



**M+P - raadgevende ingenieurs**  
Müller-BBM groep  
*geluid trillingen lucht bouwfysica*

Visserstraat 50, Aalsmeer  
Postbus 344  
1430 AH Aalsmeer

T 0297-320 651  
F 0297-325 494  
Aalsmeer@mp.nl  
www.mp.nl



# ONDERZOEK LUCHTKWALITEIT

Emissieverspreiding bij tunnelportalen, Wijkertunnel A9

Opdrachtgever  
Innovatieprogramma Luchtkwaliteit  
  
Centrum voor Ondergronds  
Bouwen (COB)

Rapportnummer  
M+P.COB.09.01

Auteurs  
drs. Jan Oudelaar  
drs. ing. Christiaan Tollenaar  
ir. Thijs van Bon

Revisie  
3

Datum  
13 november 2009

Projectleider  
ir. Jan Hooghwerff

Opdrachtnummer  
4500148453

Pagina  
1 van 33

## Inhoud

SAMENVATTING	3	
SUMMARY	4	
1	INLEIDING	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Wettelijk kader	5
1.3	Doelstelling en afbakening	6
1.4	Leeswijzer	7
2	METHODE	8
2.1	Meetmethoden	8
2.2	Situatie	9
2.3	Meetopstelling	11
2.4	Apparatuur	13
2.4.1	Stikstofoxiden	14
2.4.2	Koolstofdioxide	16
2.4.3	Meteogegevens	17
3	RESULTATEN	18
3.1	Meteo	18
3.2	Continu gemeten concentraties	19
3.3	Bijdrage verkeeremissie	24
3.4	Passieve meting ruimtelijk beeld	26
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	32
5	LITERATUUR	33

## Samenvatting

Uit de praktijk blijkt dat de luchtkwaliteit in de nabijheid van tunnels voor wegverkeer een knelpunt is in de besluitvorming van infrastructuurprojecten. Resultaten uit kostbare luchtkwaliteitsonderzoeken, zoals windtunnelonderzoek en/of Computational Fluid Dynamics (CFD), laten zien dat de emissieconcentraties rond tunnels de wettelijke grenswaarden vaak overschrijden. Uit literatuuronderzoek van het Centrum voor Ondergronds Bouwen (COB) blijkt dat slechts beperkt informatie beschikbaar is van metingen van emissieconcentraties rond tunnelmonden.

Dit rapport beschrijft de resultaten van (indicatieve) metingen die specifiek gericht zijn op het inzicht krijgen in de hoogte van concentraties nabij tunnelmonden en in de wijze van de verspreiding van de emissies van het verkeer rond tunnelmonden. Middels een meetcampagne van twee maanden bij één specifieke tunnelmond, de Wijkertunnel van Rijksweg A9, moeten geen overall toepasbare antwoorden verwacht worden.

De variatie van verkeersemisies, fijn stof, stikstofoxiden en koolstofdioxide in de tijd is met een actieve meetmethode op drie vaste meetlocaties in beeld gebracht. Tevens is met de actieve meetmethode de emissiebijdrage van de Rijksweg A9 bepaald. Naast de actieve meetmethode is gebruik gemaakt van de eenvoudiger passieve meetmethode voor stikstofdioxide. Vanwege de kosten van luchtkwaliteitsmetingen is onderzocht of koolstofdioxide mogelijk kan fungeren als indicator of tracer gas voor de verspreiding van verkeersemisies.

Algemeen blijkt dat de gemeten emissieconcentraties, stikstofoxiden, fijn stof en koolstofdioxide relatief laag zijn. Uit de verschillende meetmethoden blijkt dat de absolute concentraties stikstofdioxide direct aan de rand van de tunnelmond hoger zijn dan circa  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De gemeten concentraties op de meetlocaties op grotere afstand (10 tot 100 m) rond de verdiept gelegen rijbanen naar de tunnelmond nemen toe met de afstand: op circa 90 m van de tunnelmond treden de hoogste concentraties op. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door jetwerking. De emissie verspreidt zich in veel mindere mate dwars op de Rijksweg A9. Waarschijnlijk draagt de verdiepte ligging hieraan bij en blijft de emissie hangen tussen de tunnelwanden.

De meetresultaten geven daarmee een relatief gunstig beeld van de verspreiding van emissies rond de tunnelmond maar zijn door de beperkte tijdsduur indicatief. De resultaten lijken er op te duiden dat de problematiek rond tunnelmonden niet overschat moet worden. Op basis van beperkte metingen aan één specifieke tunnelmond kunnen geen algemene conclusies getrokken worden.

## Summary

In decision making for infrastructural projects, the ambient air quality near road tunnels in some cases plays a key part. Tunnel openings are generally a key focus of tunnel air-quality assessments. In infrastructural projects, expensive research like wind tunnel measurements and computational fluid dynamics (CFD) is often used. Results of these investigations show high emissions by road traffic, which exceed the Dutch air-quality limits. From literature research performed by the underground construction centre (Centrum voor Ondergronds Bouwen, COB) it is known that measurement results of concentrations near road tunnels from road traffic are scarce.

This review describes the results of (indicative) measurements that are specifically meant to obtain an indication of the maximum concentrations near tunnel openings and the manner in which road traffic emissions disperse around tunnel openings. No generally applicable results can be expected from a measurement campaign of less than two months at one specific tunnel opening at the A9 motorway (Wijkertunnel).

The variation in road traffic emissions (particulate matter, nitrogen oxides and carbon dioxide) over time has been assessed by monitoring using an active measurement method at three fixed locations. The contribution of traffic emissions from the A9 has also been determined by monitoring. Besides the monitoring with an active measurement method, nitrogen dioxide concentrations are determined by a much simpler sampling method, based on exposure of diffusion tubes to ambient air. Sampling at fixed locations shows an indication of the dispersion of pollutants. Since the costs of air-quality measurement research are fairly high, it has been investigated if carbon dioxide can be used as an indicator or tracer of the dispersion of road traffic emissions.

Generally, it appears that the concentrations of particulate matter, nitrogen oxides and carbon dioxide measured are relatively low. Results from the different sampling methods show that the absolute concentrations of nitrogen dioxide only near the tunnel opening are higher than  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The concentrations measured at the fixed monitoring locations at greater distance (10 - 100 m) around the sunken road lanes towards the tunnel opening increase with distance, with a maximum at 90 m of the tunnel opening. This is probably caused by effects of jet. Traffic emissions disperse less in the transverse direction of the Rijksweg A9. The lower position of the sunken roadways is likely to explain this effect: the pollutants stay between the vertical walls of the tunnel portal.

The measurement results show a relatively advantageous view on the dispersion of pollutants around the tunnel opening, but they are indicative because of the limited time period. The overall results seem to indicate that air quality problems generally assumed around tunnel openings should not be overrated. However, based on a singular specific tunnel opening no general conclusions can be made.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Vanuit de praktijk van infrastructuurprojecten blijkt dat de verspreiding van emissies rond tunnelportalen zorgt voor knelpunten in de besluitvorming van die projecten. Onduidelijk is hoe goed de inzichten zijn wat betreft de situatie rond tunnelmonden. Daarom werkt het COB (Centrum voor Ondergronds Bouwen) aan kennisopbouw met betrekking tot emissieverspreiding rond tunnelportalen om meer inzicht te krijgen in de luchtkwaliteit in complexe situaties. In samenspraak met h3mhuijben Consultancy en de werkgroep van het COB "Tunnels en luchtkwaliteit" is daarom een beperkt meetprogramma uitgevoerd om de emissieverspreiding rond tunnelportalen in een praktijksituatie te onderzoeken. Parallel wordt vanuit de werkgroep een literatuuronderzoek en een onderzoek met behulp van windtunnelexperimenten uitgevoerd.

Het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL), dat uitgevoerd wordt door Rijkswaterstaat, is eveneens geïnteresseerd in de emissieverspreiding rond tunnelmonden. IPL heeft meerdere onderzoeken uitgevoerd naar maatregelen om de luchtkwaliteit rond zogenaamde hotspots te verbeteren, waaronder maatregelen die erop gericht zijn om de luchtkwaliteit in tunnels en onder overkappingen te verbeteren. Het IPL heeft het onderdeel waarvan de rapportage nu voorligt, de resultaten van metingen rond de Wijkertunnel, gefinancierd.

Het onderzoek is uitgevoerd door M+P - raadgevende ingenieurs. M+P heeft jarenlange expertise in onderzoek naar luchtkwaliteit. Deze meettechnische onderzoeken liggen voornamelijk op het gebied van onderzoek naar maatregelen voor de reductie van fijn stof en stikstofoxiden op en rond snelwegen. Verder heeft M+P vanuit het projectwerk met geavanceerde rekenmodellen inzicht in de effecten van objecten op de verspreiding van luchtverontreinigende stoffen. M+P maakt deel uit van de Duitse Müller-BBM-groep en maakt gebruik van eigen geaccrediteerde laboratoria voor chemisch onderzoek, zoals OrgaLab in Zirndorf (bij Nürnberg).

## 1.2 Wettelijk kader

In situaties met afscherpende constructies zoals tunnelmonden wordt de luchtkwaliteit in de nabijheid doorgaans onderzocht door gebruik te maken van uitgebreid windtunnelonderzoek en/of inzet van specialisten op het gebied van Computational Fluid Dynamics (CFD). Uit dergelijke onderzoeken blijkt dat er situaties zijn rond tunnelmonden waar de emissies erg hoog zijn. Vanwege deze hoge emissies worden grenswaarden uit de Wet Luchtkwaliteit overschreden [1].

Sinds 15 november 2007 zijn de hoofdlijnen voor regelgeving van de luchtkwaliteitseisen vastgelegd in de *Wet milieubeheer*. In de *Wet milieubeheer* zijn grenswaarden voor de luchtkwaliteit opgenomen. De grenswaarden zijn vastgesteld op basis van een algemeen aanvaard beschermingsniveau voor de gezondheid van de mens. Voor NO<sub>2</sub> gelden de volgende grenswaarden: 200 µg/m<sup>3</sup> als uurgemiddelde concentratie, waarbij geldt dat deze maximaal 18 maal per kalenderjaar mag worden overschreden en 40 µg/m<sup>3</sup> als jaargemiddeldeconcentratie, uiterlijk op 1 januari 2015. Voor PM<sub>10</sub> geldt vanaf 2011 een grenswaarde van 40 µg/m<sup>3</sup> voor de jaargemiddeldeconcentratie; de 24-uurgemiddelde waarde van 50 µg/m<sup>3</sup> voor PM<sub>10</sub> mag vanaf 2011 niet vaker dan 35 keer per jaar overschreden worden.

Deze kwaliteitseisen ter bescherming van de gezondheid van de mens, gelden ingevolge de EG-richtlijnen voor de buitenlucht voor het gehele grondgebied van de lidstaten, met uitzondering van de werkplek.

In de *Wet milieubeheer* wordt voor de beoordeling van de luchtkwaliteit verwezen naar de *Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit* (RBL). Sinds 14 oktober 2008 zijn rekenregels voor concentraties bij tunnelmonden opgenomen om in een eenduidige beoordeling van tunnelmonden te voorzien [2]. Omdat tunnelmonden in allerlei varianten voorkomen, zijn eigenschappen van tunnelmonden onderscheiden waarvoor het toepassingsbereik van de beoordeling geldig is. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in de lengte van de tunnel en de snelheid van het verkeer. De lengte van de tunnel is bepalend voor de ophoping van verkeersemisaties die bij de tunnelmond uitgeblazen worden en tot verhoogde concentraties leiden. De verkeerssnelheid is van invloed op de uitstroomsnelheid van de emissies.

In het geval van eenvoudige situaties kan volstaan worden met een eenvoudige rekenregel bij het berekenen van de verspreiding van de luchtverontreiniging. De "basisvariant" heeft dan de volgende eigenschappen:

- de tunnelmond ligt op de hoogte van het maaiveld;
- er zijn geen afscherpende constructies aanwezig bij de tunnelmond;
- er bevinden zich geen openingen in de bovenkant of zijkanten van de tunnel.

Categorieën van eigenschappen waarmee rekening gehouden kan worden:

- de ligging van de tunnelmond ten opzichte van het maaiveld. Er kan bijvoorbeeld sprake zijn van een verlopende verdiepte ligging;
- de aanwezigheid van afscherpende constructies langs de weg;
- effect van eventuele afzuiging of ventilatie. Bij veel (langere) tunnels is sprake van afzuiging en uitblazing via schoorstenen (mogelijk in combinatie met filtering). Ook hebben verschillende tunnels (met name op het hoofdwegennet) aan het begin of einde van de tunnelbuizen een zogenoemd gaten- of lamellendak.

Op basis van windtunnelexperimenten is voor situaties onder standaardrekenmethode 2 aangenomen dat de emissies die de tunnelmond verlaten na ongeveer 100 meter niet meer significant bijdragen als extra emissies.

### 1.3 Doelstelling en afbakening

Uit literatuuronderzoek van het COB blijkt dat er (internationaal) niet veel is gemeten rond tunnelmonden [1]. Daarbij komt dat het heel lastig is om de resultaten van specifieke metingen voor andere locaties / tunnels te gebruiken.

Dit rapport beschrijft de resultaten van metingen die specifiek gericht zijn op inzicht in de verspreiding van verkeersemisaties door het doen van (indicatieve) metingen.

Het doel van deze praktijkproef is:

- inzicht krijgen in de hoogte van concentraties nabij tunnelmonden;
- inzicht krijgen in de wijze van verspreiding van de emissies van het verkeer rond tunnelmonden.

Gedurende een beperkte periode van twee maanden in de zomer van 2009 (23 juli tot 17 september) zijn verschillende meetmethoden gebruikt om inzicht te krijgen in de verspreiding van verkeersemissies nabij het tunnelportaal aan de zuidzijde van de Wijkertunnel van de Rijksweg A9. De meting beperkt zich tot de luchtverontreinigende stoffen stikstofoxiden en fijn stof (PM<sub>10</sub>). In het onderzoek worden verschillende meetmethoden toegepast: de actieve (continue) meetmethode voor NO<sub>2</sub> conform de Europese referentiemethode en daarnaast een passieve meetmethode om op meer punten inzicht te krijgen in de verspreiding van emissies in de omgeving.

Met een vernieuwende blik is een experimentele opzet bedacht om inzicht te krijgen in verkeersemissies rond tunnelmonden door CO<sub>2</sub> te gebruiken als tracergas/indicator voor de verspreiding van luchtverontreinigende stoffen. Met de verschillende metingen worden zo goed mogelijk de antwoorden gezocht op onderstaande vragen:

- inzicht geven in de concentraties nabij de tunnelmond in vergelijking met geldende grenswaarden;
- bepalen van het verspreidingsprofiel van de emissie in de omgeving van de tunnelmond;
- bepalen tot over welke afstand de invloed van de tunnelmond merkbaar is ten opzichte van de normale concentraties rond de weg (zowel in lengterichting als in de breedte);
- verschillen de emissies bij tunnelportalen van snelweg situaties zonder tunnelportalen;
- toetsing van geschiktheid van het gebruik van CO<sub>2</sub> als tracer voor NO<sub>x</sub>;
- hoe verhouden concentraties CO<sub>2</sub> zich tot de concentraties NO<sub>2</sub>.

Dit onderzoek had een beperkte doelstelling, namelijk het krijgen van (eerste) inzichten. Middels een meetcampagne van twee maanden bij één specifieke tunnelmond moeten geen overall toepasbare antwoorden verwacht worden. Het experiment had ook niet als doel om een meetset te verzamelen die van voldoende kwaliteit en omvang zou zijn om bijvoorbeeld windtunnelexperimenten of CFD-modelstudies te valideren.

## 1.4 Leeswijzer

In dit rapport worden de belangrijkste resultaten van de metingen beschreven, conclusies getrokken en aanbevelingen gegeven. Eerst geeft het rapport in hoofdstuk 2 inzicht in wat, waar en hoe er gemeten is. Daarna worden in hoofdstuk 3 de resultaten van de metingen gepresenteerd.

## 2 Methode

### 2.1 Meetmethoden

De door de Europese Unie voorgeschreven standaardmethode om het aandeel  $\text{NO}_2$  en  $\text{PM}_{10}$  in de openlucht te meten, is een actieve methode. De omgevingslucht wordt gecontroleerd aangezogen door een pomp. De door het apparaat continu aangezogen lucht wordt geanalyseerd op basis van het principe van chemoluminescentie en geeft als resultaat de uurlijkse concentratie  $\text{NO}_2$  in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Voor  $\text{PM}_{10}$  is de werking hetzelfde, maar deze stoelt op het principe van gravimetrie. Het stof dat wordt afgezogen, wordt op een speciaal meetfilter gebracht. Dit filter wordt nauwkeurig in het laboratorium gewogen, zodat de massaconcentratie bepaald kan worden. De sampeltijd van het filter is 24 uur (een etmaal).

In dit onderzoek is voor  $\text{PM}_{10}$  niet gewerkt met deze referentiemethode omdat de interesse uitgaat naar de variatie van de luchtkwaliteit rond de tunnelmonden, waardoor een sampeltijd van 24 uur een te lage resolutie heeft. Daarom is gebruik gemaakt van een methode die werkt op basis van lichtverstrooiing. De referentieapparatuur voor  $\text{NO}_x$  heeft de mogelijkheid om met een hoge resolutie te meten en kon daarom in dit onderzoek gebruikt worden.

De variatie van verkeersemisies in de tijd wordt met de actieve methode op drie vaste meetpunten in beeld gebracht, dit door de uurlijkse meetwaarden op de drie meetpunten naast elkaar uit te zetten.

Tevens kan met de actieve methode de emissiebijdrage van de Rijksweg A9 bepaald worden door één van de meetpunten te kiezen als achtergrondpunt afhankelijk van de windrichting. Er is sprake van een windmeesituatie als de wind dwars op de bron (Rijksweg A9) staat. Voor het bepalen van de wegbijdrage op een meetpunt wordt een windhoek van 120 graden gehanteerd. Daarbij is rekening gehouden met de oriëntatie van de Rijksweg A9 ten opzichte van de meetpunten.

Naast de actieve meetmethode is in dit onderzoek ook gebruikgemaakt van een eenvoudige meetmethode voor  $\text{NO}_2$ , de passieve meetmethode. De passieve meetmethode bestaat uit het ophangen van Palmes diffusiebuisjes in de openlucht. Deze methode stoelt op het principe van diffusie en adsorptie. Stikstofdioxide  $\text{NO}_2$  in de openlucht diffundeert in het Palmesbuisje en adsorbeert met het triethanolamine. In een laboratorium wordt door middel van spectrofotometrie het aandeel nitriet bepaald. Uit deze chemische analyse volgt een gemiddelde concentratie voor de meetperiode in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De diffusiebuisjes worden geplaatst op vaste locaties rond de tunnelmond van de Rijksweg A9. De kwaliteit van de meetmethode wordt versterkt door in duplo te meten, vier diffusiebuisjes per meetlocatie, en door de diffusiebuisjes in zogenaamde cups op te hangen. Deze cups beschermen de diffusiebuisjes tegen direct inregenen en overige extreme weersinvloeden. De bemonstering op vaste meetlocaties geeft een beeld van de verspreiding.

Het bepalen van  $\text{NO}_2$  concentraties op een groot aantal punten is een relatief arbeidsintensieve en daarmee kostbare aanpak, daarom is gezocht naar een eenvoudiger aanpak om inzicht te krijgen in de verspreiding van de verkeersemisies rond de tunnelmond. Koolstofdioxide is een verkeersgerelateerde emissie die in grote hoeveelheden vrijkomt en - wat betreft verspreiding - voldoende gelijkenis vertoont met  $\text{NO}_x$ . Daarom kan koolstofdioxide mogelijk fungeren als indicator of tracergas voor de verspreiding van verkeersemisies.



Op de drie vaste meetpunten wordt gedurende de gehele meetperiode continu koolstofdioxide spectroscopisch (infraroodsensor) gemeten. Uit deze metingen is de variatie in de tijd van CO<sub>2</sub> concentraties te volgen. Daarnaast is op vaste meetlocaties CO<sub>2</sub> in verschillende bemonsteringsronden gemeten. Er is daarbij rekening gehouden met verschillende factoren die van invloed zijn op de absolute concentratie koolstofdioxide en de verspreiding ervan, zoals meteocondities en fluctuaties in verkeersemisatie. Filevorming in de tunnel en wind uit oostelijke richting zijn atypische omstandigheden die van invloed zijn op de absolute concentraties en op verspreiding van CO<sub>2</sub>-concentraties.

## 2.2 Situatie

De Wijkertunnel, een kunstwerk in de Rijksweg A9, is een tunnel onder het Noordzeekanaal door en biedt het wegverkeer een vrije doorgang. De Wijkertunnel bestaat uit twee tunnelbuizen. In beide tunnelbuizen zijn twee rijstroken en een vluchtstrook aangebracht voor het verkeer. Tussen deze twee tunnelbuizen bevindt zich een derde tunnelbuis voor de techniek en deze dient tevens als vluchtroute. Het gesloten gedeelte van de tunnel is 680 meter lang en het diepste punt ongeveer 25 meter onder NAP.



figuur 1 Zuidelijke tunnelmond Wijkertunnel Rijksweg A9 [foto: Michel Rikkelman]

De zuidzijde van het tunnelportaal van de Wijkertunnel is geheel gelegen in een landelijke omgeving, zie figuur 1. De rijbanen liggen hier verdiept ten opzichte van het omliggende maaiveld. Met het verlaten van de tunnel in zuidelijke richting gaat het aantal rijstroken van twee naar drie. In tegengestelde richting kan het verkeer gebruikmaken van twee rijstroken.

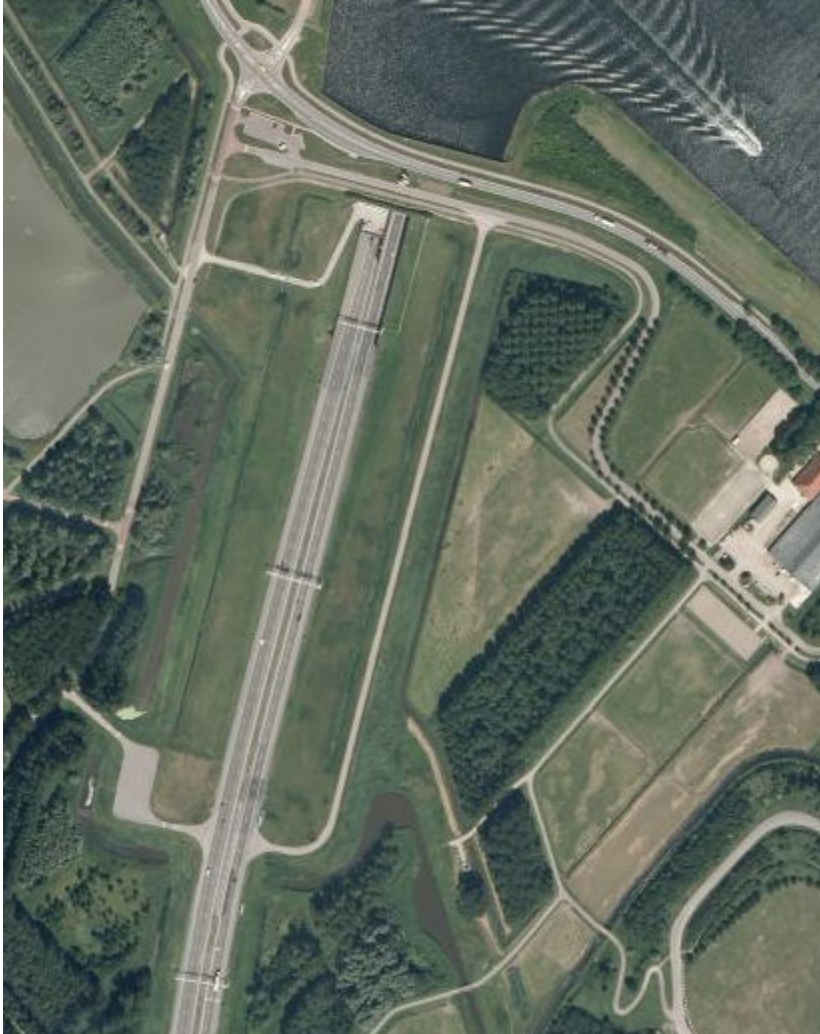
In 2008 reden er gemiddeld, uitgedrukt in weekdagen, circa 53.000 voertuigen door de Wijkertunnel (doorsnede). Uit (concept) verkeerstellingen van RWS [3] blijkt dat in de maanden juli en augustus 2009 de gemiddelde totale intensiteit ongeveer even groot is (etmaalintensiteit weekdag op doorsnede circa 56.000). Onduidelijk is of dit jaar de verdeling over de voertuigcategorieën anders is dan in voorgaande jaren. Er zijn indicaties dat het aandeel vrachtverkeer ten gevolge van de economische crisis is gedaald. Een voorzichtige schatting van een afname van 10% ten opzichte van eenzelfde periode vorig jaar is waarschijnlijk. Het effect van zo'n afname op de totale verkeersemissie is aanzienlijk. De emissie van een vrachtwagen ligt in verhouding tot een personenauto een factor 10 hoger voor  $\text{NO}_x$  en een factor 4 voor  $\text{PM}_{10}$ , uitgaande van vrije doorstroming.



figuur 2

*Wegsituatie einde verdiepte ligging bij meetpunt 6 en 13 [foto: Michel Rikkelman]*

De Wijkertunnel A9 is gelegen op enige afstand van de Randstad. Als gevolg hiervan zijn de achtergrondconcentraties van de diverse luchtverontreinigende stoffen relatief laag te noemen. Opgemerkt wordt dat ter plaatse geen andere relevante bronnen, zoals bijvoorbeeld industrie, aanwezig zijn.



figuur 3 Meetlocatie tunnelportaal zuidzijde Wijkertunnel Rijksweg A9

### 2.3 Meetopstelling

De meetopstelling is gelegen aan de zuidzijde van het tunnelportaal van de Wijkertunnel zie figuur 4. Onderstaande uitgangspunten zijn gehanteerd voor de meetopstelling:

- meethoogte: 1,5 m;
- afstand eerste rij meetpunten: 10 m vanaf de wegrand;
- afstand tweede rij meetpunten: 25 m vanaf de wegrand;
- meetpunt 15 op de wegrand in de middenberm van de tunnelmond in zuidelijke richting (bij de vluchtdeur);
- op M1 en M3 continue monitors op 50 m vanaf de tunnelmond;
- meetpunt M2 in het midden en ongeveer 10 meter boven de rijbaan in zuidelijke richting;
- meetpositie achtergrondconcentratie: M1 of M3 afhankelijk van de windrichting;
- meteo-apparatuur op meetpunt M1, M2 en M3.



figuur 4 Meetopstelling tunnelportaal Rijksweg A9

## 2.4 Apparatuur

Om invulling te geven aan het meetplan is meetapparatuur geselecteerd die voldoet aan eisen op het gebied van nauwkeurigheid en betrouwbaarheid.

Grofweg kan onderscheid gemaakt worden in twee groepen apparatuur. De eerste is gericht op het meten van fijn stof, koolstofdioxide en stikstofoxiden; de tweede op het meten van aanvullende gegevens die van belang zijn bij de interpretatie van de fijn stof- en stikstofoxidenmetingen. Fijn stof Voor het meten van fijn stof is de volgende apparatuur ingezet. Op elk meetpunt zijn twee Osirissen van de producent Turn-Key geplaatst. De Osiris meet continue  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$ . De meetmethode is gebaseerd op lichtverstrooiing. Bedacht moet worden dat de Osiris niet meet conform de referentiemethode voor fijn stof, waardoor de resultaten van de Osiris gezien moeten worden als een indicatieve waarde. Vanuit andere onderzoeken is bekend dat de Osiris de “werkelijke” concentraties (bepaald met de referentiemethode) met circa 20-30% onderschat. Het gaat in dit onderzoek echter niet in de eerste plaats om het bepalen van de werkelijke concentratie om bijvoorbeeld te toetsen aan de wettelijke grenswaarde, maar om een indruk te krijgen van de absolute concentraties en in de verspreiding van de emissie rond de tunnelmond. De gepresenteerde uurgemiddelde concentraties zijn daarom niet gecorrigeerd naar de referentiemethode. Voor het doel van dit project is de kwaliteit van de Osiris voldoende.

Om de onzekerheid van de meetapparatuur te beperken is ervoor gekozen om op elk meetpunt in duplo te meten, dus met twee Osiris-instrumenten per meetpunt.



figuur 5 Fijn stof meetapparatuur: Osiris

### 2.4.1 Stikstofoxiden

Voor het meten van  $\text{NO}_x$  en  $\text{NO}_2$  is op alle meetpunten M1, M2 en M3 een continu meetsysteem gebruikt van Recordum. De Airpointer is gebaseerd op chemoluminescentie. Het toestel bestaat uit een basisunit waarin verschillende meetbanken geschoven kunnen worden.



figuur 6  *$\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ , meetapparatuur: Airpointer*

Naast continue meetapparatuur, waarbij de concentraties continu (dat wil zeggen elke paar minuten) bepaald worden, is het mogelijk om allerlei gassen via passieve methoden te meten. Het voordeel van passieve metingen is dat ze goedkoper zijn en (daardoor) op veel verschillende posities gelijktijdig uitgevoerd kunnen worden. Een nadeel is dat het resultaat gemiddelde concentraties oplevert over een langere periode, bijvoorbeeld twee weken.

Stikstofdioxide wordt bij de passieve meetmethode chemisch gebonden op een met triethanolamine (TEA) gecoat roestvrijstalen grid dat in een kunststof buisje (Palmestube) is aangebracht. De buisjes worden in speciale monsterkapsjes, zogenoemde cup, geplaatst om de effecten van windturbulentie te reduceren. In het buisje treedt diffusie op van stikstofdioxide naar het grid en wordt daar door de TEA chemisch gebonden. De monsters worden later in het laboratorium geanalyseerd.



figuur 7 *Passieve meetmonsters voor NO<sub>2</sub>*

Voor het meten van NO<sub>2</sub> is op alle meetpunten behalve 16 t/m 19 gebruikgemaakt van Palmes diffusiebuisjes. Op iedere meetlocatie zijn vier diffusiebuisjes in een zogenoemde cup opgehangen, om invloed van regen en wind te verminderen. Om meer inzicht te krijgen in de onzekerheden van deze meetmethode en de invloed van de analyse van de buisjes, is uiteindelijk op elk meetpunt (gelijktijdig) met vier buisjes gewerkt. Er is gebruikgemaakt van twee typen buisjes: het standaardtype en een type met een speciaal membraan, ontworpen voor vermindering van turbulentie (zogenaamde Glasritten, een methode die het Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen in Duitsland aanbeveelt). De diffusiebuisjes zijn opgehangen in paren van hetzelfde type. Daarnaast is op enkele meetlocaties een vijfde buisje toegevoegd een zogenaamde "blank". Deze buisjes blijven ongebruikt, worden niet blootgesteld aan de lucht en dienen ter controle van de meetmethode. Vervolgens zijn de diffusiebuisjes geanalyseerd in twee verschillende laboratoria (Passam en MüllerBBM) met als resultaat per diffusiebuisje een concentratie stikstofdioxide in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De resultaten van deze analyses zijn gebruikt om meer inzicht te krijgen in de onzekerheden van de methode.

In dit rapport worden de gemiddelde resultaten gebruikt. De resultaten van de diffusiebuisjes zijn gecorrigeerd naar de meetwaarden van de continue NO<sub>2</sub> monitors (Airpointer), zodat de gepresenteerde waarden overeenkomen met de meetwaarden conform de referentiemethode.

## 2.4.2 Koolstofdioxide

Voor het meten van koolstofdioxide is de volgende apparatuur ingezet:

- IBRID MX6
- CaTeC Klimabox
- Europa monitor

### IBRID MX6

Met twee IBRID MX6 CO<sub>2</sub> gasdetectors is op verschillende locaties de concentratie CO<sub>2</sub> gemeten. Met deze handmeters wordt de concentratie CO<sub>2</sub> in volumeprocenten gemeten (0,01 Vol.-% komt overeen met 100 ppm). In de buitenlucht wordt vrijwel altijd een concentratie gemeten van 0,03 Vol.-%.

### CaTeC Klimabox

De Klimabox is gebruikt om op alle meetpunten een meting te doen van enkele minuten. De meetresultaten zijn weergegeven in de eenheid parts per million (ppm). Op de verschillende meetdagen zijn in de buitenlucht waarden tussen de 500 en 700 ppm gemeten.

Inpandig zijn veel hogere waarden geconstateerd. Het onderscheidend vermogen van de Klimabox is veel kleiner dan dat van de IBRID, maar de meetfout ligt op 50 ppm + 2% van de gemeten waarde.

### Europa CO<sub>2</sub>-monitors

Op elk van de drie vaste meetpunten is een CO<sub>2</sub> monitor van Europa geplaatst. Met deze apparatuur wordt met behulp van infrarood continu de concentratie CO<sub>2</sub> gemeten. De Europa CO<sub>2</sub> monitors reageren sneller op een verandering in concentratie dan de twee bovengenoemde apparaten.



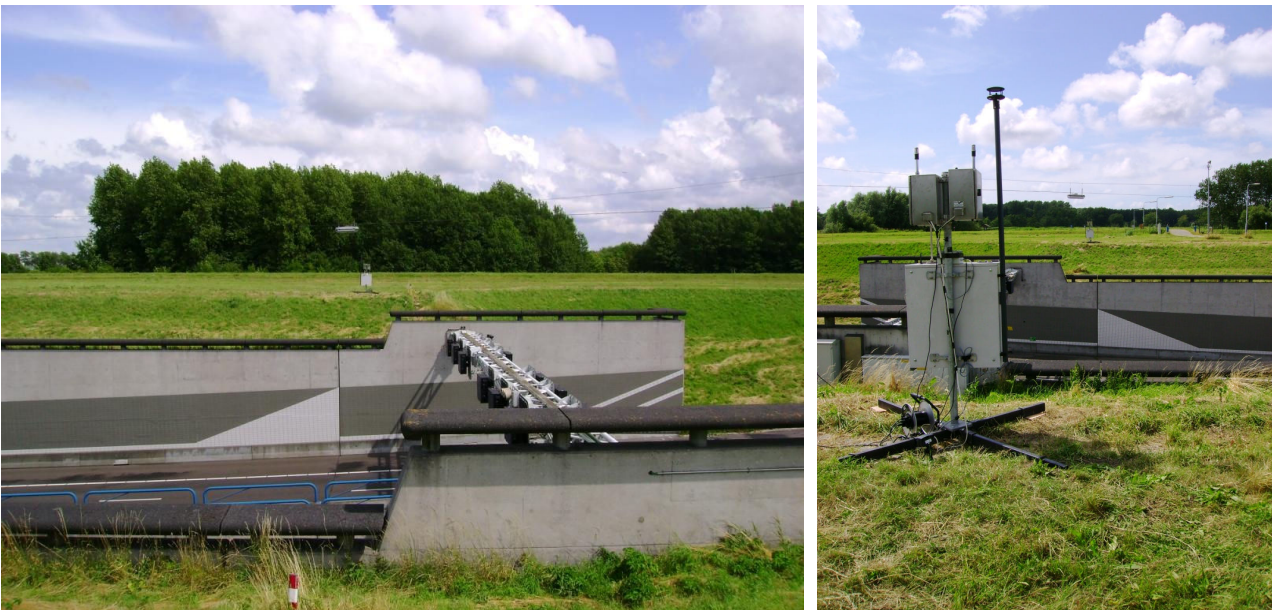
figuur 8 CO<sub>2</sub> meetapparatuur van links naar rechts: IBRID MX6, Klimabox CaTeC en Europa monitor



### 2.4.3 Meteogegevens

Meteo-informatie is op meerdere manieren ingewonnen:

- op drie meetposities M1, M2 en M3 in de meetopstelling (zie figuur 9) worden (op circa 2.5 m hoogte) gerichte continue lokale metingen uitgevoerd. Het betreft:
  - luchttemperatuur;
  - luchtvochtigheid;
  - windrichting;
  - windsnelheid;
- gedetailleerde meteo-informatie van een meteodienst. Deze informatie is gebruikt ter controle van de locatiespecifieke gegevens die zelf ingewonnen zijn.



figuur 9 Foto's van de meetpositie aan de oostkant van de weg (meetpunt 3)

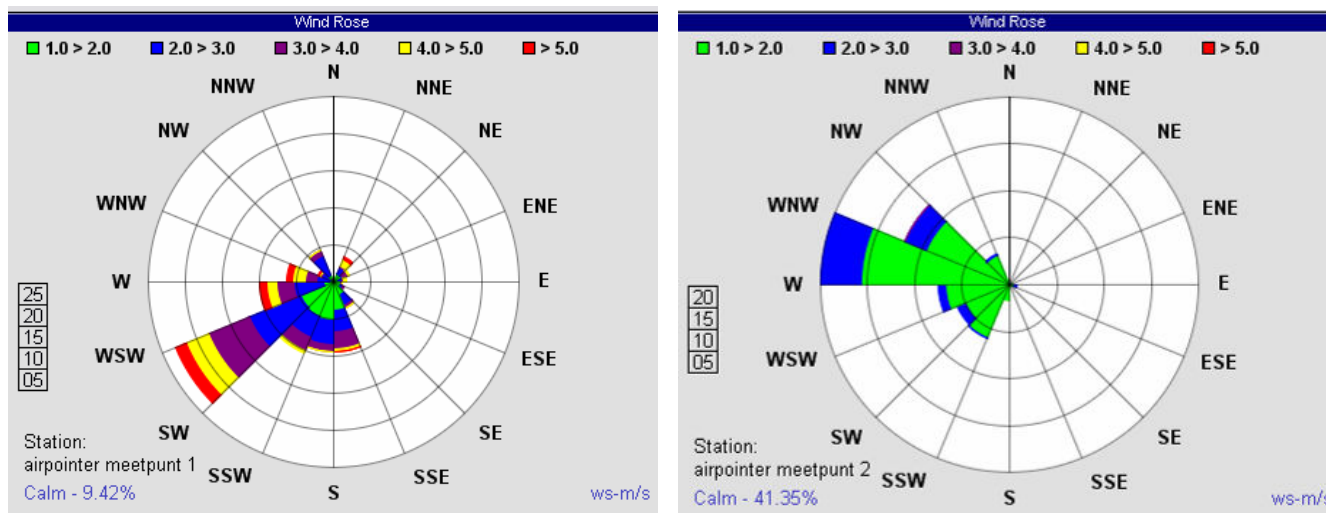
## 3 Resultaten

### 3.1 Meteo

De weersomstandigheden hebben een grote invloed op de verspreiding van luchtverontreinigende stoffen. Windrichting en windsnelheid zijn van invloed op de hoogte van de concentraties in de tijd en verspreiding in de ruimte. Op drie verschillende posities is gedurende de gehele meetperiode de windsnelheid en windrichting gemeten. In figuur 10 is de windsnelheid en windrichting op meetpunt M1 en M2 afgebeeld. Meetpunt M1 is gelegen aan de westzijde van de Rijksweg A9 op 50 meter van de tunnelmond en in open veld. Op meetpunt M3 op de oostelijke zijde van de Rijksweg A9 verschilt de windsnelheid en windrichting niet significant van die op M1. Meetpunt M2 is direct gelegen boven de tunnelmond van de rijbaan in zuidelijke richting en gelegen in de schaduw van het tunnelgebouw.

Uit de meteogegevens blijkt dat op meetpunt M1 gedurende de meetperiode voornamelijk wind uit zuidwestelijke richting komt (zie figuur 6). In de totale meetperiode is er bijna geen wind uit oostelijke richting gemeten. In minder dan 5 % van de tijd is wind uit oostelijke richting vastgesteld.

Meetpunt M2 is gelegen boven de tunnelmond van de rijbaan in zuidelijke richting op de parkeerplaats voor het tunnelgebouw. De wind komt gedurende de meetperiode voornamelijk uit west- tot noordwestelijke richting en met relatief lage windsnelheid. Het verschil in windsnelheid en windrichting op meetpunt M2 ten opzichte van meetpunt M1 wordt veroorzaakt door afscherming vanwege de tunnelportaalconstructie. Dit verschil in windsnelheid en windrichting is duidelijk zichtbaar in windroos op meetpunt M2 en M1.



figuur 10 Windroos behorend bij meetpositie M1 (linker windroos) en M2 (rechter windroos). Windrichting als percentage van het totaal aantal uren (schaalverdeling 5%). Windsnelheid in klassen in meter per seconde (kleur)

## 3.2 Continu gemeten concentraties

Gedurende de zomerperiode is er in totaal acht weken continu fijn stof ( $PM_{10}$ ), stikstofoxiden ( $NO_x$ ) en ( $NO_2$ ), en koolstofdioxide ( $CO_2$ ) gemeten. De gepresenteerde uurgemiddelde waarden zijn gecorrigeerd voor onderhoud en kalibratie.

Tijdens de meetperiode is er nauwelijks sprake geweest van oostenwind, minder dan 5% van de tijd. We hebben voor die windrichting maar weinig betrouwbare uurgemiddelde meetwaarden kunnen vaststellen. Bij het aflezen van een "pollutionrose" dient daarom beseft te worden dat de onzekerheid over de meetdata bij oostelijke wind zeer veel groter is dan die bij zuidwestenwind.

De gepresenteerde uurgemiddelde waarden, weergegeven in een windroos of pollutionrose, zijn op de assen van de windrichting geplot. Voor het interpreteren van de windroos of pollutionrose dient men te beseffen dat de data tussen  $180^\circ$  en  $210^\circ$  (graden) weergegeven worden op  $210^\circ$ .

Uit de continue metingen wordt het verloop van concentraties variërend in de tijd zichtbaar. Die concentraties worden gemeten bij de verschillende meteocondities. Daarnaast is verspreiding van verkeeremissie in directe omgeving rond de tunnelmond zichtbaar en in de lengterichting van de Rijksweg A9. De meetlocaties M1 en M3 liggen hemelsbreed op 50 meter van de tunnelmond en meetpunt M2.

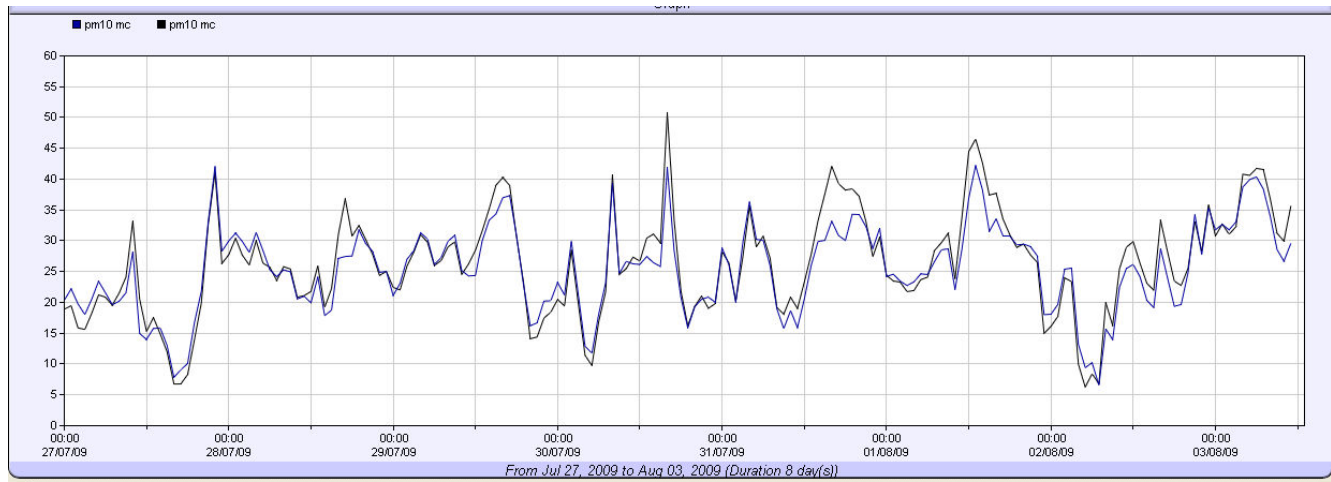
Bij de analyse van de continue metingen kan een wegbijdrage, emissiebijdrage van de weg op de directe omgeving, per stof bepaald worden. Dit gebeurt door het verschil in concentratie te nemen tussen meetlocatie M1 en M3 in meewindsituaties. Er is sprake van een meewindsituatie wanneer de wind binnen een hoek van minder dan 60 graden ten opzichte van de normaal op de weg staat. De totale hoek waarvoor een meewindsituatie geldt, is een hoek van 120 graden. Er is rekening gehouden met de oriëntatie van de Rijksweg A9. Deze ligt ongeveer 15 graden gedraaid ten opzichte van het noorden.

### Fijn stof

Gedurende de gehele meetperiode zijn met de Osiris op drie continue meetpunten (M1, M2 en M3) de concentraties fijn stof in duplo gemeten.

In figuur 11 is bij wijze van voorbeeld de concentratie fijn stof als uurgemiddelde waarde op meetpunt M2 uitgezet tegen de tijd. Uit het tijdsbeeld blijkt dat de concentraties gedurende een dag, dalen richting middernacht en stijgen richting de ochtend, waarna de concentraties dalen en weer stijgen in de namiddag/avond. Het concentratieverloop gedurende een dag gaat niet helemaal gelijk op met de ochtend- en avondspits, omdat de invloed van het verkeer op de totale fijn stof concentratie beperkt is.

Opgemerkt wordt dat de absolute uurgemiddelde waarden relatief laag zijn en mogelijk weinig verschillen van eenvoudige snelwegsituaties.

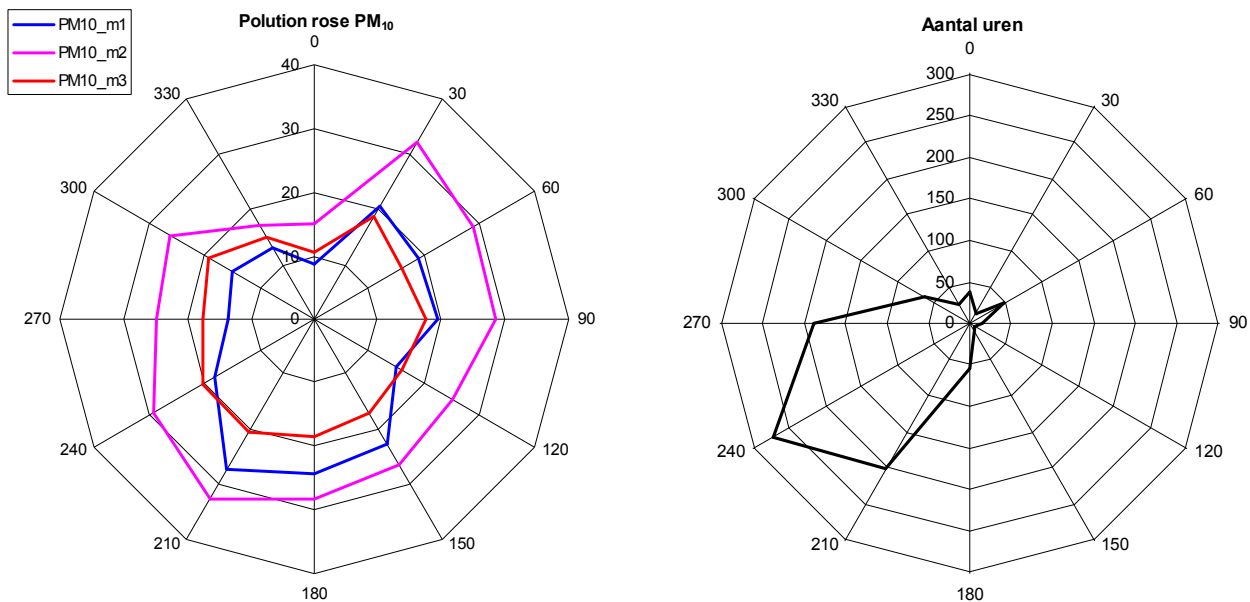


figuur 11 Concentraties  $PM_{10}$  in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  op meetpunt M2 uitgezet tegen de tijd van maandag 27 juli tot maandag 3 augustus 2009

In figuur 12 zijn de uurgemiddelde concentraties  $PM_{10}$  uitgezet bij de verschillende windrichtingen in de meetperiode in een polutionrose. In de rechter windrose is de windrichting uitgezet tegen het aantal uren. De gepresenteerde waarden zijn gecorrigeerd voor kalibratie en onderhoud.

De absoluut gemeten concentraties fijn stof zijn op de drie meetpunten relatief laag. De hoogste concentraties treden op bij west-tot zuidwestelijke windrichting. Uit figuur 12 blijkt dat hoge concentraties voorkomen bij oostelijke wind. Er zijn echter onvoldoende meetwaarden om dit met zekerheid vast te stellen.

Op meetpunt M2 worden de hoogste concentraties fijn stof gemeten. Gemiddeld is dit ongeveer  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hoger ten opzichte van M1 en ongeveer  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ten opzichte van M3. Op meetpunt M3 zijn de concentraties hoger dan op meetpunt M1 bij wind uit west- tot zuidwestelijke richting. Bij wind uit zuidoostelijke richting ( $150^\circ - 210^\circ$ ) is de concentratie op M1 hoger dan op M3, omdat de wind dan van de andere kant van de weg komt.



figuur 12

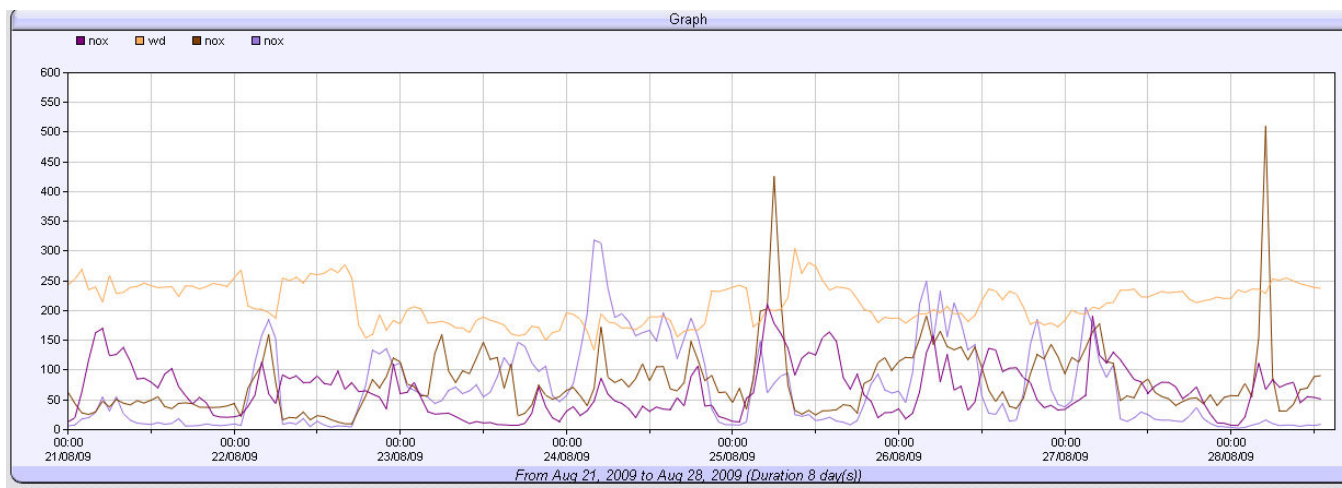
Links: pollutionrose; uurgemiddeldeconcentratie  $PM_{10}$  op M1, M2 en M3 uitgezet tegen de windrichting; rechts: windroos, windrichting uitgezet tegen het aantal uren (windsnelheid > 1m/s en standaarddeviatie windrichting < 15°)

### Stikstofoxiden

Met de Airpointer zijn in de gehele meetperiode stikstofoxiden ( $NO_x$ ) en ( $NO_2$ ) gemeten.

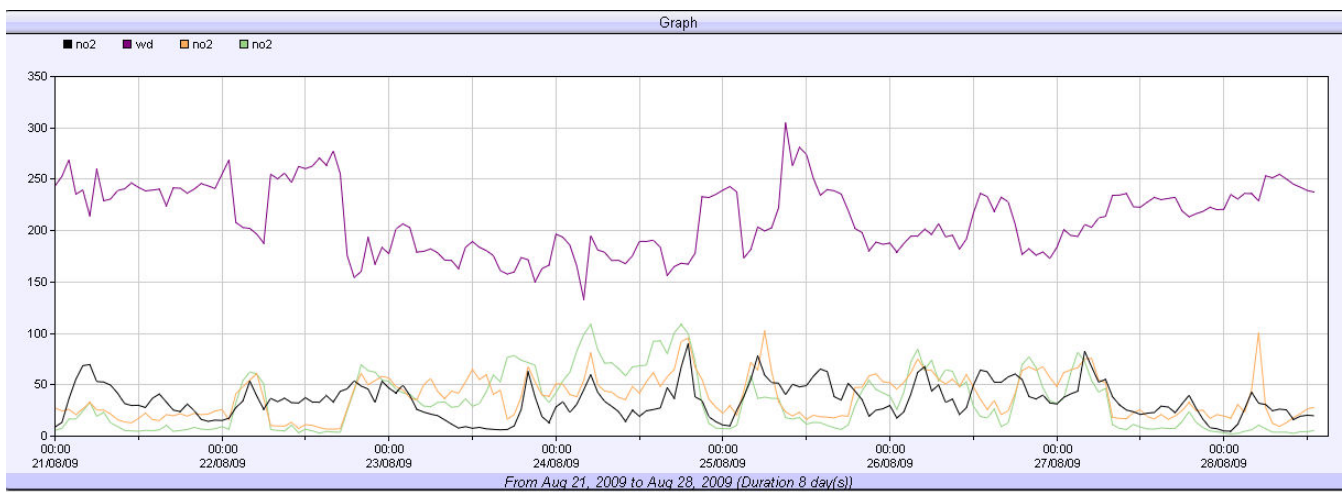
In figuur 13 is de concentratie  $NO_x$  als uurgemiddelde waarde op meetpunten M1, M2 en M3 uitgezet tegen de tijd voor de periode van vrijdag 21 tot vrijdag 28 augustus. Uit het tijdsbeeld blijkt dat de hoogte van de concentraties op de verschillende meetpunten afhankelijk zijn van de windrichting. Bij westelijke wind is de concentratie op meetpunt M3 duidelijk hoger dan op M1 en M2. Opvallend zijn de pieken op meetpunt M2 in de ochtendperiode: deze vallen samen met lagere pieken op M1 en M3. Deze pieken kunnen mogelijk overeenkomen met files. Bij een lagere verkeerssnelheid is de emissie groter en is de "jetwerking", vanwege het ontbreken van verkeerssnelheid, kleiner.

Het concentratieverloop lijkt samen te vallen met een verkeersbeeld waarin een ochtendspits en avondspits zijn te onderscheiden. De ochtendspits lijkt meer in de verkeersemissie over de dag bij te dragen dan de avondspits. De absolute uurgemiddelde waarden zijn relatief laag en verschillen waarschijnlijk weinig van eenvoudige snelwegsituaties.



figuur 13 Concentraties  $\text{NO}_x$  in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  op meetpunten M1(licht paars), M2(bruin) en M3(paars) van vrijdag 21 tot vrijdag 28 augustus 2009 uitgezet tegen de tijd, en windrichting in graden op M3 (oranje)

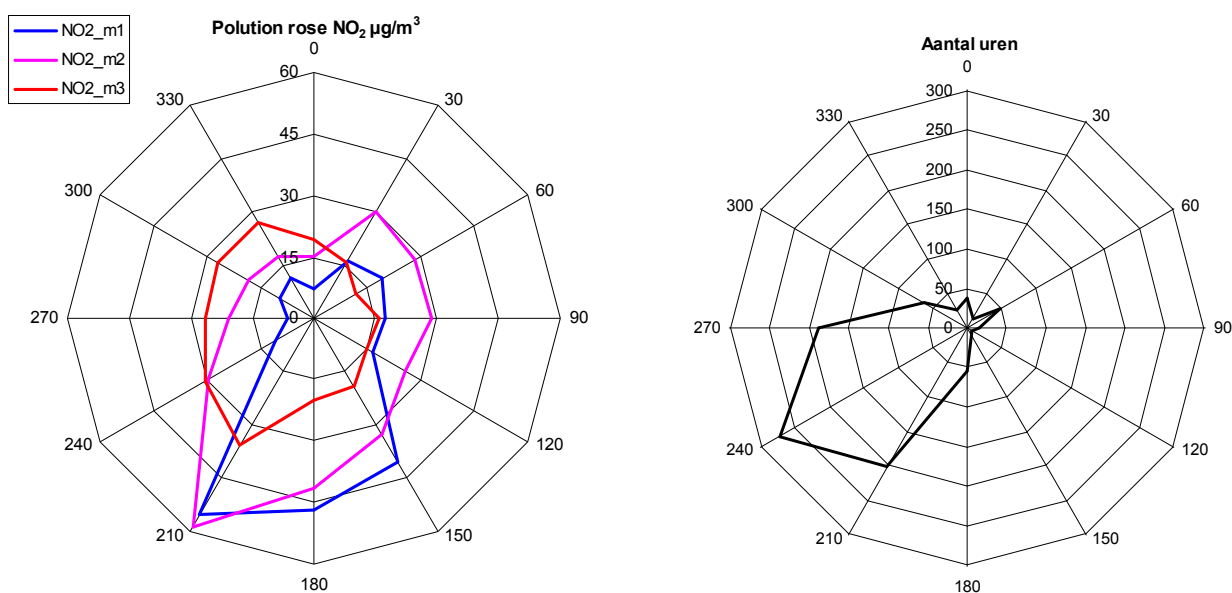
In figuur 14 zijn de concentraties  $\text{NO}_2$  als uurgemiddelde waarde op meetpunten M1, M2 en M3 uitgezet tegen de tijd voor de periode van vrijdag 21 tot vrijdag 28 augustus. Op werkdagen zijn de concentraties  $\text{NO}_2$  op meetpunten M1, M2 en M3 relatief hoger als gevolg van de ochtend- en avondspits.



figuur 14 Concentraties  $\text{NO}_2$  in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  op meetpunten M1(groen), M2(oranje) en M3(zwart) van vrijdag 21 tot vrijdag 28 augustus 2009 uitgezet tegen de tijd, en windrichting in graden op M3 (paars)

In figuur 15 zijn de uurgemiddeldeconcentraties  $\text{NO}_2$  uitgezet tegen de windrichting voor meetpunt M1, M2 en M3. Voor alle meetpunten geldt dat de bepaalde uurgemiddeldeconcentraties het meest betrouwbaar zijn bij een west- tot zuidwestelijke wind. Op meetpunt M2 wordt de hoogste concentratie bereikt van bijna  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Deze overschrijdt niet de wettelijke grenswaarde voor  $\text{NO}_2$  van  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als uurgemiddeldeconcentratie in 2010. Dit geldt ook voor meetpunt M1.

Op meetpunt M3 doen zich gemiddeld de hoogste concentraties voor. De gemiddeld laagste concentraties doen zich voor op meetpunt M1. Bij zuidelijke wind zijn de concentraties bij de tunnelmond op meetpunt M2 hoger dan op meetpunt M1 en fors hoger dan bij meetpunt M3.



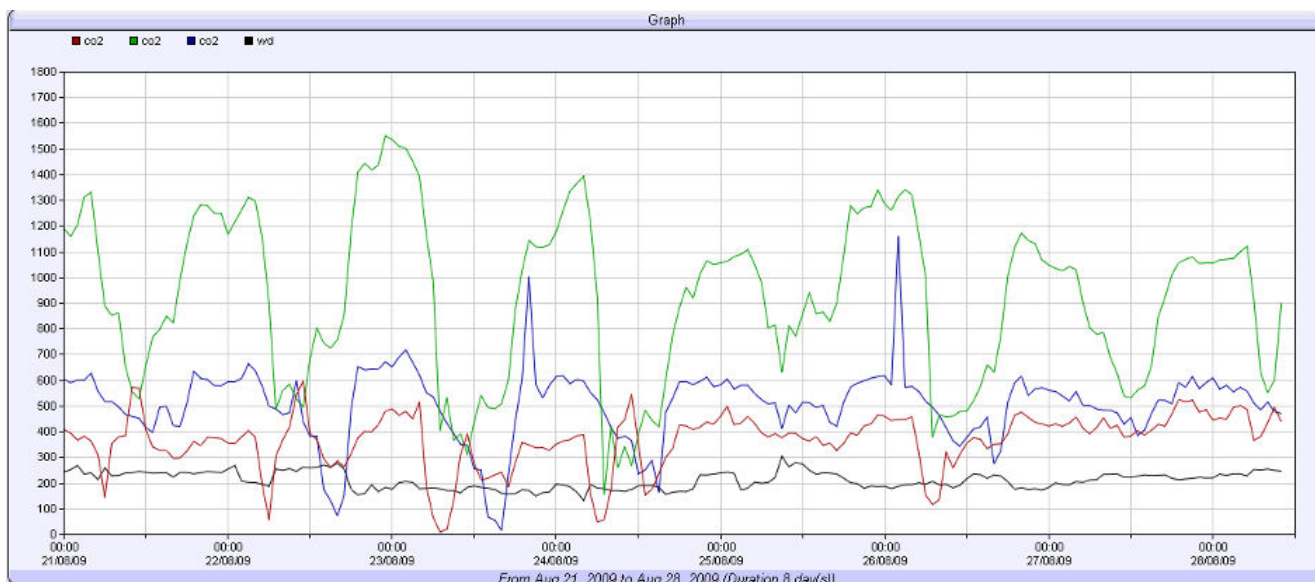
figuur 15 *Linker windroos: uurgemiddeldeconcentratie NO<sub>2</sub> op M1, M2 en M3 uitgezet tegen de windrichting; rechter windroos: windrichting uitgezet tegen het aantal uren (windsnelheid > 1m/s en standaarddeviatie windrichting <15°)*

### Koolstofdioxide

Over de gehele meetperiode van 8 weken is CO<sub>2</sub> gemeten op de drie continue meetpunten (M1-M3). Daarbij is gebruikgemaakt van de Europa monitor.

In figuur 16 is zichtbaar dat op alle meetpunten de concentratie CO<sub>2</sub> gedurende de dag stijgt tot middernacht, vervolgens daalt en in de ochtend weer stijgt. De windrichting varieert licht uit zuidwestelijke richting.

Op meetpunt M2 boven de tunnelmond worden gedurende de meetperiode de hoogste concentraties CO<sub>2</sub> gemeten. De concentraties CO<sub>2</sub> zijn op meetpunt M3 gemiddelde hoger dan op meetpunt M1.

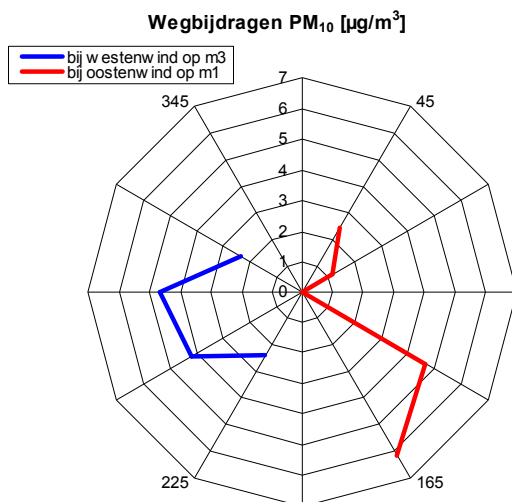


figuur 16 CO<sub>2</sub> concentraties op meetpunt M1: rode lijn; M2: groene lijn; en M3: blauwe lijn; de zwarte lijn geeft de windrichting op meetpunt M3 weer in de periode van vrijdag 21 tot vrijdag 28 augustus

### 3.3 Bijdrage verkeersemmissie

#### Fijn stof

Uit de meetwaarden van meetpunten M1 en M3 is bij verschillende windrichtingen de verkeerbijdrage van fijn stof te bepalen. Op M3 bij westenwind is de bijdrage tussen 4 en 5 µg/m<sup>3</sup>, zie figuur 17. Op M1 is de bijdrage van de verkeersemmissie op de directe omgeving bij west- tot zuidwestelijke windrichting maximaal 4,5 µg/m<sup>3</sup>.

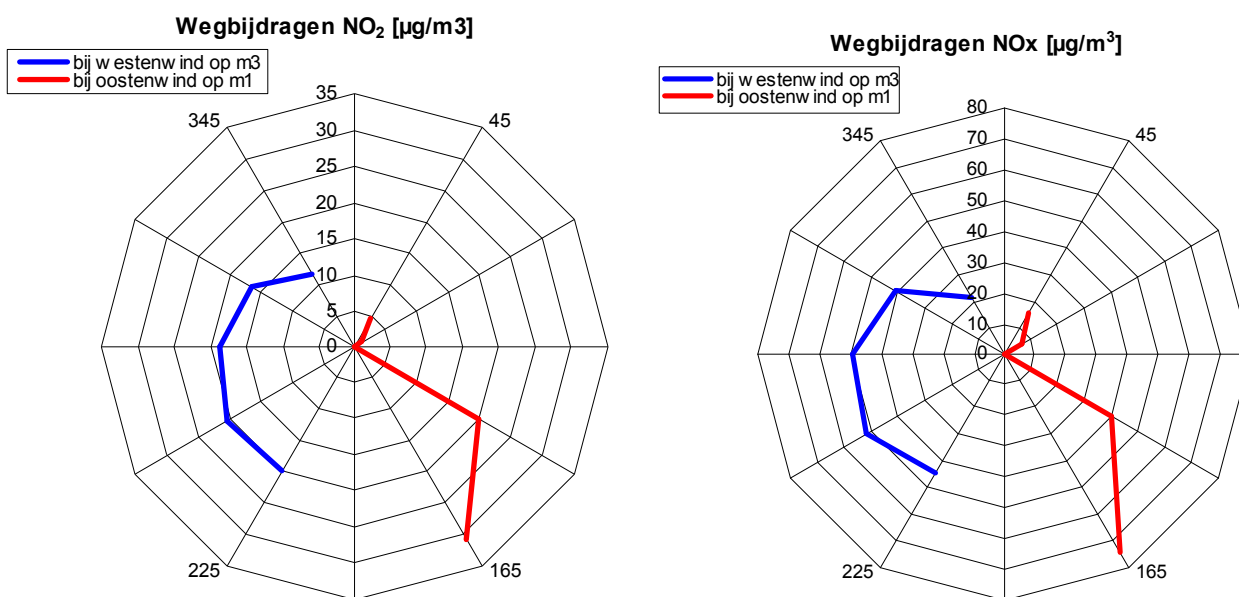


figuur 17 Bijdrage van verkeersemmissie op meetpunt M1 bij oostenwind en op meetpunt M3 bij westenwind



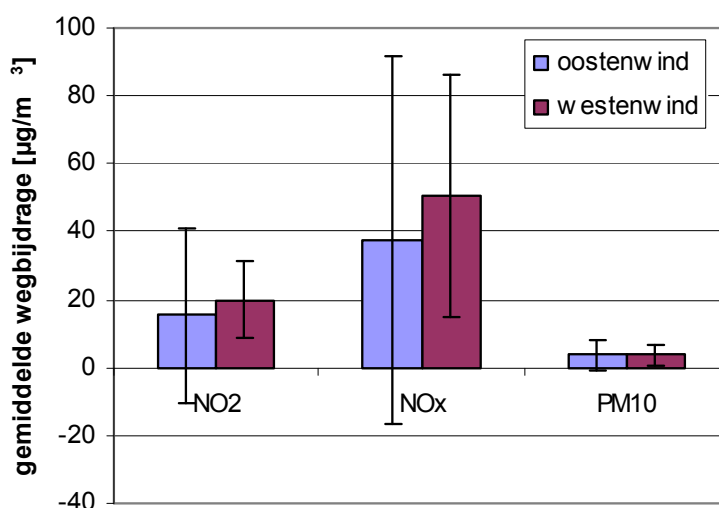
### Stikstofoxiden

Uit de meetwaarden van meetpunten M1 en M3 is bij verschillende windrichtingen de verkeersbijdrage van  $\text{NO}_2$  en  $\text{NO}_x$  te bepalen. In figuur 18 is de bijdrage van de verkeersemissie op meetpunt M1 en op meetpunt M3 voor de verschillende windrichtingen uitgezet voor zowel  $\text{NO}_2$  als  $\text{NO}_x$ . Voor meetpunt M3 geldt een wegbijdrage van gemiddeld  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor  $\text{NO}_2$  en gemiddeld  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor  $\text{NO}_x$ .



figuur 18 Bijdrage van verkeersemissie op meetpunt 1 bij oostenwind en op meetpunt 3 bij westenwind in de linker windroos voor  $\text{NO}_2$  en rechter windroos  $\text{NO}_x$

In figuur 19 is de gemiddelde wegbijdrage voor fijn stof, stikstofdioxide en stikstofoxiden weergegeven met het 95% betrouwbaarheidsinterval. Uit figuur 16 blijkt dat er bij westenwind een gemiddelde wegbijdrage vastgesteld kan worden met een beperkte meetonzekerheid. Bij oostenwind is er een grote spreiding in de meetdata en zijn slechts weinig uurwaarden, zodat geen nauwkeurige wegbijdrage te bepalen is.



figuur 19 Gemiddelde wegbijdrage voor NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> in µg/m<sup>3</sup> inclusief 95% betrouwbaarheidsinterval

### 3.4 Passieve meting ruimtelijk beeld

Gedurende acht weken zijn in vier bemonsteringsperioden van twee weken Palmes diffusiebuisjes op de verschillende meetlocaties rond de tunnelmond opgehangen, zie figuur 4.

In tabel I zijn de gemiddelde concentraties van de verschillende diffusiebuisjes voor de vier meetperioden per meetlocatie uitgezet. Op basis van de passieve metingen in een periode van 2 maanden kan (nog) geen goede schatting gemaakt worden van de jaargemiddelde concentratie. Uit de tabel blijkt dat de concentratie in de directe nabijheid van de tunnelmond op meetpunt 15 de jaargemiddelde grenswaarden voor NO<sub>2</sub> in 2010 zou overschrijden. Op de overige meetlocaties zou de grenswaarde voor NO<sub>2</sub> in 2010 niet overschreden worden. Opgemerkt wordt dat niet alle meetlocaties overeenkomen met de wettelijk vastgestelde toetsafstand van maximaal 10 meter tot de wegrand. De verdiepte ligging van de Rijksweg A9 maakt dit praktisch onmogelijk. De passieve metingen zijn niet bedoeld om de jaargemiddelde concentratie te schatten, maar om een indruk te krijgen van de verspreiding van de emissie vanuit de tunnelmond.

tabel I *Gemiddelde concentratie NO<sub>2</sub> voor de verschillende meetperioden per meetlocatie; de gemiddelde concentratie NO<sub>2</sub> in µg/m<sup>3</sup> en standaarddeviatie per meetlocatie*

meetlocatie	gemiddelde concentratie NO <sub>2</sub> in µg/m <sup>3</sup>				gehele meetperiode	
	periode 1	periode 2	periode 3	periode 4	gemiddelde in µg/m <sup>3</sup>	standaarddeviatie in µg/m <sup>3</sup>
1	21,8	20,0	26,1	20,2	22,0	2,8
2	22,8	19,9	24,2	20,1	21,8	3,1
3	30,6	24,1	32,1	23,7	27,6	3,1
4	24,3	20,7	25,2	19,3	22,4	3,9
5	30,0	25,1	32,2	24,3	27,9	3,7
6	42,8	36,1	42,4	32,7	38,5	3,2
7	24,6	26,7	27,6	24,3	25,8	2,1
8	23,3	25,2	24,0	23,6	24,0	3,7
9	27,5	30,6	31,9	26,5	29,1	2,8
10	25,0	28,5	26,6	23,3	25,8	3,5
11	32,2	34,6	31,6	26,7	31,3	4,9
13	31,3	39,7	30,9	28,4	32,6	2,9
14	31,5	28,4	37,0	34,9	32,9	3,9
15	119,5	125,2	134,4	114,1	123,3	41,6

In figuur 20 zijn de gemiddelde concentraties NO<sub>2</sub> in µg/m<sup>3</sup> voor de vier meetperioden per meetlocatie weergegeven voor de Palmes diffusiebuisjes.

Op meetlocatie 15 (in de directe nabijheid van de tunnelmond) is gemiddeld de hoogste concentratie voor alle meetperioden vastgesteld en op meetpunt 2 (ten noordwesten van de tunnelmond) gemiddeld de laagste. De standaarddeviatie op meetlocatie 15 is relatief groot. Meetpunt 15 is gelegen direct aan de wegrand in de tunnelmond. Op deze locatie heeft turbulentie vanwege het verkeer een versturende invloed op de passieve meetmethode. De mate van verstoring is afhankelijk van het type diffusiebuisje. Het type zonder membraan tegen vermindering van turbulentie is de oorzaak van relatief grote standaarddeviatie op dit meetpunt.

Op de meetlocaties gelegen op 10 meter van de wegrand van de Rijksweg A9 neemt de gemiddelde concentratie toe op grotere afstand van de tunnelmond. Dit wordt wellicht veroorzaakt door het effect van "jetwerking". Jetwerking is een versterkte luchtstroom uit de tunnelmond in de rijrichting als gevolg van (de snelheid van) het verkeer.

De emissie verspreidt zich in veel mindere mate dwars op de Rijksweg A9, wat wel te verwachten is bij overwegend zuidwestelijke windrichting. Waarschijnlijk draagt de verdiepte ligging hieraan bij en blijft de emissie hangen tussen de tunnelwanden.



figuur 20 Gemiddelde concentratie NO<sub>2</sub> in µg/m<sup>3</sup> over de gehele meetperiode per meetlocatie met de standaarddeviatie tussen haken voor Palmes diffusiebuisjes

### Koolstofdioxide

In verschillende meetronden is de concentratie CO<sub>2</sub> bepaald op verschillende meetlocaties rond de tunnelmond. Uit de metingen blijkt dat de concentraties in de omgeving van de tunnelmond lager zijn dan verwacht. Alleen dicht bij de opening van de tunnelmond op meetpunt 15 zijn relatief hoge concentraties CO<sub>2</sub> geconstateerd. Bij de metingen is gebruikgemaakt van verschillende meetapparatuur, zie paragraaf 2.4.2. Een overzicht van vergelijkende metingen is gegeven in tabel II.

Uit tabel II blijkt dat er behoorlijke verschillen bestaan in de gemeten waarden met de verschillende apparaten. Waarschijnlijk is de oorzaak dat de gemeten concentraties zich bevinden aan de onderkant van het meetbereik van de CO<sub>2</sub> sensoren. De concentratie die met de verschillende apparaten cq. sensoren vastgesteld wordt, overschrijdt meestal niet een CO<sub>2</sub> concentratie van 1000 ppm. We concluderen daarmee dat de CO<sub>2</sub>-concentraties rond de tunnelmond niet erg hoog zijn. Naar verwachting is de CO<sub>2</sub>-concentratie aan het eind van de tunnel hoger dan circa 4.000 ppm.

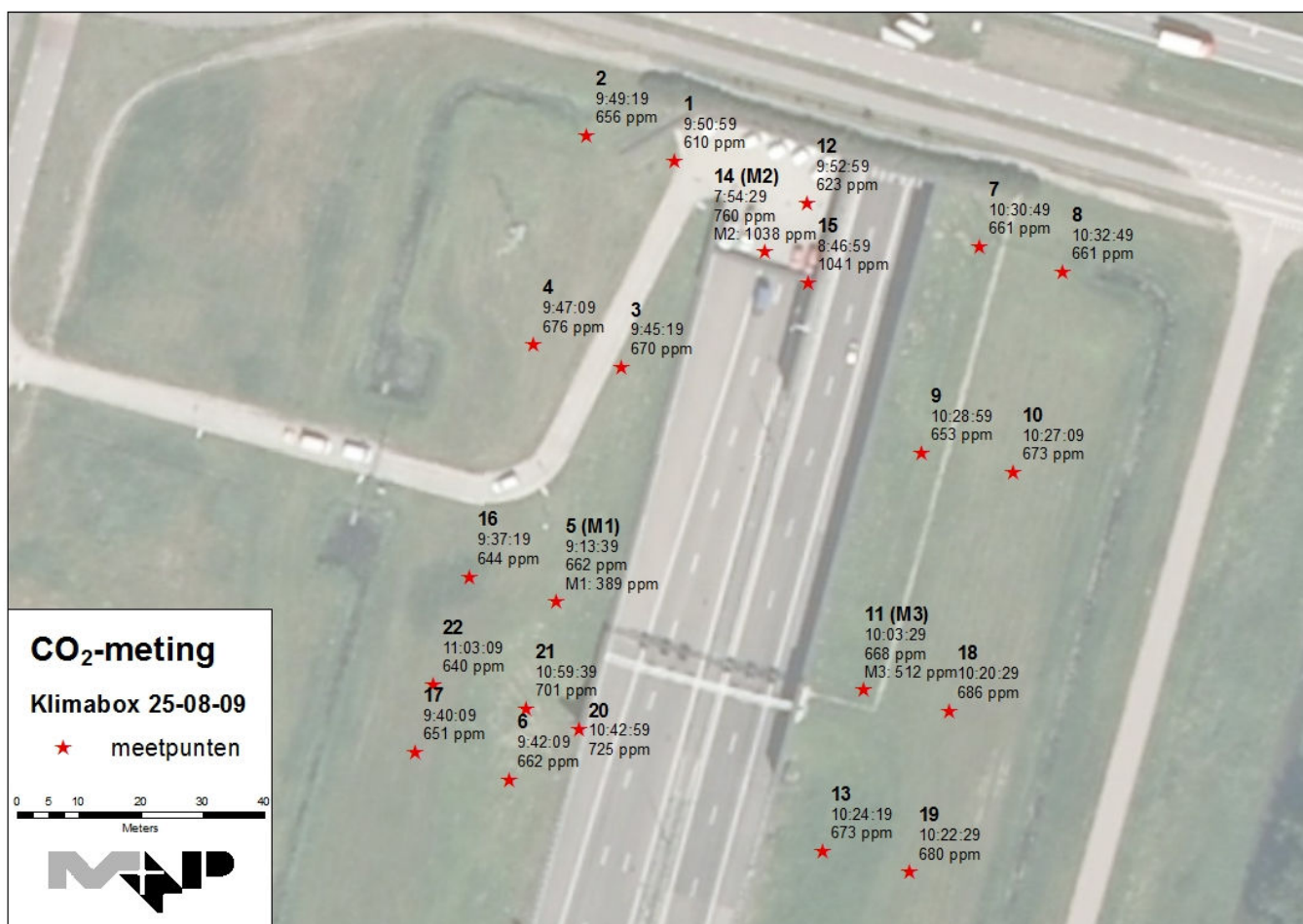
tabel II

Vergelijkende metingen CO<sub>2</sub> met Klimabox , Europa monitor (continue CO<sub>2</sub>) en IBRID

meetpunt	continue CO <sub>2</sub>	Klimabox	verschil	IBRID
M1 (25 augustus 2009)	389	662	-273	300
M2 (25 augustus 2009)	1038	760	278	300
M3 (20 augustus 2009)	410	752	-342	300
M3 (25 augustus 2009)	512	668	-156	300
M1 (1 september 2009)	443	505	-62	300
M1 (1 september 2009)	509	511	-2	300
M1 (16 september 2009)	825	540	285	300
M2 (1 september 2009)	899	573	326	300
M2 (16 september 2009)	1213	531	682	300
M3 (1 september 2009)	787	502	285	300

In figuur 21 en figuur 22 is de ruimtelijke verspreiding van CO<sub>2</sub> concentraties weergegeven op de vastgestelde meetpunten voor twee atypische dagen. Atypische dagen wil zeggen afwijkende omstandigheden wat betreft het weer en/of verkeer. De CO<sub>2</sub> concentraties zijn vastgesteld met behulp van de Klimabox. Op basis van onze inzichten verwachten we dat de Klimabox het meest betrouwbare beeld geeft.

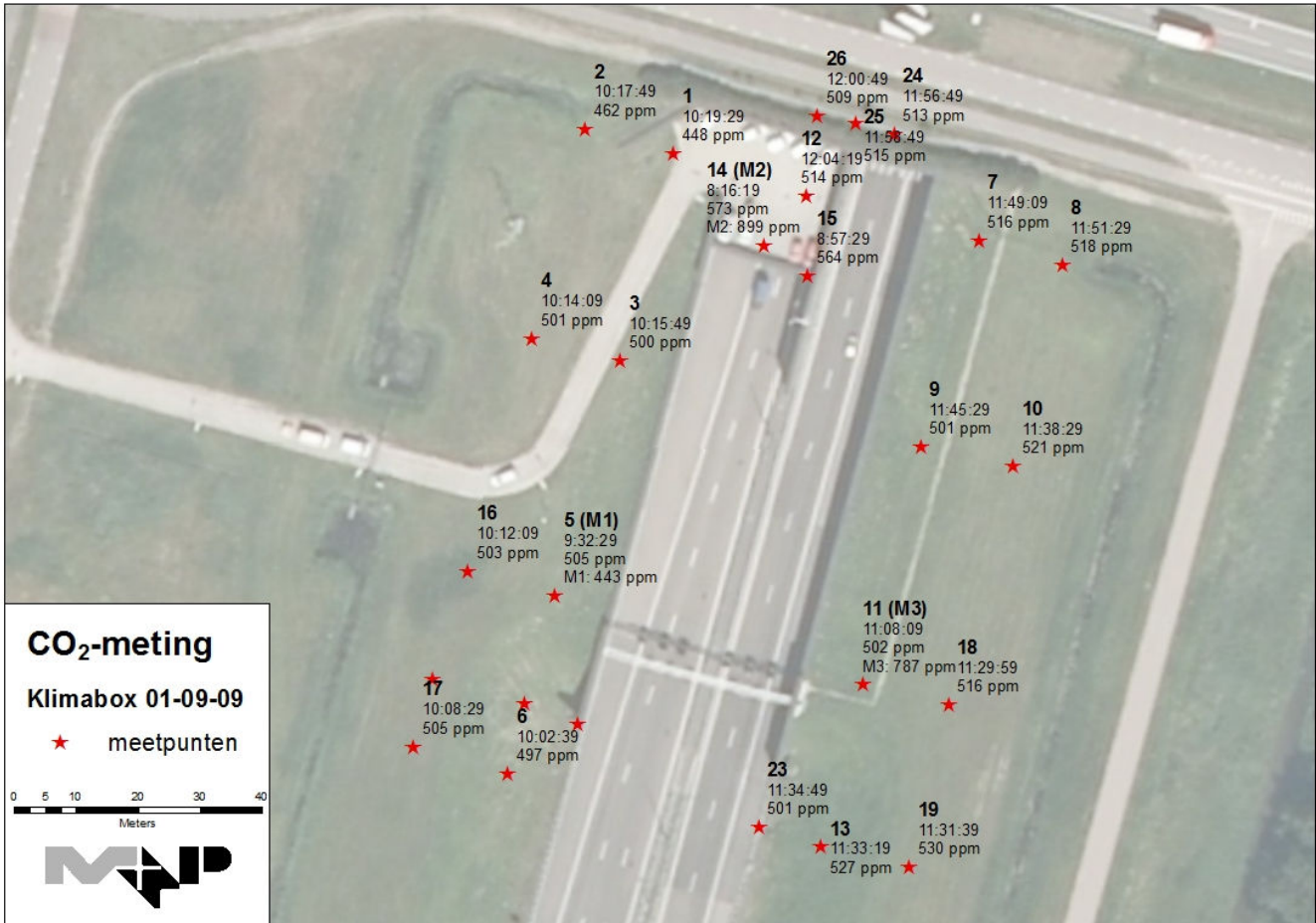
In figuur 21 zijn de met de Klimabox gemeten concentraties op 25 augustus 2009 weergegeven. Er is in de ochtend gemeten van 7:50 tot 11:10 uur, bij overwegend windstil en volledig bewolkt weer. Tijdens de meting hebben zich twee buitjes van 7:50-7:55 en 10:15-10:20 voorgedaan bij een temperatuur van ongeveer 19° à 21 °C. Filevorming doet zich voor tot ongeveer in de tunnelbuis en lost soms op tot 2 portalen verder (300 meter). Vanaf 9:30 is de file opgelost.



figuur 21

CO<sub>2</sub> meetresultaten van 25 augustus 2009

In figuur 22 zijn de met de Klimabox gemeten concentraties op 1 september 2009 weergegeven. De meting heeft plaatsgevonden gedurende de ochtend van 8:14 tot 12:10 uur. De metingen zijn uitgevoerd bij droog weer met een oplopende temperatuur van 15° C bij aanvang tot 21° C, met windkracht 3 tot 4 uit zuidelijke richting en een licht bewolkte hemel (1/8 bewolkt). Tijdens meting staat er een file tot ongeveer in tunnelbuis die langzaam oplost. Vanaf 9:30 is de gehele file opgelost.



figuur 22 CO<sub>2</sub> meetresultaten van 1 september 2009

Uit de bovenstaande figuren is op te maken dat de gemeten concentraties op nagenoeg alle punten per meetronde gelijk zijn, met uitzondering van de locatie vlak bij de opening van de tunnelbuis. Op andere meetdagen is eenzelfde beeld te zien. Verder valt op dat de gemeten CO<sub>2</sub> concentraties relatief laag zijn, namelijk weinig hoger dan het achtergrondniveau.

Uit de continue meetresultaten volgt dat de CO<sub>2</sub> concentraties in de tijd zich op gelijke wijze verhouden tot de NO<sub>x</sub> concentraties. Waarschijnlijk geldt dit dan ook voor de verspreiding van NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub> rond de tunnelmond. In de directe nabijheid van de tunnelmond is zowel de NO<sub>x</sub> concentratie als die van CO<sub>2</sub> sterk verhoogd. Meer in de omgeving van de tunnelmond is bij NO<sub>2</sub> het geval dat de concentraties op de meetlocaties aan de westzijde van Rijksweg A9 lager zijn en op de meetlocaties direct aan de Rijksweg A9 hoger. Eenzelfde beeld blijkt niet direct duidelijk uit de verspreiding van CO<sub>2</sub>, wanneer dit niveau met een prikmethode (enkele minuten meettijd) bepaald wordt. We hebben echter te maken met relatief lage concentraties CO<sub>2</sub> die maar weinig hoger zijn dan het achtergrondniveau. Ondanks het meten van voornamelijk relatief lage concentraties rond deze tunnelmond wordt verwacht dat concentraties NO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> zich op gelijke manier verhouden bij hogere concentraties, zoals volgt uit de continue metingen.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Om meer inzicht te krijgen in de uitbreiding van (hoge) verkeersemissies bij tunnelmonden zijn in de zomer van 2009 metingen uitgevoerd gedurende twee maanden rond de zuidelijke tunnelmond van de Wijkertunnel. Er is gekeken naar zowel NO<sub>2</sub> als PM<sub>10</sub>. Daarnaast zijn CO<sub>2</sub>-metingen uitgevoerd, waarbij onderzocht is of CO<sub>2</sub> als tracer geschikt zou zijn om de verspreiding van de emissie te bekijken. Door de gemeten lage concentraties blijkt dat in deze situatie niet goed mogelijk.

Uit de verschillende meetmethoden, toegepast om inzicht te krijgen in de verspreiding van de verkeersemissies, blijkt dat de absolute concentraties NO<sub>2</sub> direct aan de rand van de tunnelmond (bij de vluchtdeur) hoger zijn dan circa 100 µg/m<sup>3</sup>. De gemeten concentraties op de meetlocaties op grotere afstand (10 tot 100 m) rond de verdiept gelegen rijbanen naar de tunnelmond zijn in absolute zin relatief laag en nemen toe met de afstand. Op circa 90 m van de tunnelmond worden de hoogste concentraties gemeten. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door jetwerking: de emissie verspreid zich pas op grotere afstand van de tunnelmond naar de omgeving. De emissie verspreidt zich in veel mindere mate dwars op de Rijksweg A9, wat wel te verwachten is bij overwegend zuidwestelijke windrichting. Waarschijnlijk draagt de verdiepte ligging hieraan bij en blijft de emissie hangen tussen de tunnelwanden. De bijdrage van de weg (inclusief de emissie uit de tunnel) aan de totale concentratie is voor NO<sub>2</sub> circa 20 µg/m<sup>3</sup> en voor PM<sub>10</sub> circa 5 µg/m<sup>3</sup>.

De meetresultaten geven een relatief gunstig beeld van de verspreiding rond de tunnelmond, maar zijn waarschijnlijk te eenzijdig vanwege de beperkte tijdsduur, periode in het jaar en wellicht ook de invloed van de economische crisis op de samenstelling van het wegverkeer.

Er zijn (nog) geen vergelijkingen gemaakt met resultaten op basis van de wettelijke rekenmethoden, zodat geen uitspraak gedaan kan worden in hoeverre rond deze tunnelmond de wettelijke grenswaarden overschreden (zouden) worden. Aanbevolen wordt om de meetresultaten naast dergelijke rekenresultaten te leggen.

Tot slot, de metingen zijn uitgevoerd bij een specifieke tunnel. De resultaten lijken er op te duiden dat de problematiek rond tunnelmonden niet overschat moet worden. Echter op basis van één specifieke tunnelmond kunnen geen algemene conclusies getrokken worden. Daarvoor zou op zijn minst inzicht moeten worden verkregen in de resultaten van enkele andere tunnelmonden.



## 5 Literatuur

- [1] Huijben, J.W., Luchtkwaliteit in de omgeving van Tunnelportalen. *Inventarisatie binnen- en buitenlandse kennis van modellering van emissieverspreiding bij tunnelportalen*. Kenmerk:1031-09, COB, 15 september 2009;
- [2] Rekenregels voor concentraties bij tunnelmonden, *SenterNovem*, 14 oktober 2008;
- [3] MTR+/Wegwerk (Maandelijks Telpuntrapportage/Wegwerkzaamheden), <http://81.18.1.212/index.html>, RWS Data-ICT-dienst.