2007; Keuken, 2006]. Gezondheidskundig zijn alle drie type emissies verdacht. Uitlaatemissies dringen diep door in de luchtwegen en bevatten toxische, koolstofhoudende componenten [Krzyzanowski, 2005], terwijl slijtage-emissies en opwervend stof vooral in de neus- en keelholte achterblijven maar deze fracties bevatten relatief veel zware metalen [Wegesser, 2008]. Roet, gemeten als elementair koolstof (EC), is een goede indicator voor uitlaatemissies, terwijl de grove fractie  $PM_{2.5-10}$  (“het verschil tussen  $PM_{2.5}$  en  $PM_{10}$ ”) een goede indicator is voor opwaaierend wegestof. In het onderzoek is aandacht besteed aan roet metingen om inzicht te krijgen in de uitlaatemissies en aan de grove fractie  $PM_{2.5-10}$  voor inzicht in de bijdrage van slijtage en opwervend stof.

Het belang van opwervend wegestof in straten wordt ondersteund door resultaten van het Beleidsondersteunendonderzoeksprogramma PM (BOP). In BOP, gefinancierd door VROM en uitgevoerd door het RIVM, TNO, ECN en het PBL, zijn fijnstof metingen uitgevoerd in de periode september 2007 t/m september 2008. Deze metingen waren onder meer op regionale stations, stedelijke achtergrond stations en langs drukke straten in Nederland. Hierbij zijn o.a. metingen uitgevoerd van  $PM_{2.5}$  en  $PM_{10}$  [Arkel, 2009]. In Figuur 1 zijn relevante resultaten weergegeven.



Figuur 1 De jaargemiddelde concentraties en standaard variatie van PM in Nederland: regionaal, stad en straat (2007/2008).

Figuur 1 laat zien dat  $PM_{10}$  in een drukke straat fors is verhoogd ten opzichte van de stedelijke achtergrond. Deze verhoging is gemiddeld  $5 \mu\text{g } PM_{10}/\text{m}^3$ , waarvan 60% door  $PM_{2.5-10}$  (“opwervend wegestof plus slijtage”) en 40% door  $PM_{2.5}$  (zowel “uitlaatemissies” als “opwervend wegestof en slijtage”). Met andere woorden, opwervend wegestof levert een significante bijdrage aan de verhoging van  $PM_{10}$  in drukke straten. Samen met mogelijke gezondheidseffecten van opwervend wegestof [Wegesser, 2008] ondersteunt dit het beleid in Amsterdam om deze emissies terug te dringen.

## 1.2 De Jan van Galen straat als testlocatie

Voor onderzoek naar de effecten van de lokale maatregelen op de luchtkwaliteit is de Jan van Galenstraat in Amsterdam uitgekozen als testlocatie. Deze resultaten worden ook gebruikt om inzicht te krijgen in de effecten van maatregelen op andere locaties. In de Jan van Galenstraat zijn de volgende maatregelen onderzocht:

- *Reinigen en spoelen van het wegdek, zodat de bijdrage van opwervend wegenstof wordt verminderd*; In de periode half juli t/m half november is om de twee weken het wegdek van o.a. de Jan van Galenstraat gereinigd en op de woensdag vervolgens schoongespoeld. Dit is negen keer uitgevoerd. Op deze manier is geprobeerd het aandeel van opwervend wegenstof te verminderen, zodanig dat overschrijding van de etmaalnorm<sup>2</sup> wordt voorkomen. Naast de “vaste” reiniging- en spoeldagen was het de bedoeling op dagen dat een stadsachtergrond van 45-48  $\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$  werd verwacht, extra te reinigen en spoelen. Voor het voorspellen van deze dagen heeft TNO in samenwerking met het KNMI een verwachting voor de luchtverontreiniging opgesteld<sup>3</sup> [Manders, 2009];
- *Aanplanten/plaatsing van hagen*; Er is een haag van gaas met klimplanten, geplant in de loop van oktober 2008 in een vaste bak tussen woningen en het verkeer (locatie 2: zie Bijlage 1). Daarnaast is een dergelijke haag in een losse bak tussen het wegverkeer en het fietspad geplaatst (locatie 3a: zie Bijlage 1). Er is onderzocht wat het effect van deze hagen zijn op luchtverontreiniging voor en achter deze hagen;
- *Effect van bomen op luchtkwaliteit*; Het gaat hierbij om “oude” platanen met een bladerdak geheel over de Jan van Galenstraat en “jonge” platanen, die woningen op de eerste en tweede verdieping afschermen tegen luchtverontreiniging maar het wegdek niet overkoepelen. Net als bij hagen gaat het bij het bladerdak om filtering van luchtverontreiniging (“verbetering luchtkwaliteit”) versus afname van verdunning luchtverontreiniging (“verslechtering luchtkwaliteit”).

De meetperiode was van half juni 2008 t/m half april 2009 met rapportage eind mei 2009. Het onderzoek is uitgevoerd door TNO – B&O, afdeling Luchtkwaliteit & Klimaat met als projectleider Dr. M.P. Keuken.

---

<sup>2</sup> Maximaal 35 maal per jaar een etmaalgemiddelde  $\text{PM}_{10}$  concentratie van 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

<sup>3</sup> De website is [www.temis.nl/luchtkwaliteit](http://www.temis.nl/luchtkwaliteit) met als username “lucht” en password “lkv2005”. Op de website “fijn stof nl” kiezen en vervolgens “submit”. Dit levert de *verwachte* regionale  $\text{PM}_{10}$  concentraties van gisteren, vandaag, morgen en overmorgen plus de *resultaten* van de gemeten regionale  $\text{PM}_{10}$  concentraties gisteren door het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) door het RIVM.

## 2 Projectomschrijving

### 2.1 Doelstelling

Het doel van het project is inzicht in het effect van het reinigen/spoelen van het wegdek en de rol van groen op de concentraties van roet, NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> in de Jan van Galenstraat en andere knelpunt locaties in Amsterdam.

### 2.2 Aanpak

#### 2.2.1 Overleg

In het startoverleg eind juni 2008 met o.a. de Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer, GGD, Alterra (Vincent Kuypers: adviseur groenvoorziening) en TNO zijn afspraken gemaakt over aanleg hagen, opzet van het reinigen/spoelen van de straten, gebruik GGD meetstation, communicatie voortgang project e.d.. In september 2008 zijn de eerste resultaten gepresenteerd aan de begeleidingscommissie en is besloten de metingen te verlengen tot half januari 2009 in plaats van half november 2008. Deze verlenging is vooral bedoeld inzicht te krijgen in het effect van bomen met en zonder bladeren. Eind januari 2009 zijn de resultaten van het vervolgonderzoek aan de begeleidingscommissie gepresenteerd en is besloten het onderzoek te verlengen tot half april 2009. Dit tweede vervolg was gericht op de rol van hagen langs wegen. De definitieve resultaten zijn gepresenteerd eind april 2009.

#### 2.2.2 Metingen

In totaal zijn vijf meetpunten ingericht - verdeeld over drie locaties - in de Jan van Galenstraat en één meetlocatie als stadsachtergrond. In Bijlage 1 zijn de meetlocaties en de meetpunten weergegeven. Bij de metingen gaat het om het verschil tussen concentraties in de Jan van Galenstraat en de stedelijke achtergrond. De stedelijke achtergrond is representatief voor de Jan van Galenstraat. De metingen van fijnstof, roet en NO<sub>2</sub> zijn als volgt uitgevoerd:

- *PM<sub>2.5/10</sub>*; Er zijn uurlijkse metingen uitgevoerd van PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> met Osiris instrumenten. De *absolute* concentraties gemeten met Osiris instrumenten zijn *niet* equivalent met de referentieapparatuur voor PM<sub>10</sub>. Referentieapparatuur is voorgeschreven in het Meet en rekenvoorschrift van VROM voor metingen in het kader van wet- en regelgeving op het gebied van luchtkwaliteit. Inzet van deze apparatuur is praktisch *niet* mogelijk voor het type onderzoek in Amsterdam. Voor het onderzoek in Amsterdam gaat het echter niet om absolute PM<sub>10</sub> niveaus maar om *verschillen* in opwervend stof voor dagen met en zonder reiniging/spoelen en metingen voor en achter een haag. Voor dergelijke metingen is de reproduceerbaarheid van de PM<sub>10</sub> meetapparatuur instrumenten van meer belang dan de absolute niveaus. De Osiris instrumenten, die zowel voor als na meetcampagnes met elkaar worden vergeleken hebben, een reproduceerbaarheid beter dan 90%. Dit betekent dat met een jaargemiddeld straatniveau van circa 30 µg PM<sub>10</sub>/m<sup>3</sup> in de Jan van Galenstraat, er significant verschillen van circa 3 µg PM<sub>10</sub>/m<sup>3</sup> gemeten kunnen worden. Dit lijkt voldoende voor de onderzoeksdoelstelling.
- *EC/NO<sub>2</sub>*; Naast directe metingen van PM<sub>2.5/10</sub> zijn 2-wekelijkse filters bemonsterd voor analyse van EC als maat voor het roetgehalte. Tenslotte zijn 2-wekelijkse passieve monsternemers bemonsterd voor NO<sub>2</sub> analyse.



Op de drie locaties met vijf meetpunten in de Jan van Galenstraat zijn de volgende effecten onderzocht:

- *locatie 1 twee meetpunten: “1A: Blokker”*: eerste verdieping woning tussen Willem de Zwijgerlaan en de Bestevaerstraat en “1B: GGD” (zie: Bijlage 1) met als doel onderzoek naar afscherming door platanen en schoonspoelen van het wegdek; Op locatie 1 staan er tussen de woongevels en de rijbaan platanen met een bladerdak vanaf de eerste verdieping van de woningen t/m de derde verdieping maar *geen* overtunneling van de rijbaan. Op grondniveau zijn er winkels aan beide zijden van de straat. Het effect van de platanen op de luchtkwaliteit op straatniveau (het “1B: GGD” meetpunt) en op de gevel van de eerste verdieping (het “1A: Blokker” meetpunt) is onderzocht. Oorspronkelijk was het de bedoeling op de tweede verdieping te meten maar dit was praktisch niet mogelijk. Naast effecten van platanen is op deze locatie *ook* het effect gemeten van het reinigen/spoelen van het wegdek;
- *locatie 2 één meetpunt: eerste verdieping woning tussen de Joos Banckersweg en het Erasmuspark* (zie: Bijlage 1): *afscherming door haag en reinigen/spoelen van het wegdek*; Op locatie 2 staan aan één kant van de Jan van Galenstraat tussen de rijbaan en de woningen grote platanen met bladeren vanaf circa 3-4 m. Tussen de platanen en de woningen zijn er perken, *waarin een circa 1.5 m hoge haag is geplaatst*. De voorkeur ging uit naar een hogere haag maar dit was niet mogelijk. Op deze locatie is de afscherming van deze haag onderzocht. Net als op locatie 1 is *ook* op deze locatie, het effect gemeten van het reinigen/spoelen van het wegdek;
- *locatie 3 twee meetpunten: “3A” één op het balkon eerste verdieping woning tussen de Admiralengracht en de John Franklinstraat en “3B” één meetpunt op balkon woning op de hoek John Franklinstraat beide woningen tegenover het Erasmuspark* (zie Bijlage 1): *afscherming door platanen, effect van hagen dicht langs de wegrand en reinigen/spoelen van het wegdek*; Op het eerste meetpunt van locatie 3 staan aan beide zijden van de Jan van Galenstraat grote platanen, die met hun kronendak de straat volledig overkoepelen. Op het tweede meetpunt op locatie 3 staat alleen een jonge plataan, zodat het verschil tussen beide meetpunten het effect van overkoepeling door bomen laat zien. Deze metingen zijn uitgevoerd met bladeren aan de bomen (half juli – half november 2008) en zonder bladeren aan de bomen (half november – half januari 2009). De resultaten geven informatie over het effect van bladeren op de luchtkwaliteit. Vanaf half november 2008 is er een haag geplaatst tussen de rijweg en het fietspad om het effect van een haag dicht langs de weg te onderzoeken. Tenslotte, is op deze locatie, net als locatie 1 en 2, het effect gemeten van het reinigen/spoelen van het wegdek op de fijn stof bijdrage van  $PM_{2.5-10}$ ;
- *locatie 4 één meetpunt* (zie bijlage 1); *achtergrond locatie*; De bijdrage van het verkeer aan de luchtkwaliteit in de Jan van Galenstraat is gemeten door het *verschil* in concentraties op bovenbeschreven vijf meetpunten in de Jan van Galenstraat en een achtergrond locatie. Deze achtergrond locatie is niet beïnvloed door lokale bronnen en is representatief voor de stedelijke achtergrond van de Jan van Galenstraat. Op deze locatie is roet,  $NO_2$ ,  $PM_{2.5/10}$  gemeten.

Naast bovenbeschreven meetpunten van de luchtkwaliteit is informatie verzameld over de weersomstandigheden. Voor windrichting en windsnelheid voldoet het meetpunt Schiphol maar voor neerslag is lokale informatie nodig. In Amsterdam wordt weliswaar de neerslag gemeten door de Gemeentelijke Havendienst maar deze data worden niet bewaard. De neerslag is daarom afgeleid van het gemiddelde van twee nabijgelegen

meetstations van het KNMI: Schellingwoude en Schiphol<sup>4</sup>. Hiermee is aanvullende informatie verkregen over het effect van het schoonspoelen van het wegdek door *neerslag*.

Tenslotte heeft de Gemeente informatie geleverd over het verkeer (o.a. aantal voertuigen, snelheid en verkeerssamenstelling) door de Jan van Galenstraat.

Door de GGD is toestemming verleend om meetapparatuur op het GGD meetstation op de Jan van Galenstraat te plaatsen en te voorzien van elektriciteit.

### 2.2.3 *Data analyse*

Analyse van de meetdata voor beantwoording van de onderzoeksvragen gaat als volgt:

- *invloed reinigen/spoelen*; Voor de invloed van reinigen/spoelen is de bijdrage aan opwervend stof op dagen met en zonder reiniging/spoelen vergeleken. Dit betreft een aantal woens-, donder- en vrijdagen nadat op dinsdag is gereinigd en op woensdag gespoeld. Er wordt verondersteld dat het effect van reinigen/spoelen maximaal tot vrijdag meetbaar is maar het maximale effect wordt op woensdag verwacht. De bijdrage van opwervend stof wordt bepaald aan de hand van de fractie  $PM_{2.5-10}$  op de locaties in de Jan van Galenstraat ten opzichte van de achtergrond. Voor het vergelijken van opwervend stof op woensdagen met en zonder reinigen wordt de *vergelijkbaarheid* van a.) de weersomstandigheden en b.) het verkeer op dagen met en zonder reinigen onderzocht;
- *invloed bladeren*; Er zijn twee perioden onderscheiden: met bladeren aan de bomen van half juli t/m begin november (periode 1) en zonder bladeren aan de bomen van begin november t/m half januari 2009 (periode 2). De gemiddelde bijdrage van roet en  $NO_2$  in beide perioden zijn vergeleken. Vanwege de relatief grote bijdrage van lokaal verkeer aan roet en  $NO_2$  (in vergelijking met  $PM_{10}$ ) zijn deze parameters gebruikt om de invloed van bladeren op de luchtkwaliteit te beoordelen;
- *invloed hagen*; Gedurende een aantal weken is de luchtkwaliteit van  $NO_2$  voor en achter hagen met passieve monsternemers gemeten. Echter, in Amsterdam is er vooral behoefte aan inzicht in de mogelijke afschermdende werking van opwervend fijn stof. Het is niet mogelijk de meetapparatuur van fijn stof zonder toezicht gedurende langere tijd voor en achter het groenscherm te plaatsen. Daarom is op een aantal dagen intensief gemeten voor en achter de hagen. Hierbij is tevens het effect onderzocht of een haag dicht langs de weg luchtvervuiling van verkeer verdunt (als een obstakel) of luchtvervuiling absorbeert aan de bladeren.

---

<sup>4</sup> De meteodata zijn verkregen via de website <http://www.knmi.nl/kd/>. Voor windrichting en – snelheid is gebruik gemaakt van het meetstation Schiphol (daggegevens – “gegevens in tabelvorm per datum”. Voor neerslag zijn de gemiddelde van het station Schiphol en Schellingwoude gebruikt (daggegevens – “geografische overzichten” – “archief”).

## 3 Resultaten

Het bovenbeschreven Plan van Aanpak heeft geresulteerd in de volgende werkzaamheden en resultaten:

### 3.1 Reinigingsregime

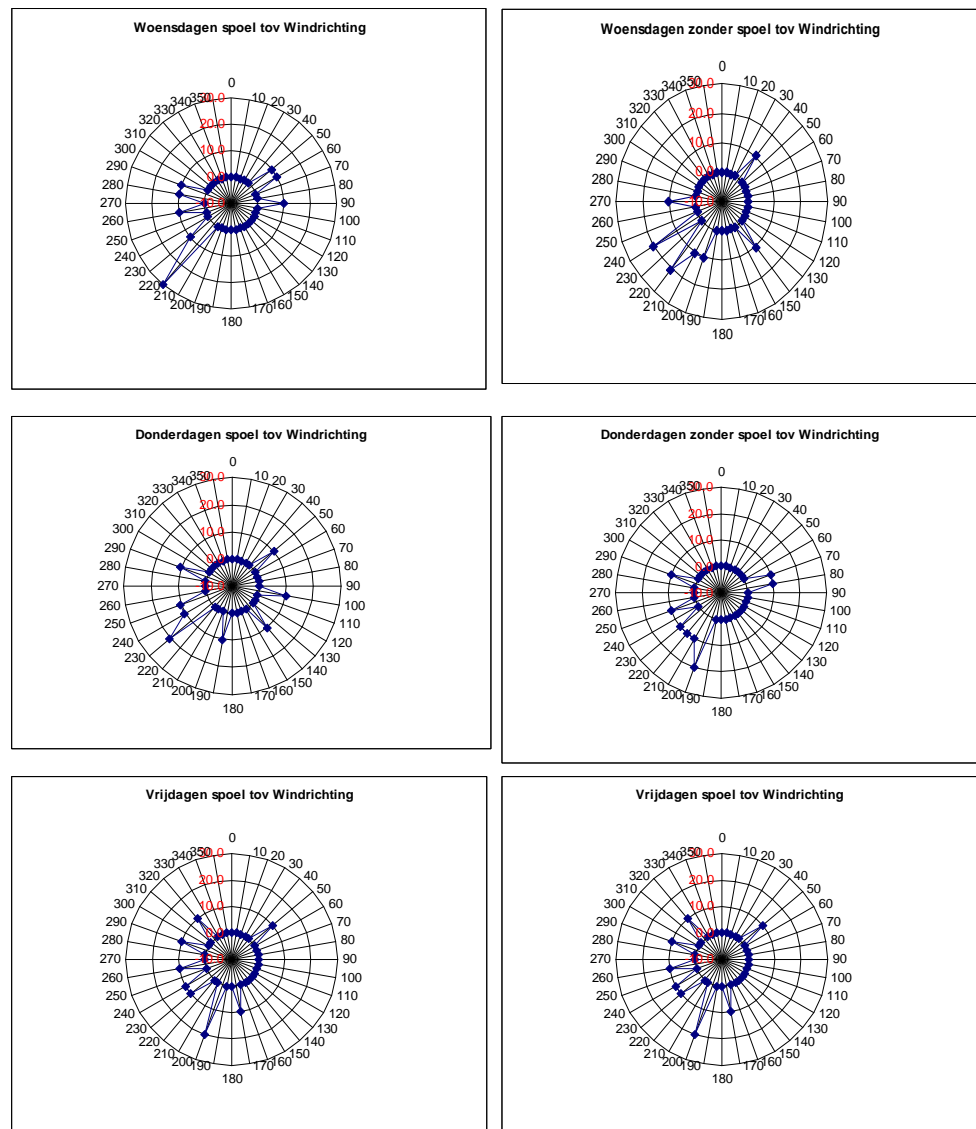
In de periode 19 juli t/m 17 november zijn de straten negen keer gereinigd op dinsdag en vervolgens op woensdag gespoeld met uitzondering van woensdag 13 augustus vanwege forse neerslag. De uitvoering van het reinigen/spoelen is gepresenteerd in Bijlage 2. Naast het vaste reinigingsregime zijn er *geen* extra reinigingen uitgevoerd, want er zijn geen verhoogde regionale achtergrond opgetreden. Dit is het gevolg van de weersomstandigheden tijdens de meetperiode. Een aantal van een negental reinigings/spoeldagen is voldoende om de invloed van reinigen/spoelen te onderzoeken.

### 3.2 Weersomstandigheden

In Bijlage 3 is de windroos voor de meetperiode voor de windrichting weergegeven. De windroos geeft de frequentie van de verdeling van de windrichtingen. De windrichting in de meetperiode was dominant zuidwestelijk, de gemiddelde windsnelheid 5 m/s en de gemiddelde regenval 2.6 mm/etmaal. Deze weersomstandigheden zijn normaal voor de tijd van het jaar.

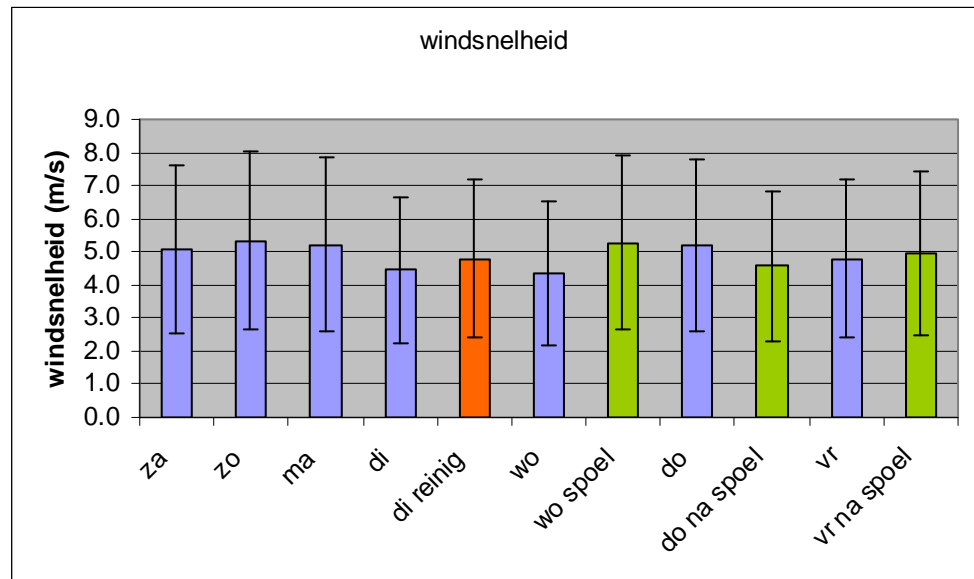
Voor vergelijking van dagen met en zonder reinigen is het van belang de vergelijkbaarheid van de weersomstandigheden van deze dagen te onderzoeken. De hoogte van de bijdrage van verkeeremissies aan de luchtkwaliteit wordt bepaald door enerzijds de verkeeremissies (zie sectie 3.3) en anderzijds de verdunning van luchtverontreiniging in de Jan van Galenstraat. Dit laatste wordt voornamelijk bepaald door de windrichting en windsnelheid. Zo is de verdunning van luchtverontreiniging bij een windrichting parallel aan de Jan van Galenstraat veel hoger dan bij een windrichting loodrecht op de Jan van Galenstraat. De verdunning is ook groter bij een hogere windsnelheid. In Figuren 1 en 2 zijn de windsnelheid en windrichting weergegeven voor dagen met en zonder reiniging/spoelen.

Voor de windrichting zijn alleen de woens-, donder- en vrijdagen weergegeven; dit zijn de dagen waarop het effect van de maatregel wordt onderzocht. De windrichting wordt gepresenteerd in een windroos, waarbij de frequentie van een voorkomende windrichting op de x-as wordt aangegeven en de windrichtingen van 0° t/m 360° met 0°/360°: noordelijk wind, 90°: oostelijke wind, 180°: zuidelijke wind en 270°: westelijke wind.



Figuur 1 De gemiddelde windrichting (°) op woens-, donder- en vrijdagen met en zonder reiniging/spoelen in de Jan van Galenstraat; 0°/360° = noordelijke wind, 90° = oostelijke wind, 180° = zuidelijke wind en 270° = westelijke wind.

In Figuur 1 loopt vanwege de presentatie de x-as in de windrozen naar -10 maar het *minimum* van het voorkomen van een bepaalde windrichting is uiteraard nul. Figuur 1 illustreert dat zuid-westelijke wind tussen 180° en 270° is de meest voorkomende windrichting op alle dagen. Vanwege de relatief korte perioden (9 maal reinigen/spoelen en 15 maal *zonder* reinigen/spoelen) zijn een groot aantal windrichtingen niet vertegenwoordigd. Kwalitatieve vergelijking van de windrozen op woensdagen met en zonder reinigen/spoelen laat zien dat er geen verschil is op deze dagen qua voorkomen van bepaalde windrichtingen. Ook op donder- en vrijdagen is er geen opmerkelijke verschil in voorkomende windrichtingen op dagen na en zonder reinigen/spoelen.

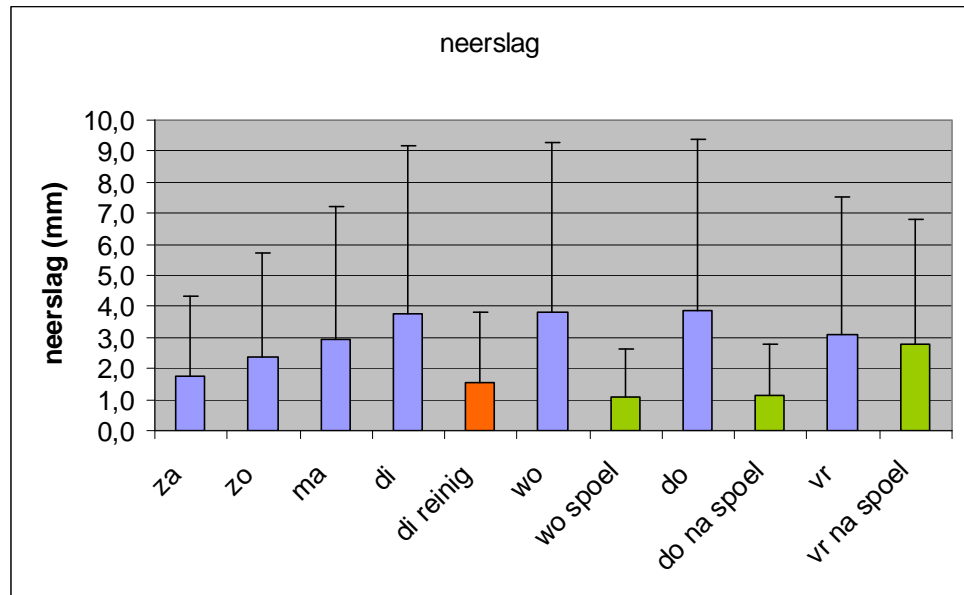


Figuur 2 De gemiddelde windsnelheid (m/s) op dagen met en zonder reiniging/spoelen in de Jan van Galenstraat.

Figuur 2 illustreert dat de windsnelheid op de negen dagen (woensdag: “wo spoel”, donderdag: “do na spoel” en vrijdag: “vr na spoel”) met voorafgaand reinigen en spoelen *gemiddeld* goed vergelijkbaar zijn met de vijftien dagen zonder spoelen (woensdag: “wo”, donderdag: “do” en vrijdag: “vr”).

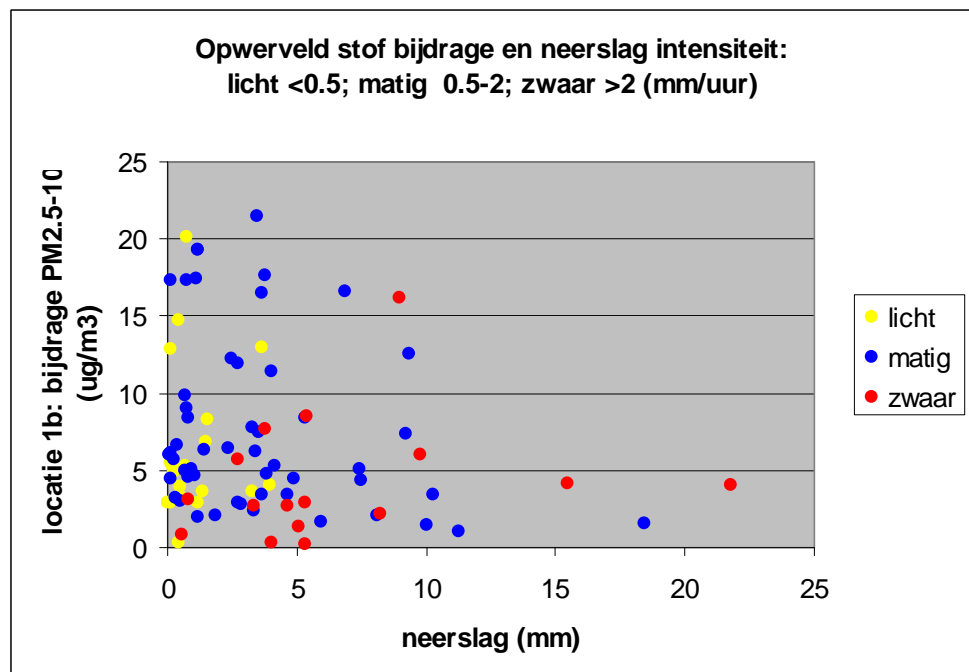
Uit Figuur 1 en 2 wordt geconcludeerd dat *qua verdunning van luchtverontreiniging in de Jan van Galenstraat de dagen met en zonder reiniging/spoelen gemiddeld goed vergelijkbaar*. Op zaterdag (“za”), zondag (“zo”) en maandag (“ma”) is er geen onderscheid tussen dagen met en zonder reiniging, want er wordt verondersteld dat het effect van reinigen/spoelen maximaal tot vrijdag reikt.

Naast windsnelheid en windrichting is het de vraag of neerslag van belang is voor de bijdrage van opwervend stof op dagen met en zonder reiniging. In Figuur 3 is de gemiddelde neerslag op dagen met en zonder reiniging/spoelen weergegeven.



Figuur 3 De gemiddelde neerslag en spreiding (mm/etmaal) op dagen met en zonder reiniging/spoelen in de Jan van Galenstraat.

Figuur 3 laat zien dat in tegenstelling tot de windsnelheid en windrichting, er een forse variatie is in neerslag op dagen met en zonder reinigen/spoelen. De vraag is dan of deze variatie van belang is voor het vergelijken van de bijdrage van opgewelend stof? In Figuur 4 is de bijdrage van opgewelend op meetpunt 1b (op het dak van het GGD meetpunt op het trottoir van de Jan van Galenstraat) weergegeven als functie van de neerslag: de hoeveelheid in mm per etmaal en de intensiteit in mm per uur.



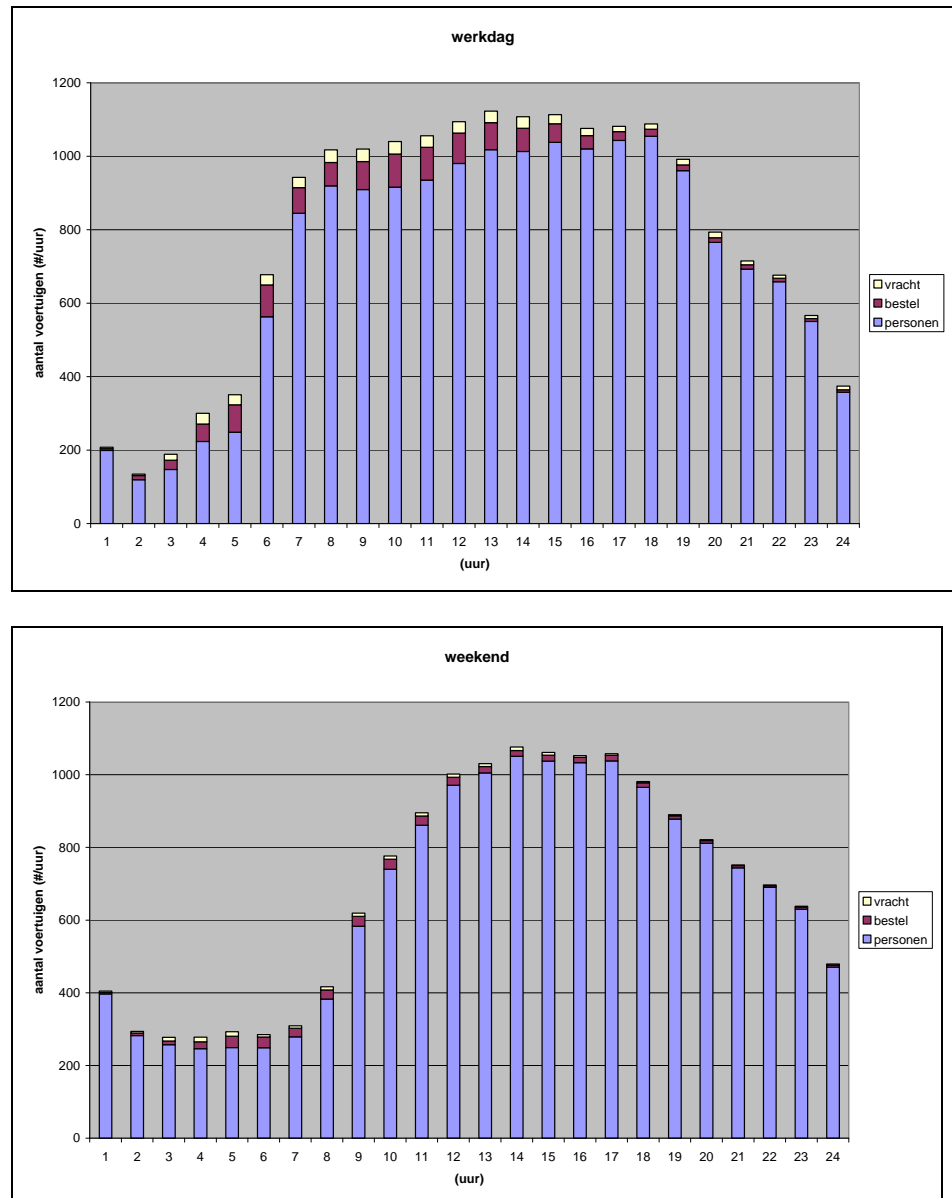
Figuur 4 De bijdrage aan opgewelend stof gemeten op meetpunt 1b (GGD) als functie van de neerslag (mm/etmaal) en de intensiteit (mm/uur): licht < 0.5 mm/uur, matig 0.5-2 mm/uur en zwaar > 2 mm/uur.

Figuur 4 laat zien dat er *geen* verband is met de hoeveelheid neerslag per etmaal (x-as) en de bijdrage van opwervend fijn stof (y-as) zoals gemeten op het dak van de meetlocatie GGD in de Jan van Galenstraat. Naast hoeveelheid regen is ook de relatie met de intensiteit weergegeven in Figuur 4: lichte intensiteit is minder dan 0.5 mm per uur (geel), matige intensiteit is meer dan 0.5 mm per uur en minder dan 2 mm per uur (blauw) en zware intensiteit bij meer dan 2 mm per uur (rood). Alleen bij zware intensiteit lijkt de bijdrage van opwervend stof gemiddeld *lager* in vergelijking met matige en licht intensiteit. [N.B. Dit zou mogelijk het gevolg kunnen zijn van specifieke windrichtingen en/of windsnelheden bij zware neerslag, die van invloed zijn op de bijdrage van opwervend wegestof. In Annex 5 is de relatie tussen neerslag en windsnelheid en –richting weergegeven. Hieruit blijkt dat neerslag vooral voorkomt bij zuid-westelijke wind en niet alleen zware neerslag. Ook is er geen relatie tussen de hoeveelheid neerslag en de windsnelheid. Met andere woorden, de effecten in Figuur 4 lijken alleen het gevolg van neerslag en niet van gekoppelde effecten zoals windrichtingen en windsnelheid.]. Tevens wordt als nuancering aangetekend dat metingen van fijn stof bij zware regenval onbetrouwbaar zijn. Afgezien van meetproblemen wijzen de resultaten bij intensieve neerslag erop dat een permanent nat wegdek een verlaagde bijdrage van opwervend wegestof heeft. Echter, berekening van de gemiddelde en de variatie in de bijdrage van opwervend stof bij lichte, matige en zware intensiteit laat zien dat er geen significante verschillen zijn, respectievelijk:  $6.5 \pm 5.1$ ,  $7.6 \pm 5.6$  en  $4.3 \pm 4.3$   $\text{PM}_{2.5-10}$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De hoeveelheid en intensiteit van neerslag lijkt daarom niet van belang voor de vergelijkbaarheid van de bijdrage van opwervend stof op dagen met en zonder reiniging, zoals weergegeven in Figuur 3.

*Samenvattend wordt geconcludeerd dat de weersomstandigheden voor de windsnelheid en windrichting voor dagen met en zonder reiniging/spoelen goed vergelijkbaar zijn, terwijl neerslag weliswaar varieert op deze dagen maar niet van invloed is op de bijdrage van opwervend stof.*

### 3.3 Verkeersdata

De verkeersdata in de Jan van Galenstraat voor de periode juli t/m november 2008 zijn door de Gemeente Amsterdam aangeleverd. Deze periode wordt beschouwd als representatief voor de gehele onderzoeksperiode t/m half april 2009. In Figuur 5 is de dagelijkse gang van het verkeer op werkdagen en weekenddagen weergegeven.

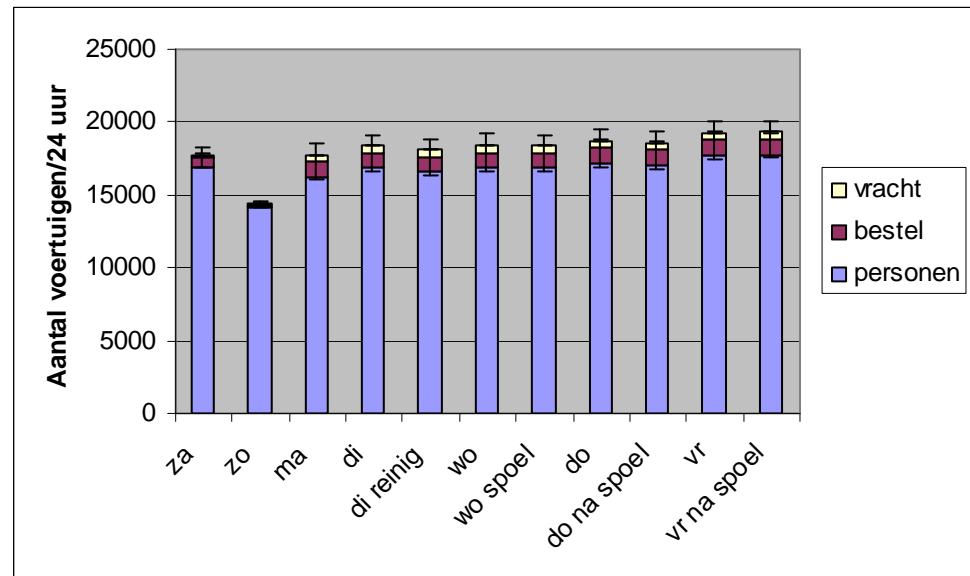


Figuur 5 De dagelijkse gang van de verkeersintensiteit (aantal/uur) en de samenstelling (personen, bestel en vrachtverkeer) op werkdagen (maandag t/m vrijdag) en weekend (zaterdag/zondag).

Figuur 5 illustreert dat vooral op werkdagen er een aanzienlijke hoeveelheid vrachtverkeer door de Jan van Galenstraat rijdt en intensief verkeer begint al om 06.00 u en vrij continue gedurende de dag. In het weekend rijdt er beduidend minder vrachtverkeer en begint de ochtendspits om 09.00 u.

De verkeersdata in Figuur 5 zijn gebruikt om inzicht te krijgen in de verkeersintensiteit op dagen met en zonder spelen. Dit is weergegeven in Figuur 6.





Figuur 6 De gemiddelde verkeersintensiteit op dagen met en zonder reiniging/spoelen in de Jan van Galen straat.

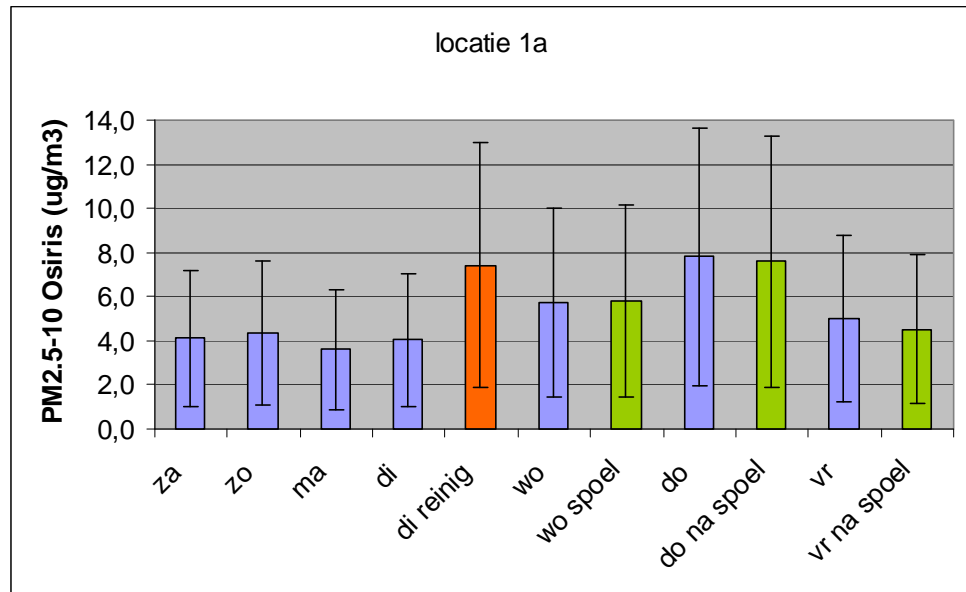
Figuur 6 illustreert dat de variatie van de verkeersintensiteit op dagen met (“wo spoel”, “do na spoel” en “vr na spoel”) en zonder (“wo”, “do” en “vr”) spoelen klein is.

*Samenvattend wordt geconcludeerd dat de verkeersintensiteit voor dagen met en zonder reiniging/spoelen goed vergelijkbaar is.*

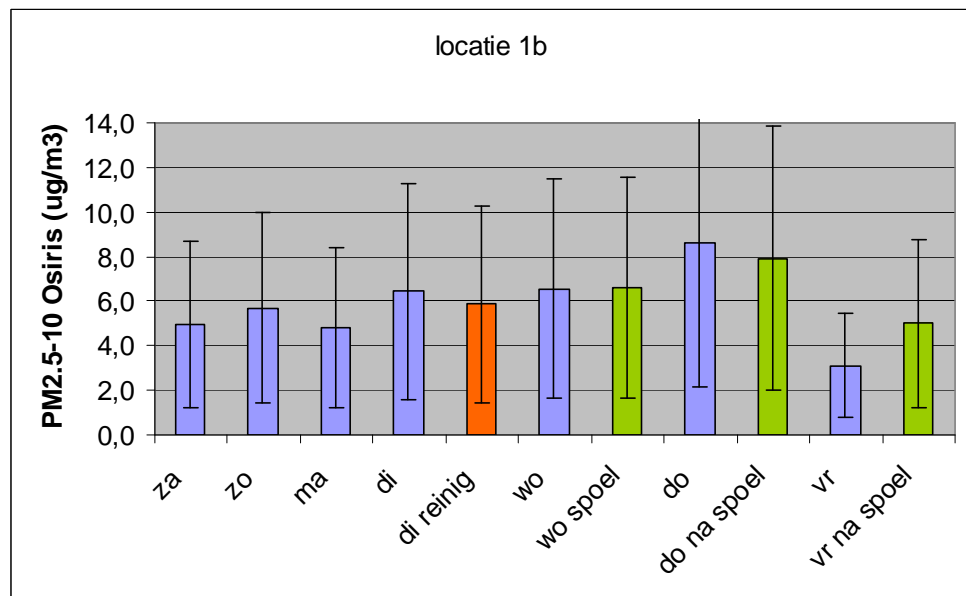
### 3.4 De bijdrage van opwervend stof: $PM_{2.5-10}$

Het effect van reinigen/spoelen is onderzocht op de vijf meetpunten in de Jan van Galenstraat en één meetpunt op een lokale achtergrond locatie (zie Bijlage 1). De daggemiddelde resultaten van de metingen van  $PM_{10}$  in Osiris eenheden zijn weergegeven in Bijlage 4. Er was uitval van data voor alle meetlocaties in de perioden: 10-24/09, 6-13/10 en 18-25/12, voor meetlocaties 1a en 3b in de periode 24/9-15/10 en voor meetlocatie 1b in periode 16-23/10. Verder is in de data analyse de periode 30/12/2008 t/m 01/01/2009 uitgesloten vanwege de verstoring door “vuurwerk”. Uit deze resultaten blijkt dat de data meer dan 80% van de meetperiode dekt.

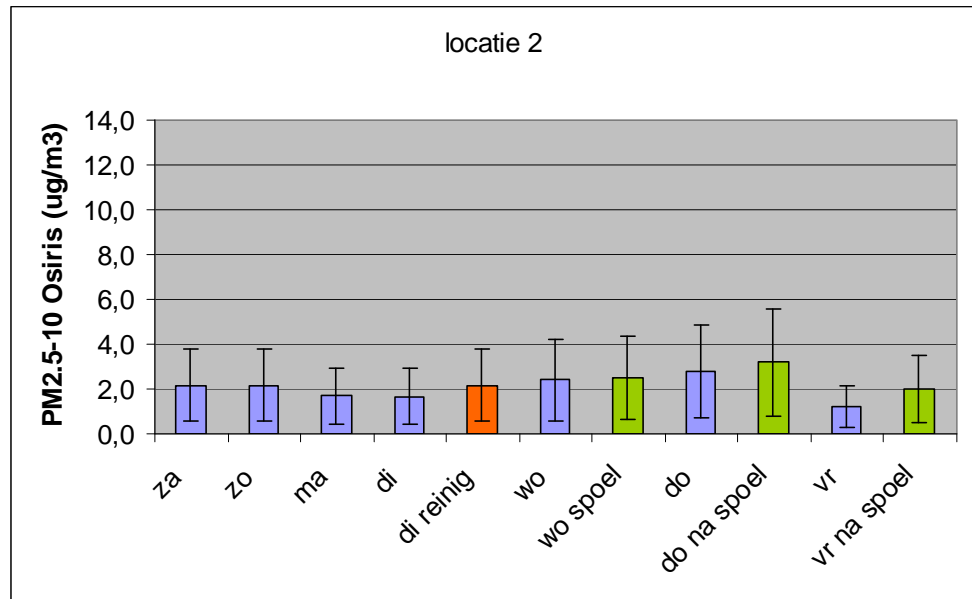
Met deze data is  $PM_{2.5-10}$  (“per meetpunt het verschil tussen  $PM_{2.5}$  en  $PM_{10}$ ”) gebruikt als maat voor het opwervend wegenstof. Hiervoor zijn per meetpunt de verschillen tussen de metingen in de Jan van Galenstraat en de achtergrond locatie berekend. Dit geeft de bijdrage van opwervend stof per meetlocatie in de Jan van Galenstraat. In Figuren 8 – 12 zijn deze gemiddelde bijdrage per dag en per meetpunt weergegeven.



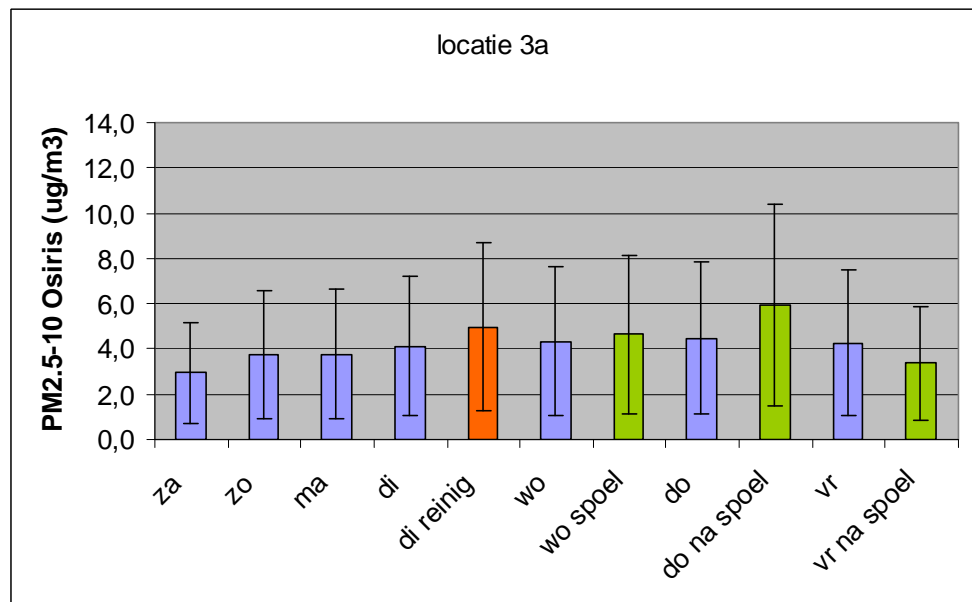
Figuur 8 De gemiddelde bijdrage en de variatie in de meetperiode van opwervelend stof op het meetpunt 1a ("Blokker") per dag na en zonder reiniging/spoelen.



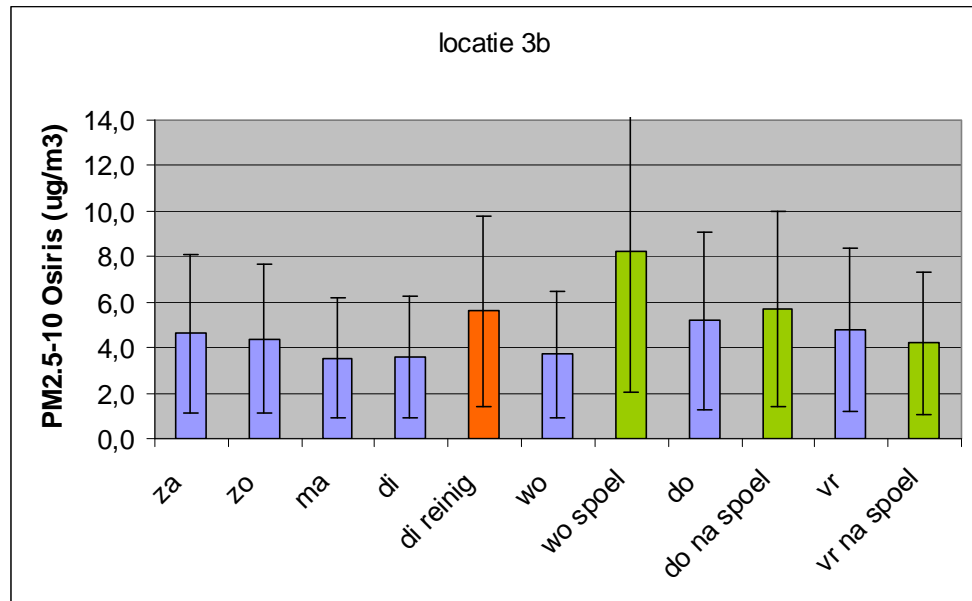
Figuur 9 Analoog aan Figuur 8 voor meetpunt 1a ("GGD").



Figuur 10 Analooq aan Figuur 8 voor meetpunt 2 (“Appartementen complex”).



Figuur 11 Analooq aan Figuur 8 voor meetpunt 3a (“bomenkroon”).



Figuur 12 Analooq aan Figuur 8 voor meetpunt 3b (“zonder bomenkroon”).

Figuren 8-12 laten zien dat gemiddeld op locatie 1b (Figuur 9: GGD) de hoogste bijdrage aan opwervend stof wordt gemeten en de laagste bijdrage op locatie 2 (Figuur 10: Appartementen complex). Dit komt overeen met de afstand van de meetlocatie tot het verkeer: locatie 1b is het dichtst bij het verkeer en locatie 2 is het verst verwijderd. Verder laten Figuren 8-12 zien dat er een forse variatie is in de gemeten bijdrage van opwervend stof op de verschillende meetpunten gedurende de meetperiode. Deze variatie is het gevolg van 1.) de meetonzekerheid, 2.) de variatie van dag-tot-dag van de verdunning (e.g. de windsnelheid en windrichting) en 3.) de bijdrage van het verkeer. De meetonzekerheid is in de orde van 15% en de variatie in het verkeer is minder dan 10% (zie Figuur 5). De belangrijkste variatie in de bijdrage van opwervend stof wordt veroorzaakt door de variatie in de windsnelheid en windrichting, die zijn in de orde van 50% (zie Figuren 1 en 2).

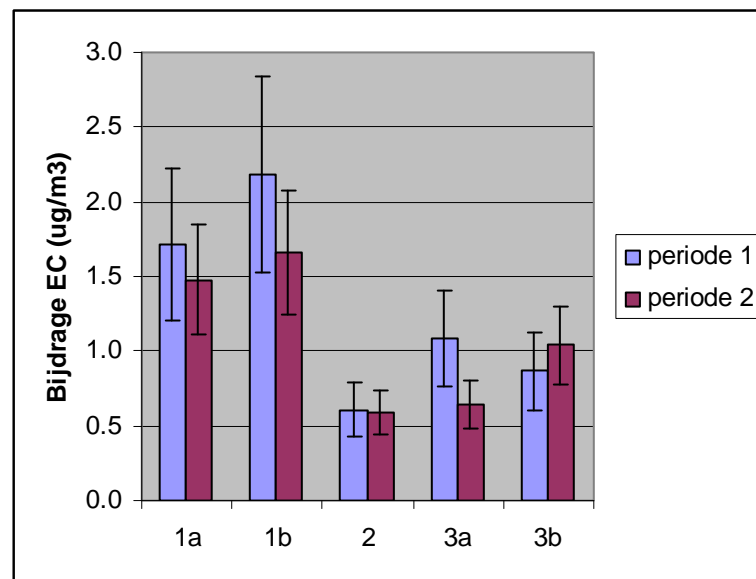
Gezien deze variatie in de bijdrage van opwervend wegestof gedurende de meetperiode zijn de gemiddelde verschillen van dag-tot-dag weergegeven in Figuren 9-12 *niet* significant. De verhoogde gemiddelde bijdrage op dinsdagen met reinigen (de “rode” balk in Figuren 9-12) ten opzichte van dinsdagen zonder reinigen illustreren de verwachte verhoging van opwervend stof tijdens het reinigen. De verschillen in de gemiddelde bijdrage voor woensdagen *met* en zonder spoelen en donderdagen c.q. vrijdagen *na* en zonder spoelen zijn *niet* significant. *Met andere woorden, er is geen verminderde bijdrage gemeten van opwervend stof door de maatregel van reinigen en spoelen.*

### 3.5 Invloed van bladeren aan bomen op de luchtkwaliteit

De invloed van bladeren aan bomen betreft enerzijds beperking van de verdunning door beperkte turbulentie en anderzijds absorptie van luchtvervuiling aan deze bladeren. Het eerste effect leidt tot verhoging van de luchtvervuiling en het tweede effect tot een daling.

### 3.5.1 Onderzoek naar het effect van bladeren in de Jan van Galenstraat

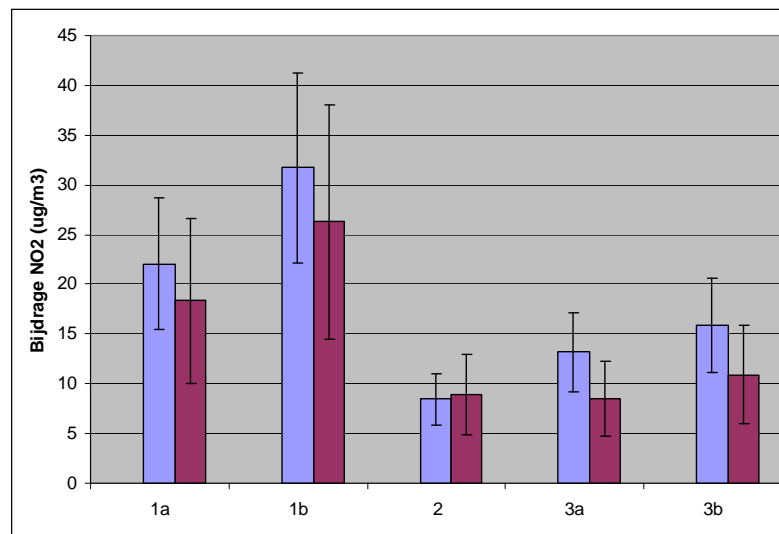
De invloed van bladeren is onderzocht met behulp van 2-wekelijks gemiddelde metingen van elementair koolstof (EC) en van NO<sub>2</sub>. EC is een goede indicator voor roet emissies uit de uitlaat, terwijl NO<sub>2</sub> inzicht geeft in gasvormige emissies. Deze indicatoren zijn beter geschikt om de invloed van bladeren te onderzoeken dan PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>, omdat de bijdrage van verkeer aan deze indicatoren ten opzichte van de achtergrond relatief groter is dan voor PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub>. Er zijn twee perioden onderscheiden: *periode 1 met bladeren* was vanaf half juli t/m begin november en *periode 2 zonder bladeren* was vanaf begin november tot en met half januari. In Figuur 13 is de bijdrage van EC op de meetlocaties in de Jan van Galenstraat voor de eerste en tweede periode weergegeven.



Figuur 13 De gemiddelde bijdrage en variatie aan EC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in periode 1 (“met bladeren”) en periode 2 (“zonder bladeren”) op de meetpunten in de Jan van Galenstraat.

Figuur 13 laat zien dat gemiddeld de bijdrage van uitlaatemissies in de Jan van Galenstraat ten opzichte van de achtergrond *lager* zijn in periode 2 op locaties 1a, 1b en 3a en *niet* op locaties 3b en 2. Dit geeft aan dat op locaties 1a, 1b en 3a de verdunning zonder bladeren tot een lagere bijdrage leidt dan in periode 1 met bladeren. Locaties 3b en 2 zijn relatief minder beïnvloed door bladeren vanwege de afstand tot het verkeer en er staan geen bomen voor locatie 3b. Daarom wordt op deze locaties geen verschil verwacht in bijdrage van verkeer voor periode 1 en 2. De gemiddelde windsnelheid en windrichting waren voor beide perioden gemiddeld 5 m/s en dominant zuidwestelijke wind. Meteorologisch gezien was er daarom nauwelijks verschil tussen beide perioden. De gemeten verschillen worden daarom toegeschreven aan het effect van het bladverlies, waarbij de invloed op verlaagde turbulentie (*en dus concentratieverhoging door bladeren aan de bomen*) belangrijker is dan absorptie van luchtvervuiling aan bladeren.

Een soortgelijke analyse als voor EC is ook uitgevoerd voor NO<sub>2</sub>. De verschillen per locatie ten opzichte van deze achtergronden zijn voor periode 1 en 2 weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14 De gemiddelde bijdrage en variatie aan NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) in periode 1 (“met bladeren”) en periode 2 (“zonder bladeren”) op de meetpunten in de Jan van Galenstraat.

Figuur 14 illustreert dat de gemiddelde *bijdrage* aan NO<sub>2</sub> door verkeer in de Jan van Galenstraat varieert van 10 – 30 µg NO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> afhankelijk van de afstand tot het verkeer: locatie 1b (“GGD”) is het dichtst bij het verkeer en heeft de hoogste bijdrage aan NO<sub>2</sub> en locatie 2 (“appartementen complex”) heeft de laagste bijdrage vanwege de grootste afstand tot het verkeer. Figuur 14 laat verder zien dat in periode 2 de bijdrage op locaties 1a, 1b, 3a en 3b minder is dan in periode 1, terwijl voor locatie 2 er nauwelijks verschil is in bijdrage tussen periode 1 en 2. De resultaten voor NO<sub>2</sub> komen overeen met de resultaten voor EC in Figuur 13 (met uitzondering van locatie 3b). *De resultaten voor EC en NO<sub>2</sub> ondersteunen de conclusie dat bladeren de verspreiding van luchtvervuiling belemmeren. Met andere woorden, zonder bladeren wordt de lokale bijdrage van luchtvervuiling beter verdund.*

[N.B. Gezien de lokale achtergronden van NO<sub>2</sub> in periode 1 van 35.3 µg/m<sup>3</sup> en 46.3 µg/m<sup>3</sup> in periode 2 en de bijdrage van het verkeer in Figuur 14 wordt verwacht dat de jaargemiddelde *totale* concentratie van NO<sub>2</sub> in de Jan van Galenstraat de luchtkwaliteitsnorm van 40 µg NO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> in 2010 fors zal overschrijden. Vanwege uitstel tot 2015 om te voldoen aan de NO<sub>2</sub> norm heeft deze verwachte “overschrijding” in 2010 geen consequenties.]

### 3.5.2 Theoretisch afvangstefficiency van bomen met bladeren

In de “Leidraad luchtzuiverend groen” [Gemeente Amsterdam, 2008] wordt de rol van groen voor verbetering van luchtkwaliteit in de stad beschreven. Naast een kwalitatieve beschouwing is ook geprobeerd de afvangstefficiency van bomen te kwantificeren. Op basis van onderzoek in 1991 in Chicago wordt 100 gram PM<sub>10</sub> per jaar genoemd als de afvangstcapaciteit van een stadsboom. Uitgaande van 180 dagen met bladeren komt dit neer op circa 0.5 g PM<sub>10</sub> per dag per boom. Het onderzoek in Chicago was gebaseerd op modelberekeningen van droge depositiesnelheden. Vanwege de aandacht voor “het sterven van bossen” is in de jaren 80 veel (experimenteel) onderzoek gedaan naar depositie van luchtvervuiling op bossen. Het bleek niet eenvoudig om depositie van luchtvervuiling op bomen te kwantificeren. Er is veel onzekerheid over depositie van luchtvervuiling op bomen (o.a. type bomen, dichtheid kronendak, turbulentie atmosfeer, aard van luchtvervuiling). In het kader van het onderzoek in Amsterdam wordt

100 gram PM<sub>10</sub> per jaar gehanteerd. De vraag is dan of dit veel of weinig is in relatie tot de emissies van PM<sub>10</sub>?

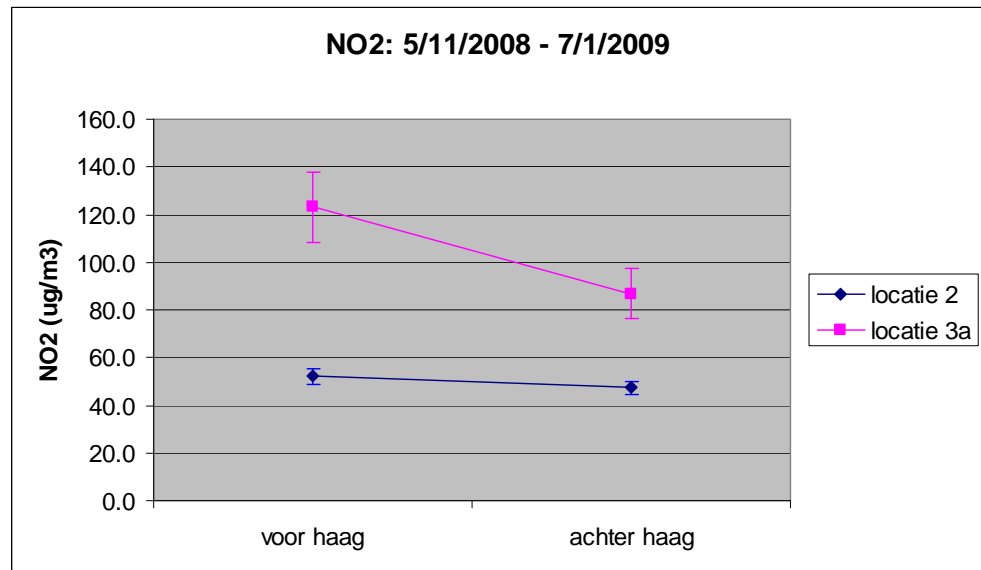
In de Jan van Galenstraat rijden circa 20.000 voertuigen per etmaal met circa 5% vrachtauto's (zie: sectie 3.3). De emissiefactoren voor personenvoertuigen en vrachtauto's in 2010 zijn respectievelijk 57 en 360 mg PM<sub>10</sub>/km. De gemiddelde emissiefactor voor het stadsverkeer in de Jan van Galenstraat is 72 mg PM<sub>10</sub>/km oftewel 1400 g PM<sub>10</sub>/km per etmaal. Wanneer we uitgaan van een boom elke 25 m dan is de emissie 35 g PM<sub>10</sub>/boom per etmaal. De afvangst is 0.5 g PM<sub>10</sub> per boom per etmaal oftewel in de orde van 1.5 % met bladeren aan een boom. Deze inschatting komt redelijk overeen met de studie in Chicago waar een verbetering van de luchtkwaliteit door bomen was berekend van 0.4% voor PM<sub>10</sub> en 0.2% voor NO<sub>2</sub>.

Uit bovenstaande beschouwing wordt geconcludeerd dat het woord "luchtzuiverend" in de titel van de notitie "Leidraad luchtzuiverend groen" in ieder geval voor bomen in straten kwantitatief *niet* wordt onderbouwd. Gezien de gemeten toename van de bijdrage aan luchtverontreiniging in de orde van 10-20% van bomen met bladeren ten opzichte van zonder bladeren -zoals beschreven in de vorige sectie- wordt geconcludeerd, dat belemmering van luchtvervuiling belangrijker is voor bomen in een straat dan luchtzuivering. Overigens wordt benadrukt dat bomen in straten met een open kronendak van belang zijn voor de leefbaarheid, biodiversiteit en temperatuurverlaging. Dit laatste is in toenemende mate van belang voor klimaatverandering en "hitte stress" in de stad.

### 3.6 Effect van hagen

#### 3.6.1 *Het effect van hagen op de verspreiding van NO<sub>2</sub>*

De invloed van een haag op de luchtkwaliteit is onderzocht bij meetpunten 2 en 3a. De haag bestaat uit een draadraam begroeid met hydraklimplanten met een hoogte van circa 140 cm. Bij meetpunt 2 is vanaf oktober 2008 een haag geplaatst voor het appartementencomplex in een bestaande groenbak (zie: Figuur 18) *op circa 5 m van de wegrand*. Bij locatie 3a is vanaf november 2008 een haag tussen het fietspad en *de wegrand geplaatst*. Praktisch is het niet mogelijk apparatuur gedurende een langere periode onbeheerd voor en achter een haag te plaatsen. Daarom zijn met passieve monsternemers 2-wekelijkse gemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties gemeten *voor* (aan de kant van het verkeer) en *achter* (aan de kant van de woningen) de haag. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15 Twee-wekelijks gemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties (µg/m<sup>3</sup>) voor en achter een haag bij locatie 2 (haag circa 5 m van de wegrand) en locatie 3a (haag direct langs de wegrand) in de periode 5/11/2008 tot 7/1/2009.

Figuur 15 laat zien dat er op locatie 2 *geen* significant verschil is in de gemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties voor en achter de haag, terwijl op locatie 3a er *wel* een significant verschil is in de gemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties voor en achter de haag. Deze resultaten wijzen erop dat een haag direct langs de weg een verlaging geeft van NO<sub>2</sub> concentraties *achter de haag*: het is de vraag of deze verlaging een gevolg is van het obstakel (de haag) in de verspreiding van NO<sub>2</sub> of het gevolg is van absorptie? In het eerste geval zal de haag nauwelijks een effect hebben op de concentraties bij de bebouwing maar in het tweede geval is het effect van een haag wel van belang om luchtverontreiniging te verminderen.

In aanvulling op het bovenbeschreven onderzoek is in de periode 26 februari tot 9 april 2009 op de locatie 3a onderzoek uitgevoerd naar de verlaging van de NO<sub>2</sub> concentraties achter een haag direct langs de wegrand. Bij een gedeelte van de haag is een 1.5 m hoog plexiglasscherm geplaatst tussen de haag en de rijweg (zie: Figuur 16).





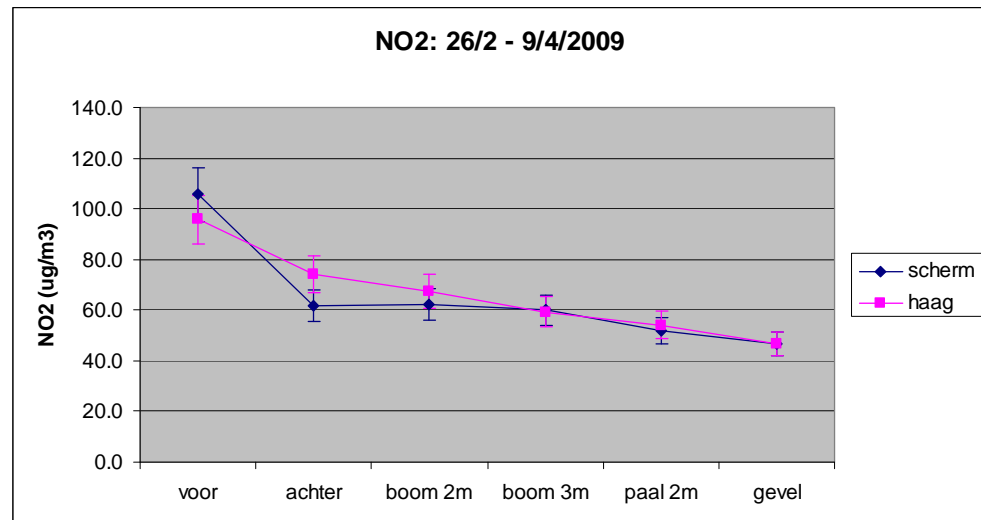
Figuur 16a Locatie 3a met haag direct langs de wegrand.



Figuur 16b Plexiglasscherm van 1.5 m hoogte voor een gedeelte van de haag.

Op deze locatie is de gradiënt van  $\text{NO}_2$  concentraties gemeten voor de haag zonder en met het plexiglasscherm en vervolgens op diverse locaties achter de haag: direct achter de haag/scherm, op 2 m hoogte in een boom achter de haag/scherm, op 3 m hoogte in een boom achter de haag/scherm, op 2 m hoogte in een lantaarnpaal achter de haag/scherm en op 2 m aan de gevel. De afstand van de boom tot het scherm is circa 2 m, van de paal tot de haag circa 10 m en van de gevel tot de haag circa 13 m.

De gemiddelde concentraties van drie 2-wekelijkse monsterneming in de periode 26 februari tot 9 april 2009 op bovengenoemde locaties zijn weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17 Twee-wekelijks gemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties (µg/m<sup>3</sup>) voor een haag en scherm bij locatie 3a op verschillende meetpunten achter de haag en scherm.

De resultaten in Figuur 17 laten zien dat direct langs de wegrand de concentraties in de orde zijn van 100 µg NO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> (“voor”). Achter het plexiglasscherm zijn de concentraties lager in vergelijking met de haag. Deze verlaging is zichtbaar direct achter de haag en het scherm op grondniveau (“achter”) en op 2 m hoogte in de boom achter de haag en het scherm. Zonder haag of scherm zouden de concentraties exponentieel afnemen met een toenemende afstand tot de wegrand. De gelijke concentraties op 3 m hoogte (“boom 3m”) en op 2 m hoogte bij de paal (“paal 2m”) achter de haag en het scherm duiden erop dat er *geen* NO<sub>2</sub> wordt geabsorbeerd door de haag.

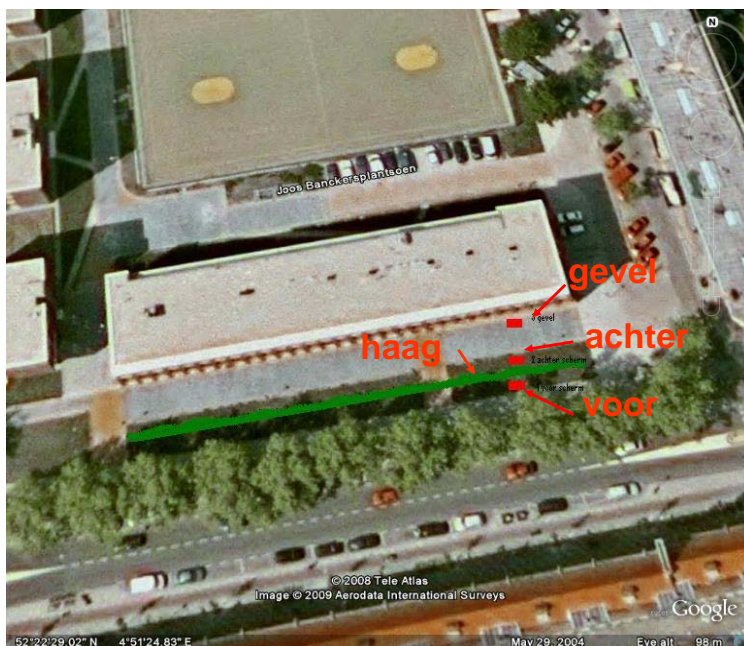
Uit de resultaten weergegeven in Figuren 15 en 17, wordt geconcludeerd dat een haag dicht langs een wegrand functioneert als een – afhankelijk van de dichtheid van begroeiing – blokkade voor de verspreiding van luchtverontreiniging. Hierdoor wordt luchtvervuiling van verkeer omhoog gestuwd. Dit is het meest effectief dicht bij de weg (maximaal 1 m van de wegrand) met als vuistregel dat achter een haag op een afstand van circa 5 maal de hoogte van de haag, de concentraties weer hetzelfde zijn alsof er geen haag was geplaatst.

Wat betekenen deze resultaten voor het gebruik van een haag? Plaatsing dicht bij de rand van de weg (maximaal 1 m van de wegrand) beperkt blootstelling van fietsers (bij een gescheiden fietspad) en voetgangers aan luchtvervuiling van wegverkeer. Voor bewoners wonend op meer dan 7 m van de wegrand zal een haag van circa 140 cm weinig effect hebben: de luchtvervuiling aan de gevel is weer op het niveau alsof er geen haag was geplaatst.

### 3.6.2 *Het effect van hagen op de verspreiding van fijn stof*

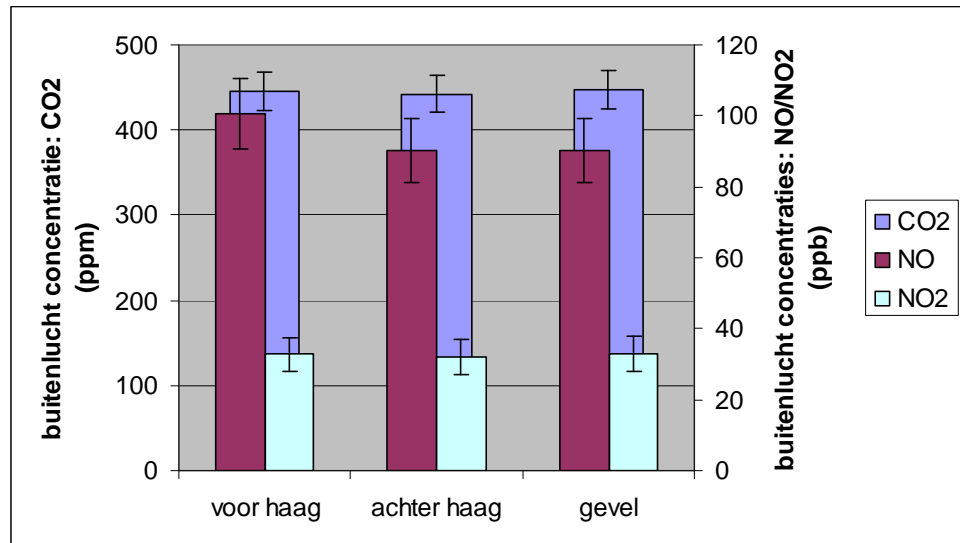
Om meer inzicht te krijgen in de filterende werking van een haag is naast NO<sub>2</sub> ook onderzoek uitgevoerd naar de verspreiding van fijn stof. Fijn stof metingen zijn echter niet mogelijk met passieve monsternemers en daarom is besloten tot een experimenteel onderzoek gedurende een dag. Vanwege de verkeersveiligheid was dit onderzoek alleen

mogelijk op locatie 2 voor en achter de haag en aan de gevel van het appartementencomplex. De meetpunten zijn weergegeven in Figuur 18.

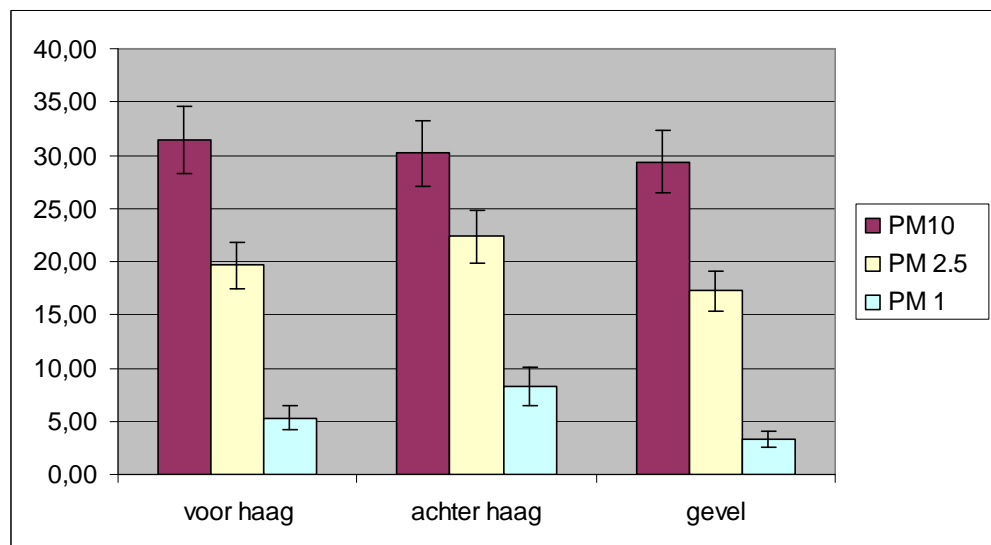


Figuur 18 De meetpunten voor onderzoek aan de haag in de Jan van Galenstraat op locatie 2.

Op 18 december 2008 (10.00 u t/m 17.00 u) zijn met een meetwagen van TNO on-line metingen uitgevoerd van NO, NO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> voor de haag, achter de haag en aan de gevel. De gassen op deze drie locaties zijn gemeten met één detector voor NO/NO<sub>2</sub> en één detector voor CO<sub>2</sub>, en drie (even lange) aanzuigslangen, waarmee buitenlucht van de drie locaties naar de meetwagen werd gezogen. Op deze wijze is de reproduceerbaarheid tussen de drie meetlocaties bijna 100%. Naast gasvormige componenten is fijn stof gemeten met drie Osirissen. De drie instrumenten zijn voor en na de metingen met elkaar genormaliseerd. Dit geeft een reproduceerbaarheid beter dan 90%. De gemeten fijn stof fracties zijn PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub>. In Figuur 19 zijn de resultaten voor NO/NO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>, en in Figuur 20 voor PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> weergegeven.



Figuur 19 De gemiddelde concentraties van NO/NO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> voor en achter de haag en aan de gevel in de Jan van Galenstraat op 18 december 2008 van 10.00 t/m 17.00 u (locatie 2).



Figuur 20 De gemiddelde concentraties van PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>1</sub> ("Osiris eenheden") voor en achter de haag en aan de gevel in de Jan van Galenstraat op 18 december 2008 van 10.00 t/m 17.00 u (locatie 2).

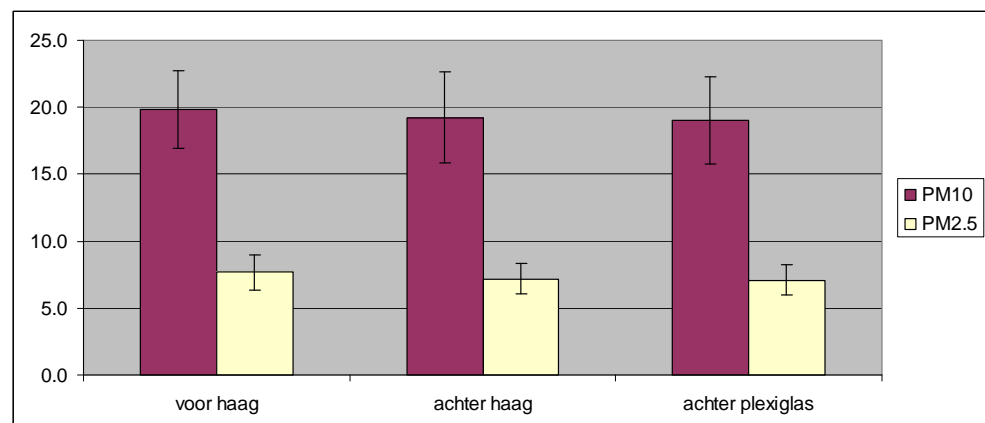
De resultaten van de directe metingen van NO/NO<sub>2</sub> en PM<sub>1,2,5</sub> en <sub>10</sub> voor en achter de haag op locatie 2 duiden erop dat er niet of nauwelijks verhoging van de luchtvervuiling optreedt als gevolg van een haag op meer dan 5 m van de wegrand.

Voor nader onderzoek naar een haag dicht langs de wegrand zijn op 21 en 22 april 2009 metingen met drie Osiris uitgevoerd op locatie 3a (zie: Figuur 21). De metingen werden uitgevoerd langs de wegrand, achter de haag en achter plexiglas (zie Figuur 16).



Figuur 21 De meetpunten voor onderzoek aan de haag met en zonder plexiglas in de Jan van Galenstraat op locatie 3a.

In Figuur 22 zijn de resultaten voor  $PM_{2.5}$  en  $PM_{10}$  weergegeven.



Figuur 22 De gemiddelde concentraties van  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  ("Osiris eenheden") voor en achter de haag en achter plexiglas in de Jan van Galenstraat op 21 en 22 april 2009 van 09.30 t/m 16.30 u (locatie 3a).

De resultaten van de directe metingen van  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  voor en achter de haag en achter plexiglas op locatie 3a duiden erop dat er niet of nauwelijks verlaging van de luchtvervuiling optreedt als gevolg van een haag of plexiglas obstakel dicht langs de wegrand. Het effect van verdunning door een obstakel is in vergelijking met  $NO_2$  in de voorgaande sectie, bij fijn stof niet zichtbaar. Concentraties van  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  worden gedomineerd door de grootschalige achtergrond met slechts een beperkte bijdrage van het wegverkeer, zodat een eventuele afname door verdunning niet kan worden aangetoond.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Onderzoek naar de effecten van maatregelen om knelpunten van luchtkwaliteit in Amsterdam op te lossen, is uitgevoerd door TNO in de Jan van Galenstraat in de periode half juli 2008 t/m mei 2009. Deze maatregelen zijn gericht op het verminderen van opwervend stof door wegverkeer en filteren van luchtverontreiniging door vegetatie. Het adviesbureau M+P was betrokken bij ontwikkeling van deze maatregelen en uitvoering van een pilot met soortgelijke maatregelen in Nijmegen. Daarnaast is de rol van bomen voor de luchtkwaliteit in een straat onderzocht.

Voor het onderzoek zijn in de Jan van Galenstraat op vijf meetpunten en op een lokale achtergrond locatie, de concentraties van fijn stof ( $PM_{2.5}$  en  $PM_{10}$ ), stikstofdioxide ( $NO_2$ ) en roet (elementair koolstof – EC) gemeten. Het verschil in concentraties in de Jan van Galenstraat ten opzichte van de achtergrond is een maat voor de bijdrage van het verkeer aan de luchtvervuiling in de Jan van Galenstraat. Naast metingen van de luchtkwaliteit zijn verkeersdata in de Jan van Galenstraat aangeleverd door de Gemeente Amsterdam en meteorologische data door het KNMI. Het onderzoek heeft de volgende conclusies en aanbevelingen:

- *opwervend wegestof*; Er is *geen* significant verschil gemeten in de bijdrage van opwervend stof voor dagen met of zonder reiniging. Ook neerslag heeft *geen* meetbare invloed op de bijdrage aan opwervend stof: al lijkt langdurige regenval de bijdrage aan opwervend wegestof te verminderen. [N.B. Het meten op deze dagen van fijnstof is lastig en daarom is deze conclusie onzeker.] Waarschijnlijk wordt opwervend wegestof als continue bron uitgestoten door slijtage processen, zoals banden op het wegdek. Waarschijnlijk dat een permanent, vochtig wegdek, wel de uitstoot van opwervend wegestof vermindert maar dit vereist nader onderzoek. Verder is het voorspellen van mogelijke overschrijdingsdagen (en daarmee het starten van reinigen/spoelen in de huidige opzet) niet eenvoudig. De huidige wijze van reinigen/spoelen is daarom niet effectief om te voldoen aan de etmaalnorm voor  $PM_{10}$  in knelpuntstraten;
- *filteren van luchtvervuiling door hagen*; Een dicht, begroeide haag maximaal 1 m van de wegrand beperkt als obstakel de verspreiding van luchtvervuiling van wegverkeer naar fietsers (bij een gescheiden fietspad) en voetgangers. Voor bewoners op een afstand van meer dan 7 m van de wegrand, heeft een haag met een hoogte van circa 140 cm hoogte weinig effect: de luchtvervuiling aan de gevel is weer op het niveau alsof er geen haag was geplaatst. De haag werkt als obstakel afhankelijk van de mate van begroeiing, terwijl absorptie van luchtvervuiling door de vegetatie waarschijnlijk zeer beperkt is;
- *rol van bomen (platanen)*; Uit resultaten van de metingen van roetdeeltjes en stikstofdioxide wordt geconcludeerd, dat bomen (platanen) met bladeren (lente/zomer) de verspreiding van luchtvervuiling belemmeren vooral bij een gesloten kronendak. De luchtzuiverende werking van bomen in een straat is volstrekt onvoldoende om dit effect te compenseren. Met andere woorden, in straten met bomen worden bij gelijke verkeersintensiteit de normen voor de luchtkwaliteit eerder overschreden dan in straten zonder bomen.

Het onderzoek bevestigt, dat in de Jan van Galenstraat (en waarschijnlijk ook de overig geïdentificeerde knelpunten) luchtkwaliteitsnormen worden overschreden. De huidige korte termijn maatregelen, zoals het reinigen/spoelen van straten en het filteren van luchtvervuiling met hagen zijn *niet* effectief om dergelijke knelpunten op te lossen.

Zelfs het kappen van bomen, zodat de ventilatie en daarmee de verdunning van luchtvervuiling in een straat wordt bevorderd, is onvoldoende (en ongewenst vanuit het oogpunt van leefbaarheid en toenemende aandacht voor “hitte-stress” in steden vanwege klimaatverandering).

## 5 Referenties

Arkel, F. Th. van, et al. (2009), Measurements in the BOP research programme on PM10 and PM2.5: a technical background document. PBL report nr 500099009, ISSN 1875-2322 (print), 1875-2314 (online), Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), Bilthoven/The Hague, The Netherland.

Gemeente Amsterdam (2008): "*Leidraad luchtzuiverend groen*". Alterra, TripleE, Dienst Ruimtelijke Ordening Amsterdam

Ketzel M., Omstedt G., Johansson C., Düring I, Pohjola M., Oettl D., Gidhagen L., Wahlin P., Lohmeyer A., Haakana M. and Berkowicz R. (2007): "*Estimation and validation of PM2.5/PM10 exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling*". Atmospheric Environment 41 (2007) 9370-9385.

Keuken M.P., Sokhi R., Kitwiroon N., Larssen S., Pregger T. Kummer U, Nussio F. and van den Elshout S. (2006): "*Assessment of non-exhaust emissions by road traffic in urban areas – an Air4EU casestudy in Rome, London, Oslo and Rotterdam*". [www.Air4EU.nl](http://www.Air4EU.nl) Individual case study report D.7.1.2.

Krzyzanowski, M., Kuna-Dibbert, B., Schneider, J. (edit) (2005): "*Health effects of transport-related air pollution*". World Health Organization/Europe 2005.

Manders A., Schaap M. and Hoogerbrugge R. (2009) "Testing the capability of a chemistry transport model to forecast PM10 levels in the Netherlands" Submitted to Atmospheric Environment.

Wegesser, T.C., Last, J.A., (2008). "*Lung response to coarse PM: Bioassay in mice.*" Toxicology and Applied Pharmacology 230 (2), pp. 159-166

Wesseling J., Beijk R. en van Kuijeren N. (2008): "*Effecten van groen op de luchtkwaliteit*". RIVM Rapport 680705012



## 6 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Gemeente Amsterdam  
t.a.v. mevr. W. Schipper  
Nieuwevaart 5-9  
1090 HB AMSTERDAM

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Karin van der Valk: metingen en data-analyse  
Hilbrand Weststrate: metingen

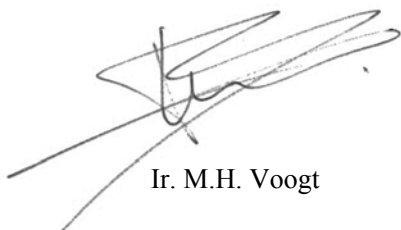
Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

KNMI Schiphol/Schellingwouderbrug meteo  
Gemeente Amsterdam: reinigen en spoelen  
Gemeente Amsterdam: verkeersdata  
Gemeente Amsterdam: groenschermen  
GGD Amsterdam: stroomvoorziening en dak meetbehuizing  
BOP: meetdata  
Bewoners Jan van Galenstraat: instrumenten op balkons e.d. + stroom

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

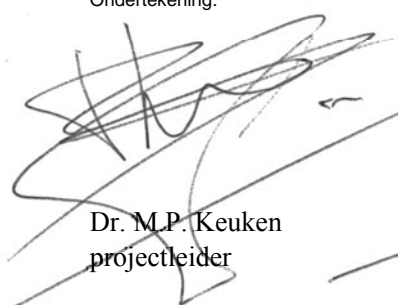
juni 2008 – mei 2009

Naam en paraaf tweede lezer:



Ir. M.H. Voogt

Ondertekening: 



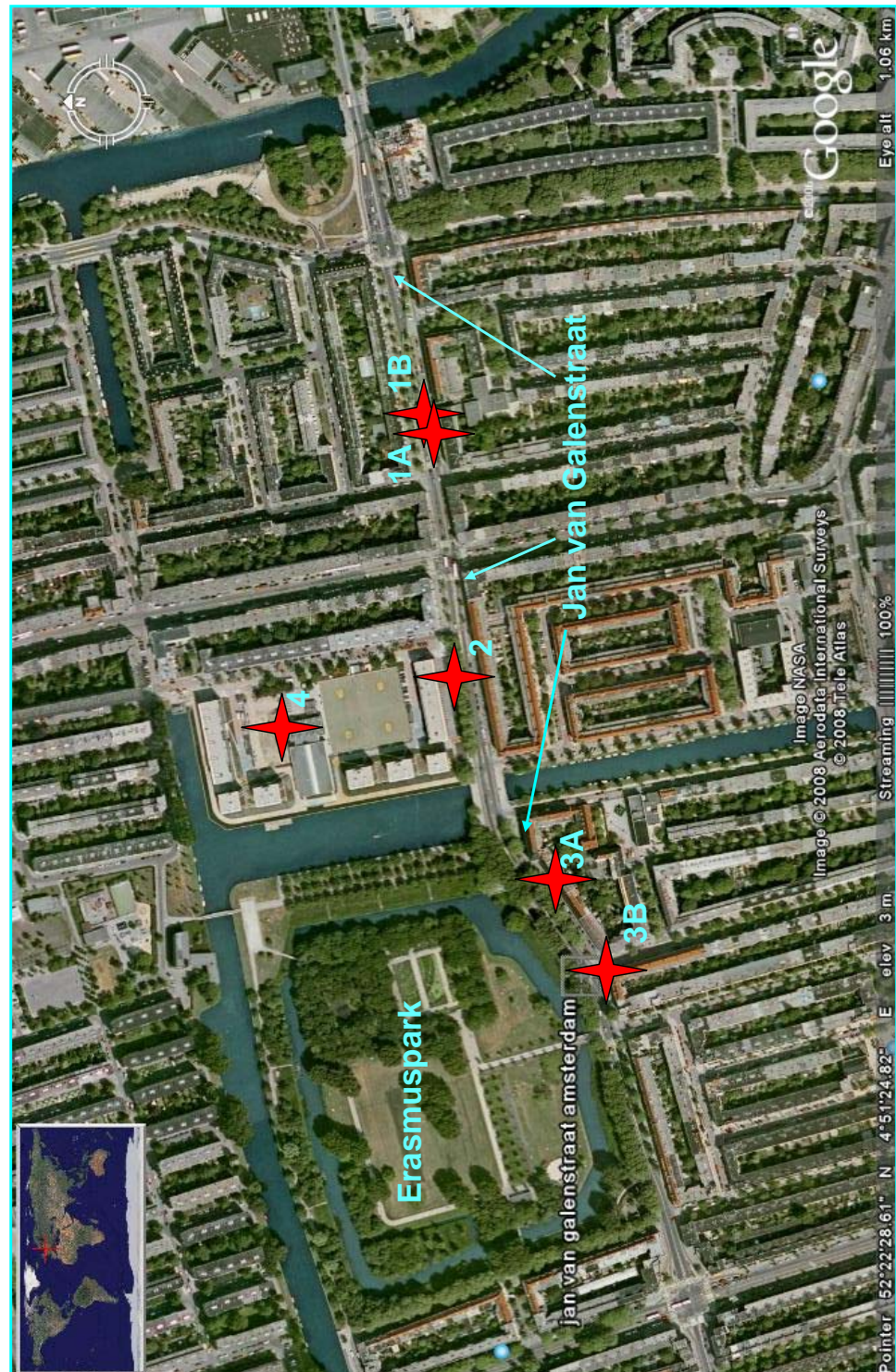
Dr. M.P. Keuken  
projectleider

Autorisatie vrijgave:



Dr. M.P. Keuken  
team manager

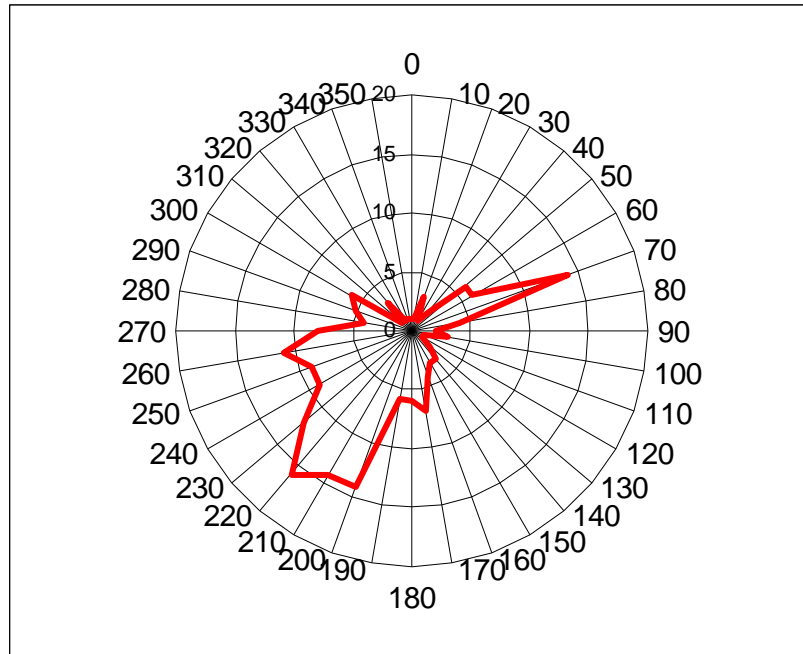
# 1 Meetlocaties in de Jan van Galenstraat (Amsterdam)



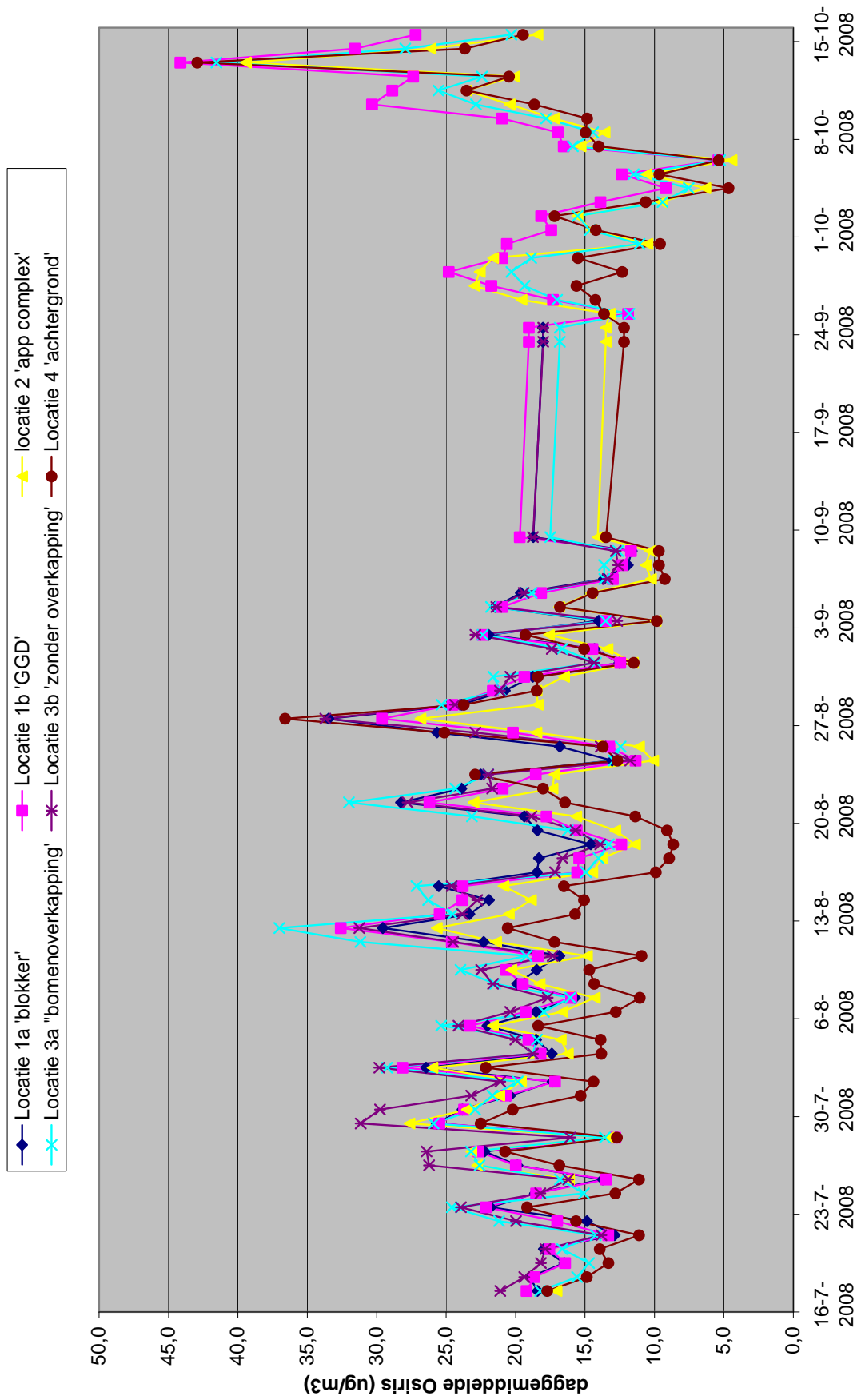
## 2 De reinigings- en sproeidagen in de Jan van Galenstraat

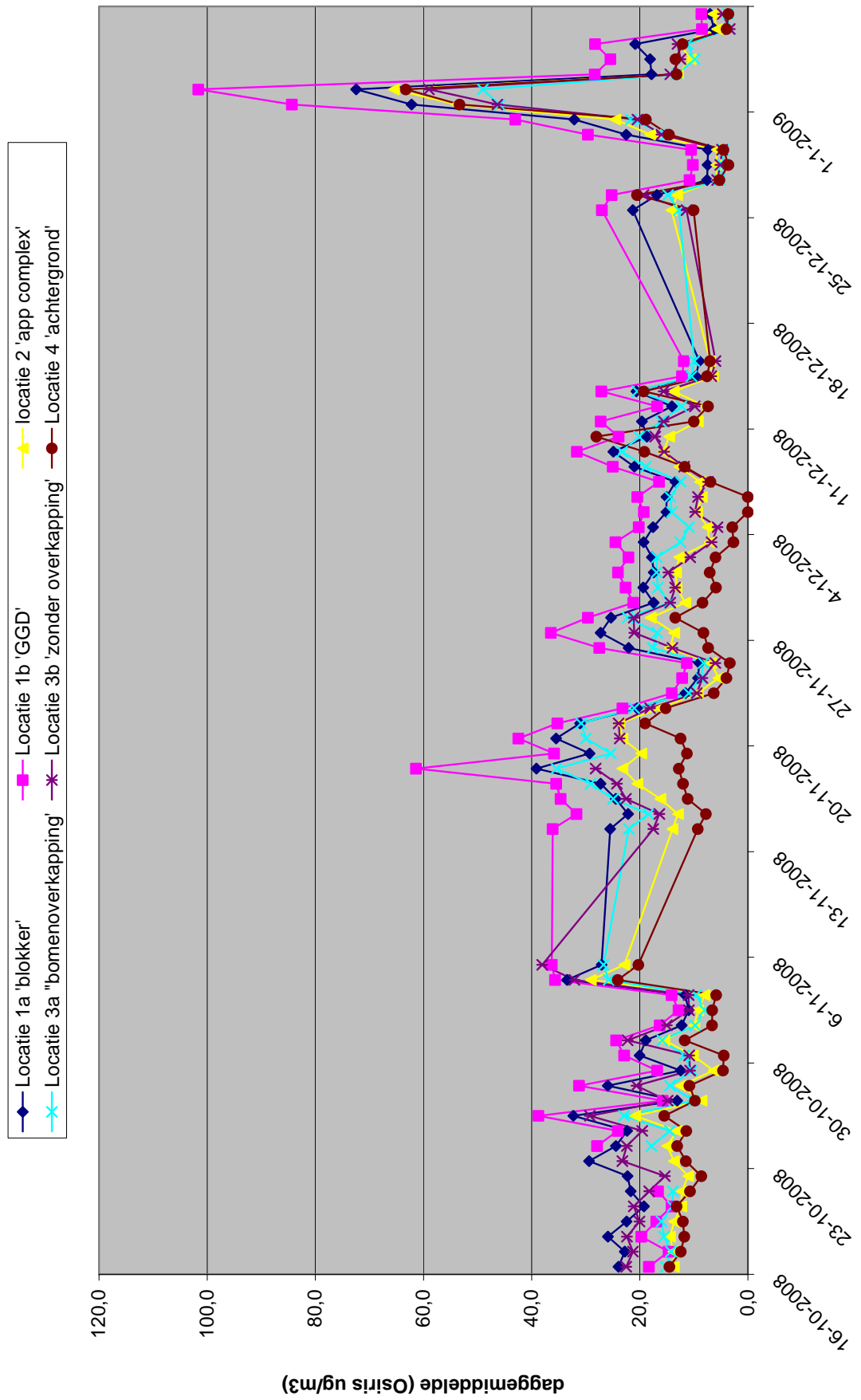
datum	weekdag	reinigen	sproeien
16/07/2008	wo		x
29/07/2008	di	x	
30/07/2008	wo		x
12/08/2008	di	x	
13/08/2008	wo		regen
26/08/2008	di	x	
27/08/2008	wo		x
09/09/2008	di	x	
10/09/2008	wo		x
23/09/2008	di	x	
24/09/2008	wo		x
07/10/2008	di	x	
08/10/2008	wo		x
21/10/2008	di	x	
22/10/2008	wo		x
04/11/2008	di	x	
05/11/2008	wo		x
18/11/2008	di	x	
19/11/2008	wo		x

3 Verdeling windrichtingen in de periode half juli 2008 t/m half januari 2009 (Schiphol)  
(0 = noord; 90 = oost; 180 = zuid en 270 = west)



- 4  $PM_{10}$  (Osiris eenheden) op de zes meetlocaties: periode half juli t/m half oktober 2008 en periode half oktober 2008 t/m half januari 2009





## 5 De relatie tussen neerslag en windsnelheid en -richting in de periode half juli 2008 t/m half januari 2009

