

Eindrapport

IPL Pilot Nat Reinigen Energieweg Nijmegen

Een maatregel voor de luchtkwaliteit langs wegen

2 april 2007

RAP-07.0005



Gemeente Nijmegen
Afdeling Milieu
Bureau DO

Ministerie VenW
Rijkswaterstaat
DWW

VRINS luchtonderzoek
Wageningen

Colofon

Rapportnummer:

RAP-07.0005

Datum rapport:

december 2006

Auteurs:

Fons Claessen (gemeente Nijmegen)

Ernest Vrins (Vrins Luchtonderzoek)

Titel en ondertitel:

IPL Pilot Nat Reinigen Energieweg Nijmegen
een maatregel voor de luchtkwaliteit langs wegen

Projectnaam:

Reinigen wegen

Toetsing:

Theo Cornelissen (DWW, IPL)

Riekele de Boer (DWW, IM)

Projectleider gemeente Nijmegen:

Maarten van Ginkel

Projectleider IPL:

Irene Bruines

Referaat

In deze rapportage wordt verslag gedaan van het door het IPL en de gemeente Nijmegen uitgevoerde onderzoek naar de mogelijkheden de luchtkwaliteit in de omgeving te verbeteren door middel van het reinigen van de weg.

Verspreiding:

- Ministerie V en W (ja)
- Derden (ja)

Trefwoorden:

Reinigen weg, luchtkwaliteit, fijn stof

Verkrijgbaar bij:

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

T.a.v. Mw. M.A. Schomaker

Tel.: 015 – 2518 308

Type rapport:

Werkdocument

Aantal blz. 47

Prijs € 0,-

Acceptatie projectleider

I.L.D. Bruines

Acceptatie programmamanager

drs. J.R.P. Nijland

Acceptatie afdelingshoofd

Bijzondere programma's

drs. W. Hoervers

Acceptatie afdelingshoofd

Infrastructuur Milieumaatregelen

dr. E.J.M.M. Arts

Acceptatie directeur infrastructuur

dr. P. Stienstra

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Inhoudsopgave

1.	samenvatting	5
2.	Inleiding	6
2.1	Verantwoording	6
2.2	Doelstelling proef	6
3.	Theoretisch kader	8
3.1	Fijn Stof (PM ₁₀)	8
3.1.1.	Bronnen van fijn stof nader bekeken	9
3.1.2.	Potentieel effect van de maatregel:	10
3.2	Ervaringsgegevens	10
3.2.1.	Neerslag en opwervelend fijn stof	10
3.2.2.	Ervaringen met nat reinigen wegdek in het buitenland	11
4.	De IPL pilot in Nijmegen	14
4.1	Opzet van de pilot	14
4.1.1.	Locatie van de proef	14
4.1.2.	Inrichting van de proef	16
4.1.3.	Meetopzet	18
5.	Resultaten	20
5.1	Analyse gegevens	20
5.1.1.	Verkeerstellingen	20
5.1.2.	Meteodata	21
5.1.3.	Kalibratie meetnet	23
5.1.4.	Bepaling van de stofemissie van de proefvakken	24
5.2	Resultaten proef	24
5.2.1.	Directe meetresultaten	24
5.2.2.	Omrekening meetgegevens naar bronbijdrage per wegvak per periode	27
5.2.3.	Omzetten stofemissiereducties naar imissiereducties	30
6.	Analyse uitvoeringsaspecten en kosten maatregel	34
6.1	Aanleg ZOAB	34
6.2	Sproeien van het wegdek	34
6.3	Nat reinigen van het wegdek met een ZOAB -cleaner	35
6.4	Conclusie effectiviteit maatregelen	35
7.	Conclusie en aanbevelingen	36
7.1	Methodisch:	36
7.2	Inhoudelijke resultaten	36
7.3	Aanbeveling voor verder onderzoek	37
	Gebruikte literatuur / documenten	38
	Bijlage 1: achtergrond bij berekeningen	40

1. Samenvatting

Opzet

In de periode mei 2006 tot en met augustus 2006 heeft de gemeente Nijmegen samen met het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een proef uitgevoerd op de Energieweg te Nijmegen.

De proef heeft plaatsgevonden vanuit het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL). Het IPL werkt in opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM aan innovatieve oplossingen die bijdragen aan verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond snelwegen.

Opzet van de proef in Nijmegen is te achterhalen wat het effect is van nat reinigen van het wegdek om het ontstaan van fijn stof (PM_{10}) tegen te gaan. Hierbij is gebruik gemaakt van verschillende wegdektypen: DAB (Dicht Asfalt Beton) en ZOAB (Zeer Open Asfalt Beton).

Naast het werken met verschillende wegdektypen is ook gewerkt met verschillende reinigingsregimes voor het wegdek. Daarbij zijn twee technieken uitgetoetst, te weten: nat sproeien van het wegdek (met een sproeiwagen) en nat reinigen / schoonzuigen van het wegdek met een ZOAB-cleaner.

Resultaten

Door lokale bronnen in de omgeving van de proef is een deel van de gemeten waarden onbruikbaar. Ondanks deze verstoring zijn met de nodige voorzichtigheid de volgende conclusies te trekken:

- De emissie van fijn stof was bij het traject met (nieuw) ZOAB lager dan bij het traject met (oud) DAB. In de onderzochte situatie kan dit leiden tot een $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lager immissieniveau op 10 m afstand van de weg (berekende waarde uitgaande van een volledig van ZOAB voorziene Energieweg).
- Het reinigen van ZOAB met een ZOAB-cleaner heeft een gunstig effect op de emissie van fijn stof.
- Het sproeien van water over het DAB had een positief effect op de emissie van fijn stof. Indien de gehele Energieweg op deze manier behandeld zou worden, is er een reductie van $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berekend (reductie direct na het sproeien).

Door de aard van de proef zijn geen uitspraken te doen over het effect op het jaargemiddelde of het aantal dagen dat de dagnorm wordt overschreden.

De resultaten moeten worden gezien als sterke indicaties dat er positieve effecten zijn bij het toepassen van ZOAB en het reinigen van het wegdek. Er wordt aanbevolen om verder onderzoek te doen naar het reinigen van wegdekken.

2. Inleiding

2.1 Verantwoording

In de periode mei 2006 tot en met augustus 2006 heeft de gemeente Nijmegen samen met het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een proef uitgevoerd op de Energieweg te Nijmegen.

De proef heeft plaatsgevonden vanuit het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL). Het IPL werkt in opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM aan innovatieve oplossingen die bijdragen aan verbetering van de lokale luchtkwaliteit rond snelwegen.

Met het beschikbare onderzoeksbudget identificeert, selecteert, stimuleert en beproeft het IPL kansrijke ideeën voor oplossingen. Het IPL werkt daarvoor samen met kennis- en onderzoeksinstituten, andere departementen, provincies, gemeenten en marktpartijen.

Opzet van de proef in Nijmegen is te achterhalen wat het effect is van nat reinigen van het wegdek om opwervend fijn stof (PM_{10}) tegen te gaan. Hierbij is gebruik gemaakt van verschillende wegdektypen: DAB (Dicht Asphalt Beton) en ZOAB (Zeer Open Asphalt Beton). Dit laatste is aangebracht om de situatie op een snelweg zoveel mogelijk te simuleren. Het IPL is immers gericht op maatregelen die op snelwegen effectief kunnen zijn. Voor de gemeente Nijmegen was het interessant om te kunnen onderzoeken of het aanleggen van ZOAB in stedelijk gebied kan bijdragen aan de verlaging van de concentraties fijn stof langs stedelijke wegen.

Naast het werken met verschillende wegdektypen is ook gewerkt met verschillende reinigingsregimes voor het wegdek. Daarbij zijn twee technieken uitgetoetst, te weten: nat sproeien van het wegdek (met een sproeiwagen) en nat reinigen / stofzuigen van het wegdek (met een ZOAB cleaner).

Gedurende de proef zijn drie proefvakken ingericht op de Energieweg, waarbij langs alle proefvakken fijn stof monitoren van het type Osiris zijn geplaatst. De metingen gedurende de proefperiode zijn uitgevoerd door Bureau VRINS Luchtonderzoek uit Wageningen in samenwerking met Bureau Primair Consultancy uit Nijmegen. Bureau M+P uit Vught heeft volgens de Europese referentiemethode (Derenda monitor) metingen uitgevoerd gedurende dezelfde periode.

De uitvoeringsaspecten van deze metingen en resultaten van de proef zijn onderwerp van deze rapportage.

2.2 Doelstelling proef

Deze paragraaf schetst kort de doelstelling van de pilot. Op welke vragen moet deze een antwoord geven?

<p>Doelstelling van de proef is te achterhalen of het (periodiek) nat reinigen van wegen van DAB of ZOAB een effectieve maatregel is om PM_{10} concentraties langs wegen te verlagen.</p>
--

Deze vraag is in het onderzoek opgesplitst in de volgende deelvragen:

1. Is er een significant effect van het gebruik van ZOAB in plaats van DAB?
2. Is er een significant effect van het toepassen van reinigingstechnieken voor het wegdek (nat sproeien en/of nat reinigen)?
3. Hoe effectief is de maatregel? Hoe groot is de reductie van PM10 concentraties langs de weg bij de verschillende te beproeven technieken ten opzichte van de referentiesituatie.
4. Hoe groot is de kosteneffectiviteit van de maatregel in relatie tot andere mogelijke maatregelen?
5. Wat is de praktische uitvoerbaarheid van de maatregel (zowel in stedelijke situaties als op een snelweg)?

3. Theoretisch kader

Dit hoofdstuk gaat in op het theoretisch kader omtrent fijn stof in relatie tot nat reinigen van wegen. Hierbij wordt ook ingegaan op ervaringen in het buitenland aan bod.

3.1 Fijn Stof (PM₁₀)

Fijn stof (PM₁₀) is een verzamelnaam voor allerlei kleine stofdeeltjes in de lucht. Deze deeltjes kunnen bestaan uit bijvoorbeeld zeer fijn zand, klei, bouwstof, roetdeeltjes, afgesleten stukjes autoband, wegdekstrijpsel, remvoeringstof, enz. Een deel van het fijn stof in Nederland is van natuurlijke oorsprong, waarschijnlijk ongeveer een derde. Het gaat daarbij om bijvoorbeeld zeezout en bodemstof. Het andere deel wordt veroorzaakt door menselijke activiteiten ("antropogene bijdrage"), waaronder de bijdragen van verkeer, industrie en landbouw.

In de wetgeving is een norm opgenomen voor fijn stof. Deze normen is gesteld aan de totale massa van deeltjes kleiner dan 10 µm (PM₁₀). Vanaf 2005 gelden grenswaarden, die echter op veel locaties in Nederland overschreden worden. Er zijn zowel een grenswaarden voor de jaargemiddelde concentratie (40 µg/m³), als voor het aantal dagen waarop de daggemiddelde concentratie overschreden wordt (35 dagen > 50 µg/m³).

Op tientallen plaatsen in Nederland wordt de dagnorm overschreden. De jaargemiddelde norm voor fijn stof wordt slechts op een aantal plaatsen in Nederland overschreden. De gemiddelde concentratie fijn stof in Nederland is hoger in het zuiden, in de buurt van grote steden en bij grote industriegebieden. Omdat in grote delen van Nederland deze norm sinds 2005 wordt overschreden, dient Nederland alle mogelijke inspanningen te verrichten om op zo kort mogelijke termijn overal aan de PM₁₀ normen te voldoen.

Hoe kleiner deeltjes zijn, des te langzamer is hun neerwaartse snelheid door de zwaartekracht (vergelijk dit met grote regendruppels, motregen en nevel). In onderstaande tabel zijn de berekende resultaten gegeven van het vallen van deeltjes (bron: Camfil Farr).

Tabel 1: Sedimentatiesnelheid van deeltjes

Doorsnede deeltje	Tijd om 2,5 m te vallen
150 µm	5,4 sec
20	3,5 min
5	55 min
0,5	3 dagen
0,1	34 dagen

Luchtkwaliteitsproblemen die samenhangen met verkeer zijn alleen te verwachten op drukke wegen. Op dit soort wegen is dermate veel turbulentie dat mag worden aangenomen dat PM₁₀ nauwelijks de gelegenheid krijgt neer te vallen. Het fijn stof dat van de weg komt, wordt hoofdzakelijk ter plaatse geproduceerd. Dit kan zijn door slijtage van de banden en het wegdek en door het kapot rijden van daar aanwezig grover materiaal (bijvoorbeeld klei die op de weg ligt).

3.1.1. Bronnen van fijn stof nader bekeken

De samenstelling van fijn stof is karakteristiek voor de herkomst. Hierdoor is met de juiste onderzoeksmethoden tot op zekere hoogte te achterhalen wat de oorsprong is van onderdelen van de totale PM_{10} fractie.

Fijn stof (PM_{10}) kan opgedeeld worden in 4 typen van herkomst:

1. Fijn stof van natuurlijke oorsprong

Fijn stof van natuurlijke oorsprong kan heel divers zijn. Het gaat hierbij voornamelijk om klei en zeezout. Incidenteel kunnen ook pollen deel uitmaken van de fractie PM_{10} . Sinds 2005 wordt in Nederland zeezout niet meer meegerekend in fijn stof. De EU werkt aan een nieuwe richtlijn waarin alle natuurlijke bronnen niet meer behoeven te worden meegerekend.

2. Secundaire aerosolen

Een tweede bron van fijn stof zijn gasvormige stoffen in de lucht zoals ammoniak of zwaveldioxide afkomstig van landbouw of industrie. Deze deeltjes kunnen in de lucht chemische verbindingen aangaan en zo fijn stof vormen. Dit zijn ook zeer kleine deeltjes ($<2,5 \mu m$). Deze verspreiden zich makkelijker over zeer grote afstanden en zijn daardoor van invloed op de grensoverschrijdende en landelijke achtergrondconcentratie.

3. Fijn stof afkomstig van verbrandingsprocessen (verkeer + industrie)

Deeltjes afkomstig van verbrandingsprocessen (uitlaat) zijn veelal kleiner dan $2,5 \mu m$. Hierbij gaat het om roetdeeltjes. Deze zogenaamde $PM_{2,5}$ fractie kan (voor zover afkomstig van verkeer) worden aangepakt door bijvoorbeeld de invoering van schonere motoren. De $PM_{2,5}$ fractie (kleinste deeltjes) leidt ook tot de grootste gezondheidsschade bij mensen omdat deze het diepst in de longen kunnen doordringen.

4. Opwervelend fijn stof

Nast roetdeeltjes kan verkeer ook zorgen voor een ander soort fijn stof, namelijk deeltjes die t.g.v. verkeersbewegingen op een weg opwervelen. Dit zijn veelal de grovere deeltjes binnen de PM_{10} fractie (dus PM_{10} min $PM_{2,5}$). Deze zijn afkomstig van slijtage van banden, asfalt en remvoeringen door wrijving, bodemstof en deeltjes van activiteiten elders die op de weg neergeslagen zijn. Zo kan bijvoorbeeld nabijgelegen industrie of bouwactiviteiten een bron zijn van verwaaiend stof. Dit kan neerslaan op het wegdek. Door verkeersbewegingen dwarrelt het stof steeds opnieuw op en leidt zo tot een permanent verhoogde concentratie aan PM_{10} in droge perioden. Dit fijn stof is hoofdzakelijk herkenbaar aan een deeltjesgrootte tussen $2,5$ en $10 \mu m$.

De mate van opwerveling wordt in theorie bepaald door:

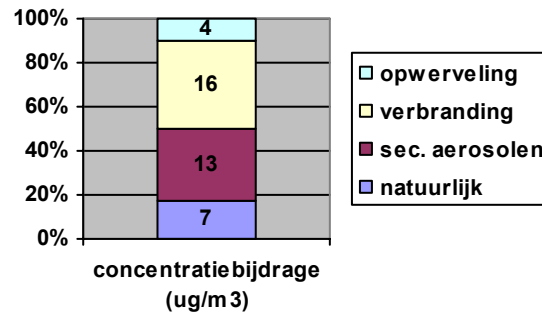
- het wegdektype: hoe poreuzer, hoe meer stof wordt vastgehouden
- de mate van reiniging van het wegdek
- de intensiteit en snelheid van het verkeer: hoe meer (snel) verkeer, hoe meer opwerveling
- onderhoudstoestand van de weg: hoe slechter het wegdek: hoe meer opwerveling
- stofproductie in de omgeving van de weg

3.1.2. Potentieel effect van de maatregel:

Onderstaand diagram geeft (bij benadering) de bijdrage per brontype aan de PM₁₀ concentratie langs een stedelijke weg zoals de Energieweg weer.

Figuur 1: herkomst concentratie PM₁₀ per bron langs stedelijke weg in Nijmegen

(bron: Visser H., Buringh E., Breughel P.B. van (2001). Composition and Origin of Airborne Particulate Matter in the Netherlands. RIVM report 650010 029. Gemeente Nijmegen (2005). Voorontwerp Uitvoeringsprogramma Verbetering Luchtkwaliteit Nijmegen 2005-2010.)



Uit figuur 1 blijkt dat de bijdrage van opwerveling door verkeer aan de PM₁₀ - concentratie dicht langs een weg (5-15 meter) ongeveer 4µg/m³ als jaargemiddelde bedraagt. Dat is ongeveer 10% van de totale concentratie. Dit is tevens de maximale reductie die met de maatregel in theorie zou kunnen worden bereikt.

3.2 Ervaringsgegevens

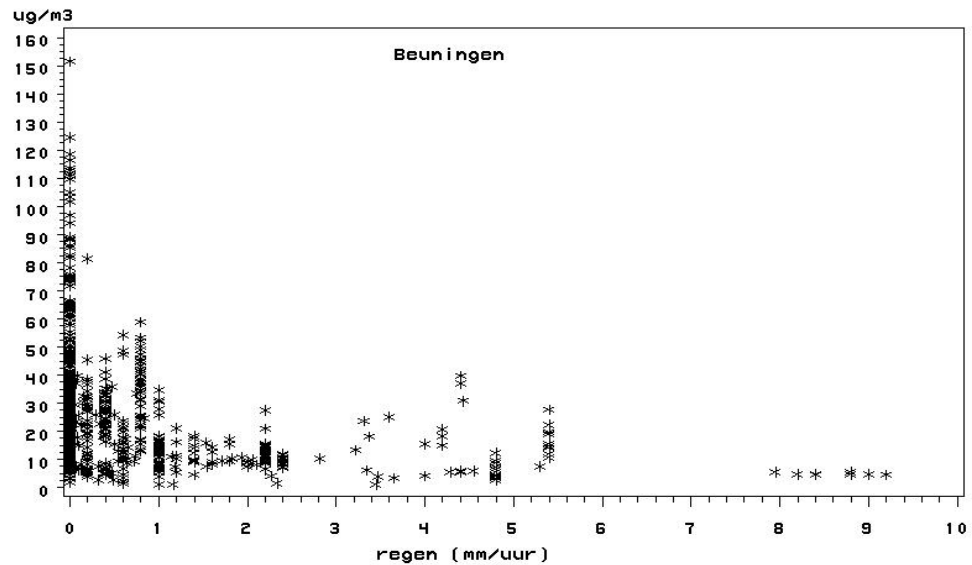
Hierbij een kort overzicht met ervaringen uit de praktijk in binnen- en buitenland.

3.2.1. Neerslag en opgewelend fijn stof

Uit eigen metingen in Nijmegen-West en Beuningen blijkt een relatie tussen de concentratie fijn stof en de hoeveelheid neerslag. In figuur 2 is het verband getoond tussen de hoeveelheid neerslag en de concentratie PM₁₀ voor de meetlocatie Nijmegen-West Weurt. In deze situatie blijkt dat de concentraties bij neerslag met ongeveer 50% dalen.

Verschil tussen neerslag en nat reinigen van het wegdek is, dat neerslag ook een invloed heeft op de achtergrondconcentratie. Het effect van neerslag is naar verwachting dan ook groter dan op grond van alleen reinigen van het wegdek.

Figuur 2: verband tussen neerslag en concentratie PM₁₀ (bron: rapportage fijn stof meetnet Nijmegen-West Weurt 2005)



3.2.2. Ervaringen met nat reinigen wegdek in het buitenland

Op verschillende plaatsen in het buitenland wordt nat reinigen van het wegdek om fijn stof te bestrijden, met wisselende resultaten, toegepast.

Duitsland

In Duitsland zijn in verschillende plaatsen proeven uitgevoerd met het nat reinigen van het wegdek. De situatie in Duitsland is daarbij vrij vergelijkbaar met die in Nederlandse steden.

- Uit onderzoek in Berlijn is gebleken dat de variatie door het sproeien, qua gemeten immissies vergelijkbaar was met de natuurlijke variatie. Wel zag men effecten ten gevolge van neerslag en kon men door uit de meetwaarden emissies af te leiden een effect van maximaal 7% reductie op de totale PM₁₀ immissie naast de weg vaststellen ten gevolge van sproeien. Dit cijfer kent echter een grote onzekerheid.
- Uit onderzoek in Hannover is gebleken dat een poreus wegdek in combinatie met reinigen hiervan opwerveling reduceert.
- In Düsseldorf heeft men positieve effecten waargenomen van het reinigen van de Corneliusstrasse op werkdagen voor de ochtendspits.

(voor meer resultaten uit Duitsland zie ook rapport M+P, 2005)

Zweden (Trondheim)

Uit onderzoek in Zweden is gebleken dat een reductie van 10-20% haalbaar is met nat reinigen. Echter de situatie is niet volledig vergelijkbaar met die in Nederland omdat in Zweden gedurende de winter met winterbanden gereden wordt, die meer slijtage veroorzaken.

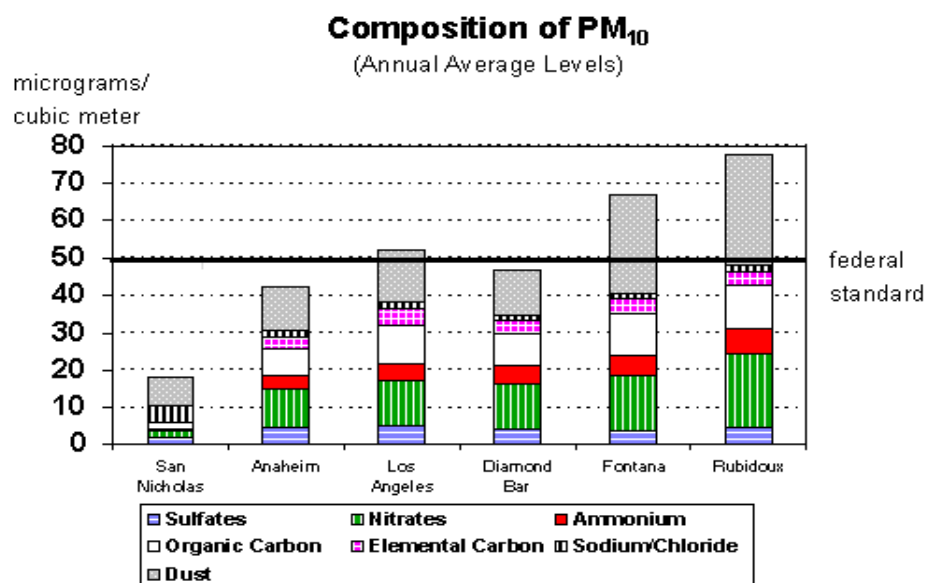
Californië (VS)

De staat Californië heeft een heel pakket van maatregelen afgekondigd om opwerveling van fijn stof van onverharde en verharde wegen tegen te gaan. Eén van de meest opmerkelijk is de inzet van gepatenteerde PM₁₀ "dust-cleaners" (zie figuur 3). Dit zijn veegwagens uitgerust met speciale stoffilters en een gesloten systeem. Hierdoor wordt het fijne stof (PM₁₀) daadwerkelijk opgezogen en niet opnieuw verspreid, zoals bij "gewone" veegwagens het geval is. Gewone veegwagens dragen namelijk zelf bij aan het opwerpen van fijn stof. Resultaten in Californië zijn uitgedrukt in emissiereductie. Met deze maatregel verwacht men per dag ongeveer 86 ton fijn stof te kunnen opruimen op een totale emissie van 340 ton. Dat is ongeveer 25% reductie van de bijdrage van de combinatie auto en weg. Uiteraard is de situatie in Californië (woestijn) niet vergelijkbaar met die in Nederland, omdat het aandeel opwervelbaar stof er groter is, plaatselijk variërend van 8 tot zelfs 28 ug/m³! (zie ook figuur 4). Uit een artikel uit het Amerikaanse "Better Roads Magazine" blijkt uit ervaringsresultaten van verschillende Amerikaanse steden, dat 3x per week nat reinigen het beste resultaat oplevert.

Figuur 3: Dust cleaner in Californië. Deze moeten in staat zijn om 80% van het opgezogen fijn stof "vast te houden".



Figuur 4: samenstelling van fijn stof in Californië (VS)



Sulfates and nitrates	bijproducten van verbrandingsprocessen
Ammonium	(bijproduct van ammonia) veeteelt, composteerbedrijven en waterzuiveringsinstallaties
Organic Carbon	barbecuen, uitlaatgassen en bijproducten van verf, oplosmiddelen en verbrandingsprocessen.
Sodium and chloride	zeezout
Elemental Carbon	roet uit dieseluitlaten en rook van vuren
Dust	opwervend fijn stof

Canada (Hamilton-Wentworth)

De regio Hamilton-Wentworth in Canada heeft een proef gedaan met nat reinigen van wegdekken en daarbij metingen uitgevoerd. Conclusies zijn:

- direct langs de weg is een reductie van PM10 concentraties van 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ meetbaar;
- er is geen effect meetbaar op de achtergrondconcentratie in een groter gebied;
- de achtergrondconcentratie wordt ook door veel andere bronnen bepaald

Thailand (Bangkok)

Uit een studie in Bangkok blijkt dat straatvegen en sproeien een van meest kosteneffectieve maatregelen is om "road dust" tegen te gaan. Uit de studie blijkt echter niet het verschil tussen de totale concentratie stof en de fractie PM₁₀ hierbinnen.

Conclusie ervaringen elders:

- **De mate waarin nat reinigen effect heeft op het tegengaan van PM10 is sterk afhankelijk van de gebruikte techniek en omgevingsfactoren die de verspreiding van opwervend fijn stof bepalen.**
- **Als er een effect optreedt, is dit zeer lokaal. De maatregel heeft geen invloed op de (achtergrond) concentraties in een groter gebied.**

4. De IPL pilot in Nijmegen

4.1 Opzet van de pilot

4.1.1. Locatie van de proef

Energieweg

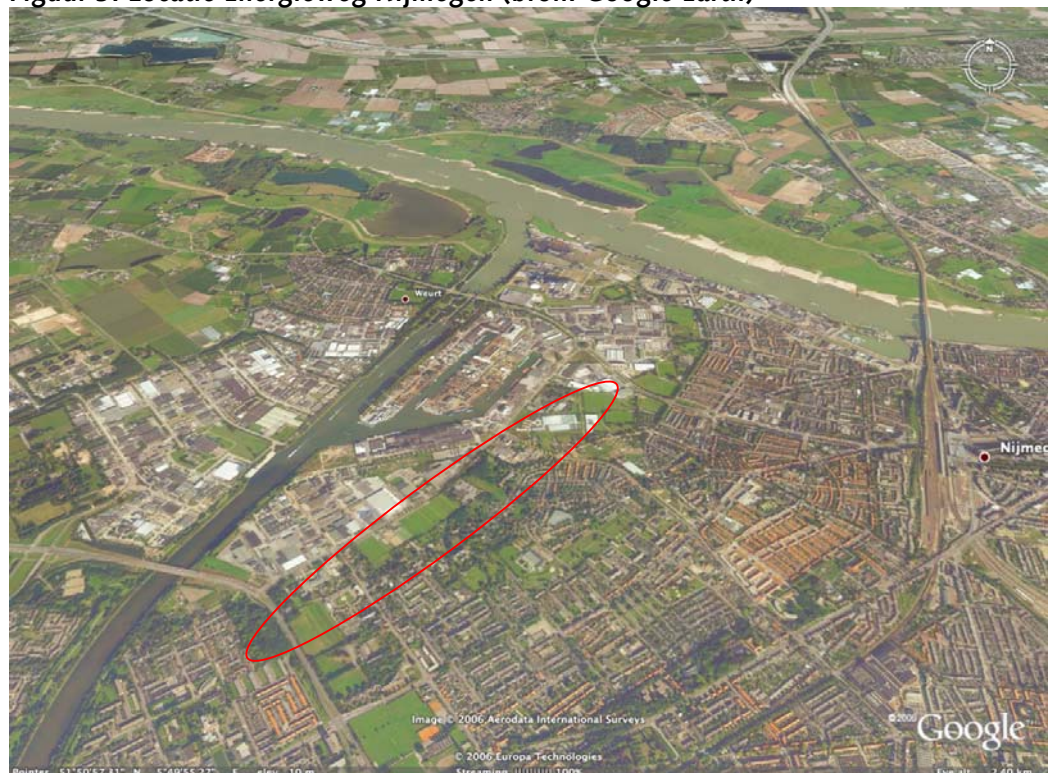
Als uitvoeringslocatie van de pilot in Nijmegen is gekozen voor de Energieweg. De weg is de toegangsweg tot het industrieterrein Nijmegen-West Weurt en is gelegen tussen het industrieterrein en de woonwijk Nijmegen-West.

De Energieweg is een vierbaans stadsweg (2x2), gescheiden door een middenberm, met een verkeersintensiteit van ongeveer 25.000 mvt/etmaal en een relatief groot aandeel vrachtverkeer (circa 10%).

Uit metingen (van vóór de proefperiode) blijkt dat zowel het verkeer als industriële activiteiten in het gebied bijdragen aan de fijn stof concentratie. Opwerveling leidt in het gebied tot een verhoging van de achtergrondconcentratie met ongeveer $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Bij diverse bedrijven in het gebied wordt nat sproeien overigens al gebruikt als maatregel om verwaaiing van opgeslagen grondstoffen tegen te gaan. Het nat sproeien van de kolenbergen bij de Electrabel Centrale is daar een voorbeeld van. Hiermee wordt op jaarbasis de verwaaiing van 6 ton kolenstof voorkomen.

Figuur 5: Locatie Energieweg Nijmegen (bron: Google Earth)



Kenmerken onderzoeksgebied Nijmegen-West

Sinds medio jaren negentig is luchtkwaliteit onderwerp van discussie in Nijmegen-West vanwege de ligging van bedrijventerrein dichtbij woonwijken.

Sindsdien is veel onderzoek verricht naar de luchtkwaliteit in dit gebied. De gemeente Nijmegen heeft toen, samen met de Provincie Gelderland, de Gemeente Beuningen, bedrijven, bewoners en de milieubeweging maatregelen genomen om de situatie in beeld te brengen en de situatie in het gebied te verbeteren.

Fijn stof meetnet Nijmegen-West Weurt

In Nijmegen-West is sinds 2005 een permanent meetnet voor fijn stof operationeel, bestaande uit 5 monitoren van het merk Osiris. Deze monitoren kunnen onderscheid maken tussen de fracties $PM_{2,5}$ en PM_{10} . Hierdoor is het mogelijk onderscheid te maken tussen fijn stof uit verbrandingsprocessen (de kleinere fractie; kleiner dan $2,5 \mu m$) en fijn stof dat ontstaat door opwerveling (de grovere fractie; van $2,5$ tot $10 \mu m$). Het permanente meetnet wordt gekalibreerd op basis van het RIVM meetpunt in Nijmegen (1 op kaart van figuur 6).

Er is gebruik gemaakt van de data van een lokaal meteostation in Beuningen (M op kaart) om de meetgegevens te kunnen relateren aan lokale weersomstandigheden. Twee van de meetpunten uit het vaste meetnet bevinden zich langs de Energieweg. Meetpunt no. 6 staat op 6 meter van de Energieweg (benedenwinds) en meetpunt no. 7 bevindt zich op 100 meter van de weg. Door de aanwezigheid van deze punten is er een beeld van de fijn stof samenstelling direct in de omgeving van de weg beschikbaar over een langere periode dan de proef.

Figuur 6: meetnet voor fijn stof Nijmegen-West Weurt



4.1.2. Inrichting van de proef

Om de proef mogelijk te maken, zijn op de Energieweg tussen de kruising met de Neerbosscheweg en de kruising met de Wolfskuilseweg drie proefvakken met een lengte van 100 meter ingericht.

Keuze wegdektype

Basis van de proef was het effect van nat vegen (met een ZOAB cleaner) en nat sproeien op zowel DAB als ZOAB te bepalen.

Het wegdektype van de Energieweg bestaat uit Dicht Asfalt Beton (DAB). Om ook een referentiesituatie voor een snelweg te creëren is één van de proefvakken voor aanvang van de proef voorzien van een laag Zeer Open Asfalt Beton (ZOAB). Omdat de proef over de gehele breedte van de weg is uitgevoerd (om maximaal effect te verkrijgen) is ook het ZOAB op alle 4 de rijbanen aangebracht. Daarbij is aan de westzijde van de weg ook het bestaande fietspad opgebroken en voorzien van ZOAB. Hierdoor is een situatie gemaakt die vergelijkbaar is met die van een vluchtstrook langs een snelweg.

ZOAB is gekozen omdat het een open structuur heeft, waardoor het regenwater en afvalstoffen via kanaaltjes/poriën door het wegdek afstromen naar de vluchtstrook. Langs de snelweg wordt de vluchtstrook 1 à 2 maal per jaar gereinigd door een ZOAB cleaner. Deze mag om verkeerstechnische redenen niet op de rijbaan zelf komen. Om deze situatie te simuleren is deze extra strook aangelegd.

Inrichting proefvakken

Om een zinvolle proef mogelijk te maken zijn op de Energieweg drie proefvakken van elk 100 meter ingericht, waarbij tussen de vakken een minimale afstand van 200 meter is aangehouden om onderling beïnvloeding te voorkomen. Het ZOAB proefvak heeft bovendien een aanloopstrook van 50 meter in beide richtingen. Die afstand is nodig om een ZOAB cleaner goed te laten functioneren.

De proefvakken hebben de volgende kenmerken:

Proefvak 0: referentievak: aan dit vak is gedurende de proef gemeten zonder dat een behandeling van de weg plaatsvond. Wel is in dit vak een lus aangebracht om het aantal voertuigen te kunnen tellen. Hierdoor kon een relatie worden gelegd tussen verkeersintensiteiten en concentraties fijn stof in de lucht.

Proefvak 1 : ZOAB: dit vak is gedurende de eerste periode niet gereinigd, om zo het effect van ZOAB te kunnen onderscheiden ten opzichte van DAB. Daarna zijn verschillende reinigingstechnieken toegepast, waarvan de effecten zijn gemeten.

Proefvak 2: DAB: dit vak is gedurende de eerste periode niet behandeld, i.v.m. de nulmeting. Daarna hebben verschillende behandelingen plaatsgevonden waarvan de effecten gemeten zijn.

Behandelmethoden

Binnen de proefperiode zijn verschillende technieken en behandelfrequenties toegepast om mogelijke uitspraken te doen over techniek en optimale behandelfrequentie. In het begin van de pilot heeft geen behandeling plaatsgevonden om te achterhalen of er verschil is tussen DAB en ZOAB in relatie tot stofemissie van het wegdek. Vanaf 12 juni is gestart met de behandelingen. Hierbij is begonnen met het viermaal daags sproeien van het wegdek met een waterton achter een trekker (zie figuur 7). Dit is 2 weken toegepast op werkdagen. In de daaropvolgende periode is het regime aangepast naar tweemaal daags sproeien.

Van 3 tot 14 juli is in plaats van sproeien de ZOAB-cleaner ingezet. Deze wervelt de verontreiniging op met hogedruksproeiers en zuigt deze vervolgens op. Bij het ZOAB proefvak is ervoor gekozen de ZOAB-cleaner maar op twee dagen in te zetten. Dit vanwege de eigenschap van ZOAB om het vuil in de poriën van het wegdek vast te houden. De eerste dag is alleen de vluchtstrook gereinigd, conform het reinigingsregime op ZOAB snelwegen. Een week later is het hele wegdek gereinigd.

Het DAB proefvak is gedurende deze periode regelmatig gereinigd met de ZOAB-cleaner (zie tabel 1).

figuur 7: besproeien van de Energieweg met een waterton



Proefperiode en behandelingsschema

De proef heeft plaatsgevonden tussen 31 mei 2006 en 31 juli 2006. In tabel 1 is de wijze van behandeling gedurende de proefperiode weergegeven.

Alle behandelingen zijn conform het schema in tabel 1 uitgevoerd. Ook tijdens regen zijn de behandelingen uitgevoerd.

Tabel 1: Behandelingsschema Energieweg pilot nat reinigen:

Periode	Duur	Vak 0 (ref.)	Vak 1 (ZOAB)	Vak 2 (DAB)
1	31 mei - 5 juni	geen behandeling	geen behandeling	geen behandeling
2	6 juni - 11 juni	geen behandeling	<i>aanleg</i> ZOAB geen behandeling	geen behandeling
3	12 juni - 25 juni	geen behandeling	per dag 4 x sproeien*	per dag 4x sproeien*
4	26 juni - 2 juli	geen behandeling	per dag 2 x sproeien*	per dag 2 x sproeien*
5	3 juli - 14 juli	geen behandeling	ZOAB -cleaner*	ZOAB -cleaner*
6	15 juli – 1 aug	geen behandeling	geen behandeling	geen behandeling

*) Toelichting behandelingen van 1 en van 2:

Datum	tijdstip behandeling	VAK 1 ZOAB	VAK 2 DAB
periode 3: 12/6 - 25/6 (op werkdagen)	6:30	sproeien 4 rijbanen	sproeien 4 rijbanen
	11:00	"	"
	14:00	"	"
	19:00	"	"
periode 4: 26/6 - 2/7 (op werkdagen)	11:00	sproeien 4 rijbanen	sproeien 4 rijbanen
	14:00	"	"
periode 5: 3/7 5/7 en 7/7 10/7 11/7 - 14/7	7:30	ZOAB cleaner vluchtstrook	ZOAB cleaner 4 rijbanen
	7:30	(geen behandeling)	"
	7:30	ZOAB cleaner 4 rijbanen+v.s.	"
	7:30	(geen behandeling)	"

4.1.3. Meetopzet

Meetnet Nijmegen-West

Op 6 m en op 100 m ten oosten van wegvak 1 (benedenwinds) staan 2 Osiris monitoren die deel uitmaken van het fijn stof meetnet Nijmegen-West/Weurt (NWW) van de gemeente Nijmegen. Het meetnet NWW bestaat uit 7 Osiris

monitoren. Tijdens deze meetperiode zijn deze monitoren op dezelfde wijze behandeld als de extra monitoren.

Inrichting extra meetpunten langs Energieweg

Langs de proefvakken 0, 1, en 2 zijn voor de duur van de proef 6 extra Osiris monitoren geplaatst. Per proefvak zijn twee monitoren geplaatst: één benedenwinds en één bovenwinds. De locatie van de meetpunten is daarbij zo gekozen dat het mogelijk is om bronnen uit de directe omgeving van de weg te kunnen onderscheiden van de uitstoot door de weg zelf. Alle betrokken monitoren zijn onderling gekalibreerd door ze gedurende een dag direct naast elkaar te laten meten. Voor de duur van de proef is bij één van de monitoren (bij proefvak 2) door bureau M+P een Europees referentieapparaat geplaatst van het type Derenda.

De reden hiervoor is een extra controle te hebben op de meetresultaten van de Osiris monitoren en ter kalibratie.

In totaal zijn er voor de duur van de proef dus 7 meetpunten langs de Energieweg geplaatst.

Tabel 2: Meetlocaties Osiris Monitoren

proefvak	Locatie	zijde	Hoogte meetpunt (m)	Afstand tot bron (m)
0	Quickservice	west	3	25
0	Dominicus college	oost	2	15
1	Klamer	west	6	39,5
1	Tachys tennis	oost	3	19
1	Vv Krayenhof (meetnet NWW)	zuid	3	7,5
2	Thieme media service	west	3+1	41
2	ROC	oost	3+2	12

Osiris monitor voor fijn stof

De Osiris monitor voor fijn stof heeft een zeer hoge tijdsresolutie waardoor lokale incidenten beter herkend kunnen worden. Het meet tegelijkertijd meerdere deeltjesgroottefracties (zowel de fractie $PM_{2,5}$ als de fractie PM_{10}). Hierdoor wordt meer inzicht verkregen in de aard van de stofbronnen (opwerveling, uitstoot). Dat is essentieel voor het maken van onderscheid tussen fijn stof veroorzaakt door opwerveling en fijn stof "uit de uitlaat".

Kalibratie van de meetpunten heeft plaatsgevonden voorafgaand aan de proef en na afloop van de proef. Daarbij is ook gebruik gemaakt van Europese referentiemeetapparatuur van M+P.

De middelingstijd van de monitoren is op 1 minuut afgesteld. Bij deze hoge tijdsresolutie kunnen snelle variaties waargenomen worden. Door middel van een dataviewer zijn de deelnemende partijen in staat geweest de meetresultaten online te volgen via hun PC.

5. Resultaten

5.1 Analyse gegevens

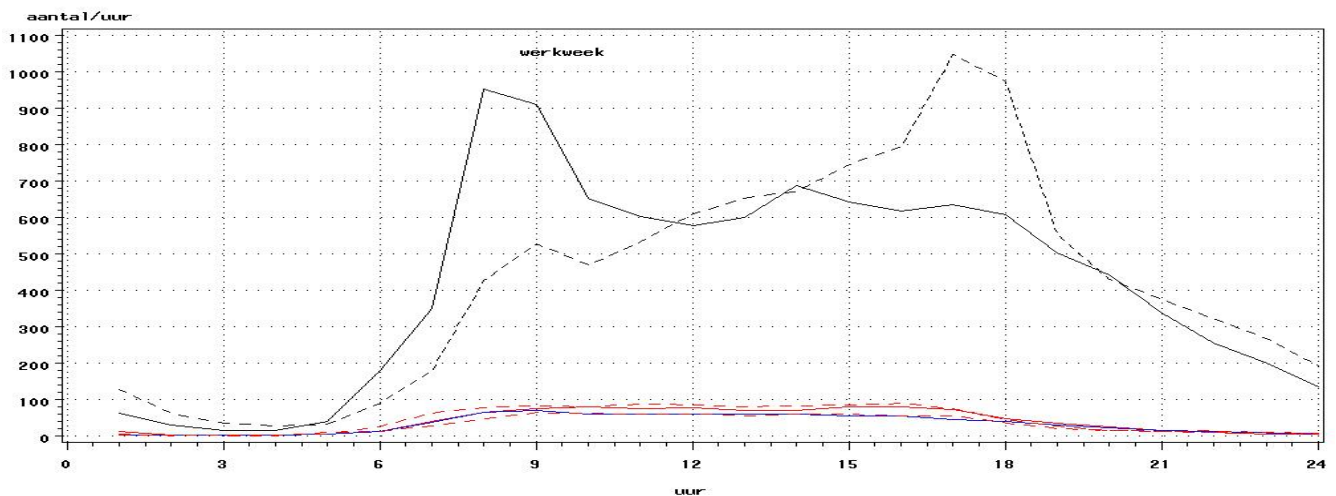
Op basis van gemeten concentraties van de meetstations langs de proefvakken, meteodata, de verkeerstellingen in proefvak 0 en het gebruik van een stofverspreidingsmodel is het mogelijk uitspraken te doen over het effect van de gebruikte wegdektypen en reinigingsmethoden.

Op basis van het waterverbruik, technische uitvoeringsaspecten en kosten van de gebruikte technieken is het mogelijk uitspraken te doen over kosteneffectiviteit van de maatregel.

5.1.1. Verkeerstellingen

In proefvak 0 zijn gedurende hele periode verkeerstellingen verricht. In figuur 8 is het gemiddelde verkeersbeeld per dag aangegeven gedurende de pilot. Onderscheid is gemaakt tussen werkdagen en het weekend. .

Figuur 8: gemiddelde verkeersintensiteiten/uur op een werkdag, per wegheft, per voertuigtype in proefvak 0



Legenda

— = licht verkeer richting Noord

— = middelzwaar verkeer richting Noord

— = zwaar verkeer richting Noord

----- = licht verkeer richting Zuid

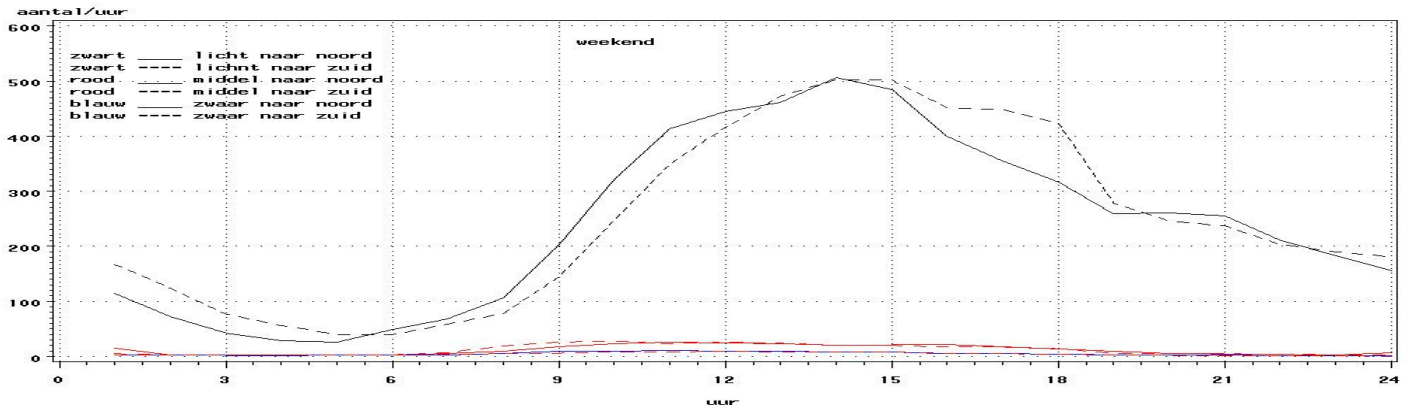
----- = middelzwaar verkeer richting Zuid

----- = zwaar verkeer richting Zuid

Figuur 8 laat het verloop van de verkeersintensiteit op de Energieweg op een werkdag zien. Wat hierbij duidelijk te zien is, zijn de pieken van het woon-werkverkeer richting Noord in de ochtend (stadinwaarts) en richting Zuid

(staduitwaarts) in de avond. Het vrachtverkeer laat een toename van intensiteiten zien in de hele periode tussen 8 en 17 uur. Dit duidt op een constante stroom vrachtverkeer, veroorzaakt door de bedrijvigheid in het gebied.

Figuur 9: gemiddelde verkeersintensiteiten/uur in het weekend, per weghelft, per voertuigtype in proefvak 0



Figuur 9 laat een egaler verloop zien op dagen in het weekend. Het aandeel personenverkeer is overdag op beide weghelften vrijwel gelijk en neemt gedurende de dag toe. De spitsen zoals op een doordeweekse dag wel aanwezig, zijn hier niet te zien. Het aandeel vrachtverkeer op de weg is in het weekend beduidend lager, omdat veel bedrijven op het aangrenzende bedrijventerrein Nijmegen-West/Weurt dan gesloten zijn.

De tijdens de proefperiode getelde intensiteit van verkeer op de Energieweg is in het weekend gemiddeld 12.500 motorvoertuigen per etmaal, waarvan 7% vrachtverkeer. Op werkdagen is de intensiteit gemiddeld 23.500 motorvoertuigen per etmaal, waarvan 14 % vrachtverkeer.

5.1.2. Meteodata

Meteodata zijn verkregen vanaf een lokaal meteostation in Weurt. Bij analyse van de gegevens bleek een aantal van de geleverde gegevens m.b.t. de windrichting niet correct te zijn. Deze zijn achteraf vervangen door gegevens van een weerstation in Volkel (NB).

In tabel 3 zijn de tijdens de proefperiode gemeten windrichtingen vergeleken met de langjarige verdeling. De gemeten windrichtingsfrequentie komt hiermee aardig overeen.

Tabel 3: windrichting gedurende proefperiode vs. langjarig gemiddelde Eindhoven.

Windrichting	Meetcampagne 2006	Langjarig gem. Eindhoven
	[%]	[%]
Noord	6	9
Noordoost	10	9
Oost	11	11
Zuidoost	6	8
Zuid	6	15
Zuidwest	19	21
West	17	19
Noordwest	11	8

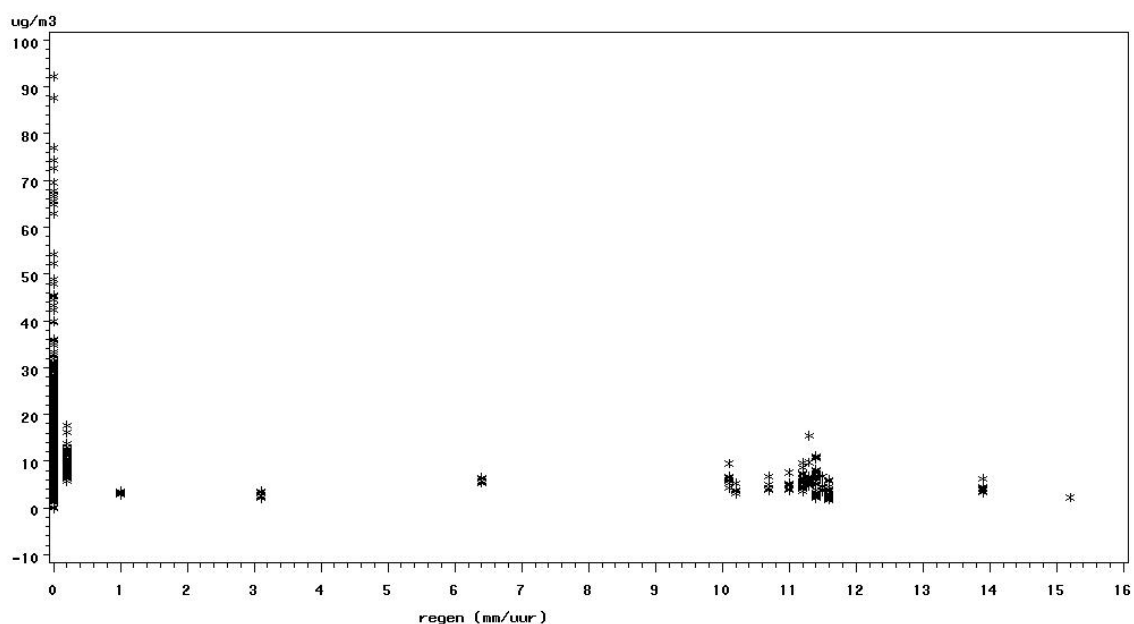
Algemeen weerbeeld

Gedurende de meetperiode heeft het vrijwel niet geregend. Over het algemeen was het zonnig en warm tot zeer warm, met name in de bouwvakvakantie. Wat dit betreft kunnen we spreken van een worst-case situatie.

Neerslag

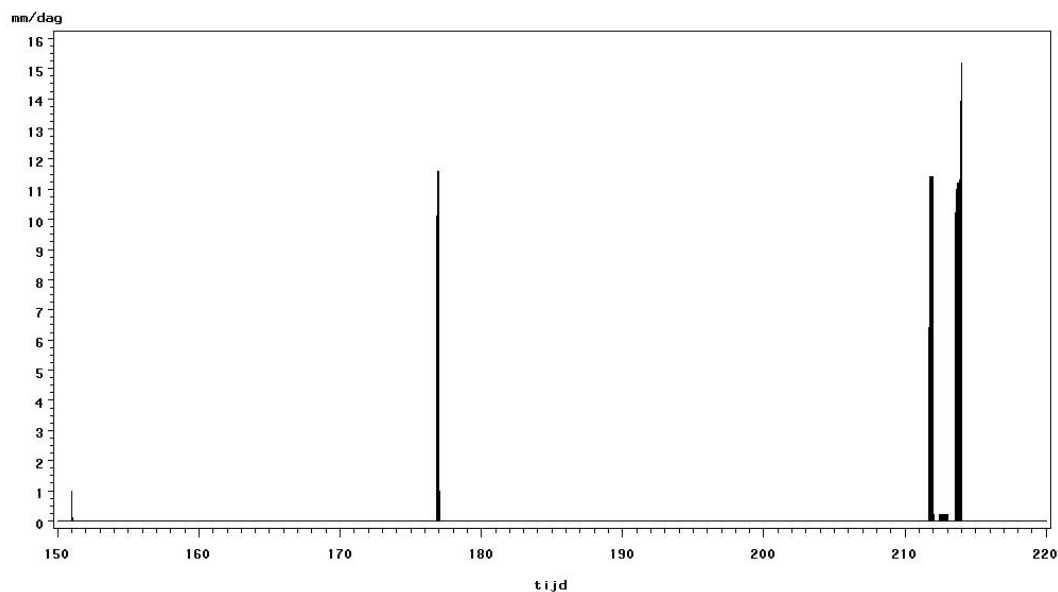
In de proefperiode is er relatief weinig neerslag gevallen. Er is gekeken naar het effect van neerslag op de concentraties PM10. Figuur 10a laat zien dat er een directe relatie is tussen neerslag en PM10 - concentraties in de proefperiode. Tijdens regen (zelfs al bij geringe hoeveelheden), zijn de gemeten concentraties fors lager dan bij droog weer.

Figuur 10a: verband neerslag en concentratie fijn stof Energieweg gedurende proefperiode



In figuur 10b is de gemeten neerslag in de proefperiode vastgelegd.

Figuur 10b: gemeten neerslag gedurende proefperiode



5.1.3. Kalibratie meetnet

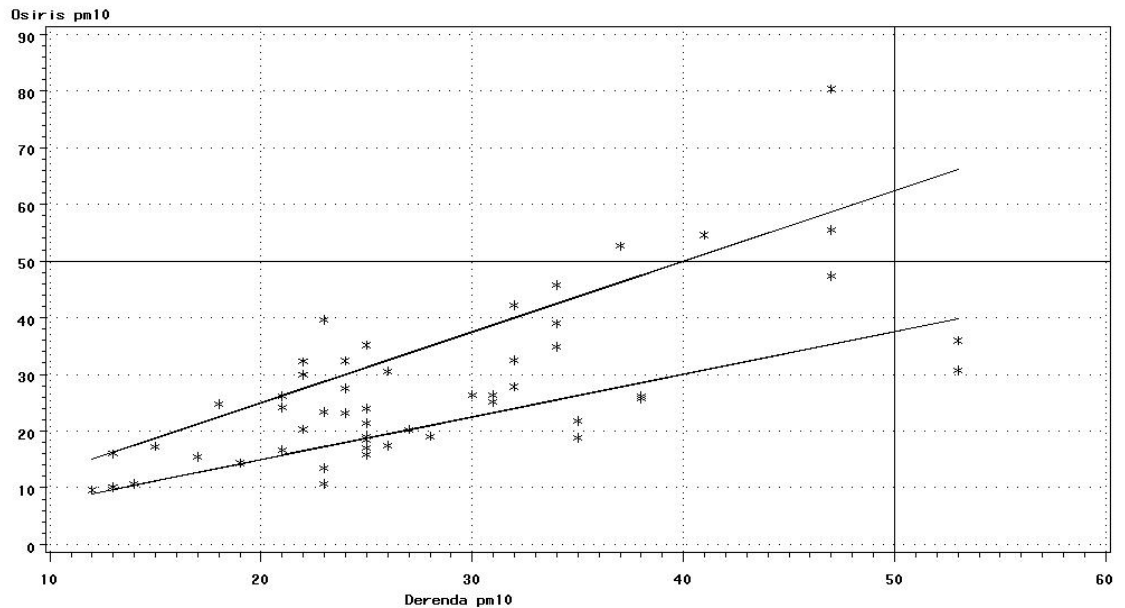
Vergelijking Osiris met de Europese referentie

Op de meetlocatie ten westen van vak 2 is de Osiris vergeleken met het Europese referentie apparaat (Derenda). Op basis hiervan zijn de $PM_{2,5}$ en PM_{10} waarden van de Osiris aangepast. Figuur 11 toont de vergelijking tussen de daggemiddelde waarden van Osiris (na correctie) en Derenda voor PM_{10} . De schuine lijnen geven de toegestane afwijking volgens besluit luchtkwaliteit aan. De horizontale en verticale lijn geven de dagnorm van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ weer. Over het algemeen waren de concentraties laag.

Onderlinge vergelijking Osiris meetapparaten

Na afloop van de meetcampagne zijn de Osiris apparaten onderling vergeleken. De apparaten zijn gecorrigeerd ten opzichte van de Osiris ten westen van vak 2.

Figuur 11: correlatie meetgegevens Osiris PM₁₀ monitor en Derenda PM₁₀ monitor



5.1.4. Bepaling van de stofemissie van de proefvakken

Om de emissie van stof afkomstig van de proefvakken te kunnen bepalen, is gebruik gemaakt van de methode van "Reverse Dispersion Modeling". Deze methode is ontwikkeld om de bronbijdrage van een afzonderlijke bron te bepalen in een omgeving met meerdere bronnen en wanneer er invloed is van wisselende weersomstandigheden. De methode blijkt voor het onderzoek zeer belangrijk te zijn. Hij wordt uitgebreid in bijlage 1 beschreven.

5.2 Resultaten proef

5.2.1. Directe meetresultaten

De meetresultaten van de proef zijn verzameld over de periodes zoals weergegeven in tabel 4:

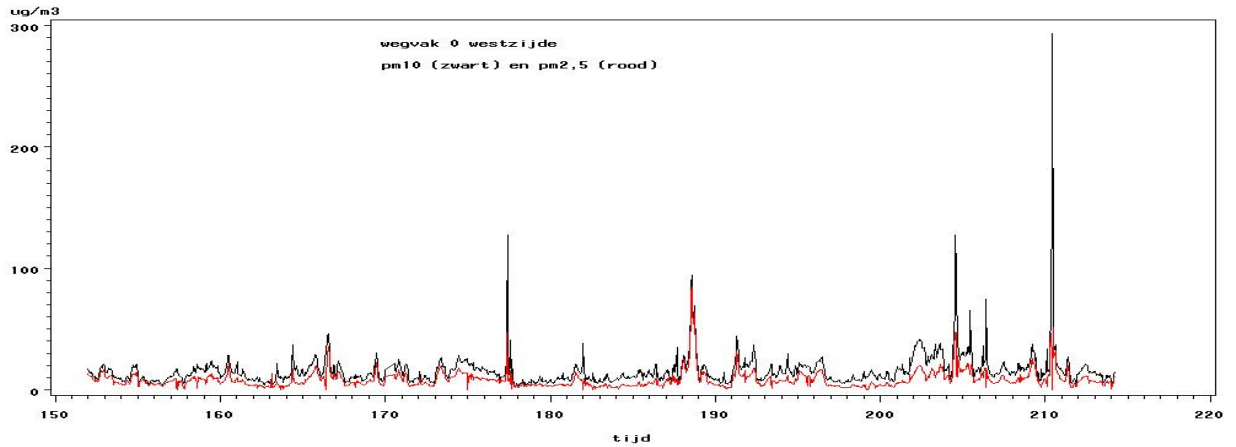
Tabel 4: te onderscheiden meetperiodes gedurende de proefperiode 31 mei t/m 1 augustus

Periode	Duur	Dagnummer	Omschrijving
1	31 mei – 5 juni	151 - 156	Nulsituatie
2	6 juni – 11 juni	157 - 162	Aanleg zoab
3	12 juni – 25 juni	163 - 176	Per dag 4 x sproeien
4	26 juni – 2 juli	177 - 183	Per dag 2 x sproeien
5	3 juli – 14 juli	184 - 195	Vegen
6	15 juli – 1 augustus	196 - 213	Bouwwak (nameting)

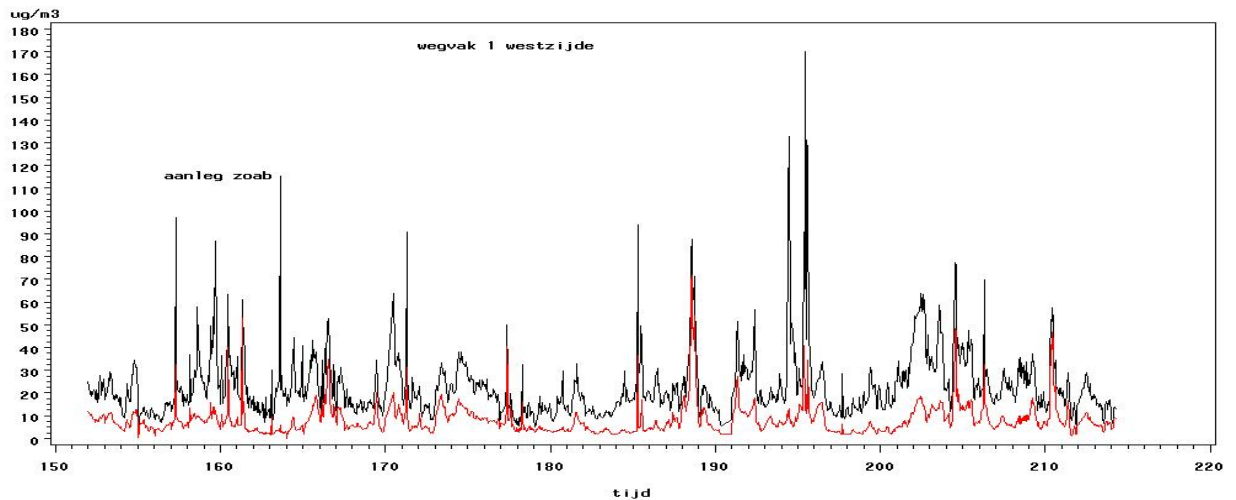
In onderstaande figuren 14 t/m 19 zijn de directe meetresultaten van alle drie de proefvakken weergegeven (let op; er zijn verschillende schalen gebruikt). De rode lijn is voor $PM_{2,5}$ en de zwarte lijn is voor PM_{10} . Horizontaal is de tijd uitgezet in dagnummers (één jaar loopt van 1 tot 365).

Westzijde:

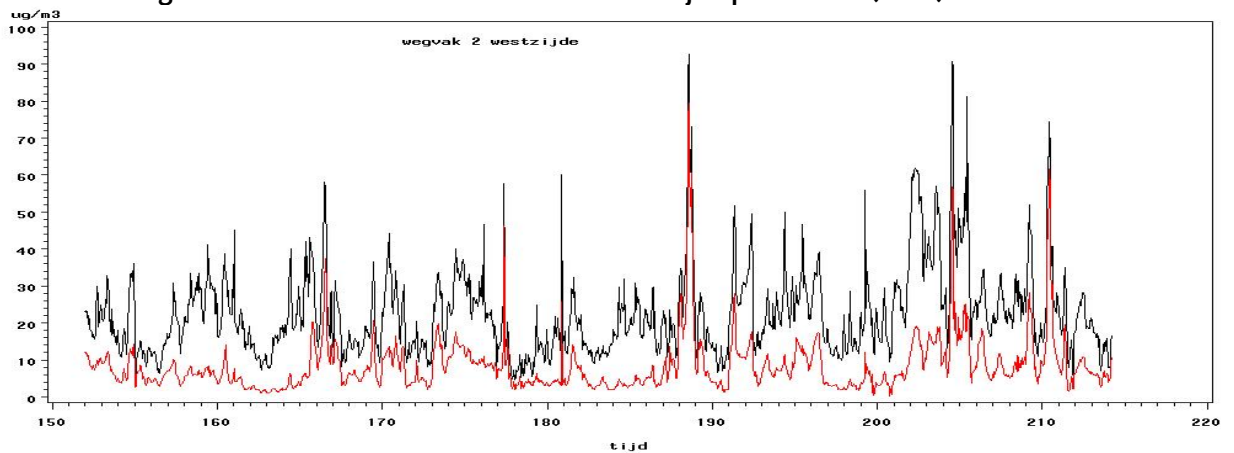
Figuur 14: directe meetresultaten van westzijde proefvak 0 (referentie)



Figuur 15: directe meetresultaten van westzijde proefvak 1 (ZOAB)

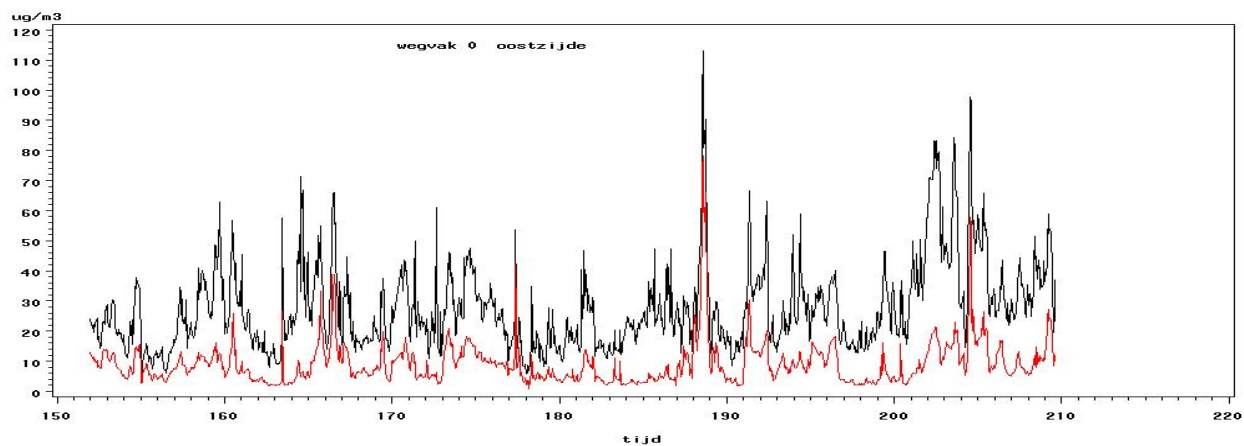


Figuur 16: directe meetresultaten van westzijde proefvak 2 (DAB)

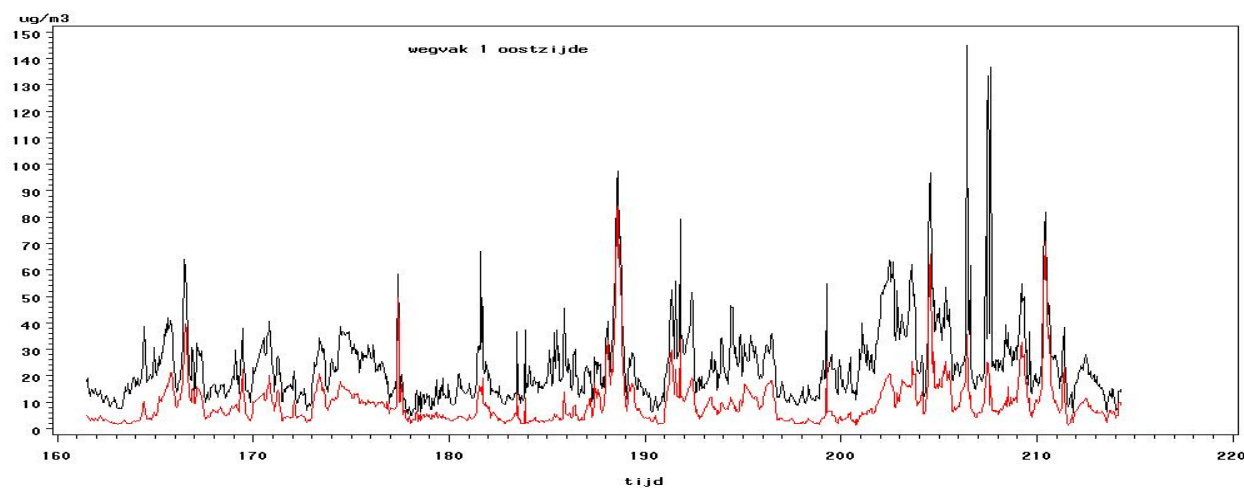


Oostzijde:

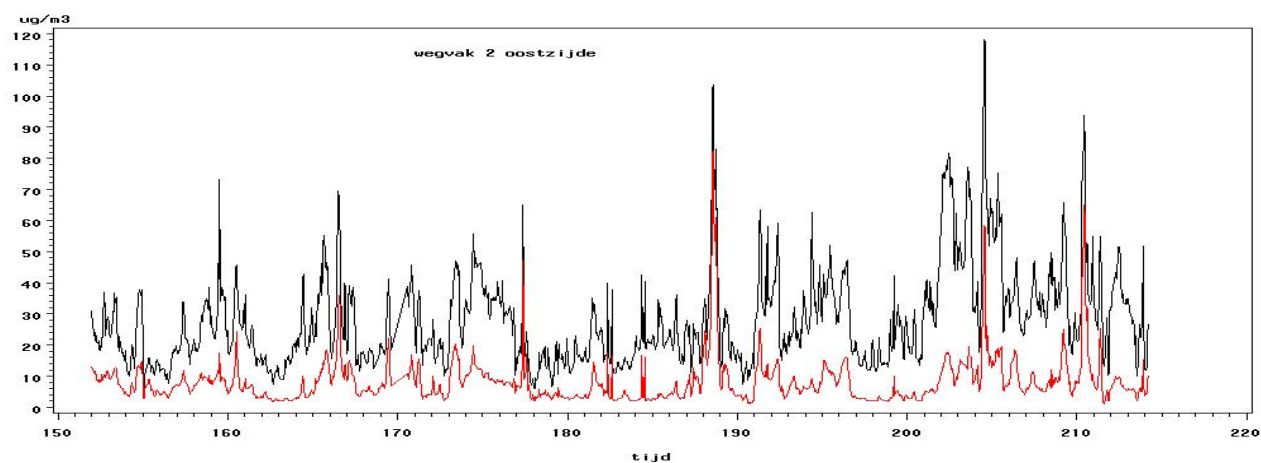
Figuur 17: directe meetresultaten van oostzijde proefvak 0 (referentie)



Figuur 18: directe meetresultaten van oostzijde proefvak 1 (ZOAB)



Figuur 19: directe meetresultaten van oostzijde proefvak 2 (DAB)



Wat opvalt aan de directe meetresultaten is het duidelijke verschil tussen de PM_{2.5} fractie (rood) en de PM₁₀ fractie (zwart). Ook vallen de hoge pieken in de grafieken op. Gezien de tijdschaal van de pieken kan dit niet door passerende voertuigen

worden veroorzaakt. Het zijn verstoringen door lokale bronnen in het gebied. Het zijn juist deze andere lokale bronnen die de meetresultaten van de wegvakken verstoren.

Het feit dat sommige grafieken hogere concentraties weergeven dan andere, zegt op zichzelf niets. Het ligt aan de verschillende afstanden van de weg tot de meetpunten en het feit dat de meetresultaten nog gekalibreerd moesten worden.

Tot slot zeggen niet alle gemeten data iets over de bijdrage van de weg. Op momenten dat de windrichting evenwijdig aan de richting van de weg zelf staat (noordoost of zuidwest) zeggen de meetresultaten niets over de bijdrage van de weg. Dit was bij 29% van de metingen het geval.

De combinatie van invloed van andere bronnen, de verschillende afstanden van meetpunten tot de weg en verschillende windrichtingen, maakt het praktisch onmogelijk om uit de ruwe data directe effecten af te lezen van de invloed van de proef. Dit kan wel door middel van het analyseren van de gemeten data volgens het principe van 'reverse dispersion modelling'.

Dit maakt het mogelijk om uitspraken te doen over de emissie van een wegvak gedurende een bepaalde meetperiode. De totale perioden is opgedeeld in 6 perioden (zie tabel) die qua behandeling van elkaar verschillen. Door de emissies per wegvak per periode onderling te vergelijken kunnen uitspraken gedaan worden over het effect van de behandelingen op de wegvakken.

Bevinding 1:

De effecten van de behandelingen zijn niet rechtstreeks uit de meetgegevens af te lezen, door externe invloeden (verstoring). Over het effect van de behandeling (sproeien of vegen) kunnen uitspraken gedaan worden door verschillende periodes van behandeling, per wegvak met elkaar te vergelijken. Dat kan door de bronbijdrage (emissie) van de wegvakken uit de meetdata te isoleren door middel van "reverse dispersion modelling".

5.2.2. Omrekening meetgegevens naar bronbijdrage per wegvak per periode
Aan de hand van onderstaande stappen zijn de ruwe meetdata omgezet in emissies per wegvak per periode. Voor een uitgebreidere beschrijving zie bijlage 1.

Stap 1: Vergelijking metingen ten westen en ten oosten van ieder wegvak

Allereerst zijn de correlatiecoëfficiënten tussen de meetpunten ten oosten en ten westen van ieder wegvak bepaald voor de fracties $PM_{2,5}$ en PM_{10} .

Voor $PM_{2,5}$ varieerden de correlatiecoëfficiënten tussen 0,93 en 0,97. Deze hoge correlaties laten zien, dat $PM_{2,5}$ te wijten is aan de achtergrondbijdrage en dat er nauwelijks een bijdrage is van lokale bronnen.

Voor de fractie PM_{10} (feitelijk $PM_{10} - PM_{2,5}$) zijn de correlatiecoëfficiënten voor vak 0, 1 en 2 respectievelijk 0,51, 0,51 en 0,86. Dit duidt erop dat de lokale bronnen de "grove" fractie PM_{10} beïnvloeden.

Bevinding 2:

De grovere fractie ($PM_{2,5}$ - PM_{10}) wordt beïnvloed door lokale bronnen.
De $PM_{2,5}$ fractie is voornamelijk afkomstig van achtergrond.

Stap 2: Het uitsluiten van de meest extreme meetresultaten

Bij vak 0 en vak 1 wordt de figuur sterk beïnvloed door een aantal zeer lage en zeer hoge waarden, die mogelijk van andere bronnen dan de Energieweg afkomstig kunnen zijn. Vermoedelijk gaat het om zeer lokale bronnen, waarbij de ene monitor wel en de andere monitor niet belast wordt. Veel van deze waarden komen in de periode voor van 13-14 juli en 21-26 juli (overdag). Om de invloed van dergelijke lokale bronnen zo veel mogelijk uit te sluiten worden deze meetwaarden buiten beschouwing gelaten (zie ook bijlage 1).

Stap 3: berekenen concentratieverschil per windhoek per wegvak per periode

Voor ieder wegvak is, voor iedere periode het gemiddelde verschil (oost-west) per windhoek berekend. In bijlage 1 zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven in grafieken.

Als er een bijdrage is van de Energieweg, dan is te verwachten, dat het verschil tussen oost en west bij oostelijke wind negatief is en bij westelijke wind positief.

Resultaten windrichtingberekeningen:

- *In periode 1 was er uitsluitend sprake van noordwestelijke wind. Hierdoor is de bijdrage van de weg niet te onderscheiden van bijdragen van stofbronnen van het industrieterrein. Deze metingen zijn hierdoor niet bruikbaar.*
- *De resultaten van periode 2 (6-11 juni) zijn ook buiten beschouwing gelaten, omdat in deze periode het ZOAB op proefvak 1 werd aangelegd. Dit beïnvloedde de metingen op alledrie de wegvakken dusdanig, dat deze, gedurende periode 2, niet representatief zijn als 0-situatie.*

Bij vak 0 treedt in alle perioden een verschil op tussen oostelijke en westelijke windrichting dat groter is dan $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (meetwaarden oostzijde hoger dan westzijde). Deze waarden zijn echter sterk beïnvloed door andere bronnen dan de weg (bouwactiviteiten).

Bij vak 1 is het oost-west patroon vrijwel niet zichtbaar, hetgeen duidt op een lage bijdrage van de weg. Er is hier sprake van uitschieters door andere bronnen dan de weg.

Bij vak 2 is de bijdrage van de weg het meest zuiver te onderscheiden. Deze ligt in de orde van grootte van 1 tot $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Er is geen overtuigend verschil te zien tussen de verschillende perioden.

Bevinding 3:

Er is een bijdrage van de weg te onderscheiden uit de metingen. Bij wegvak 2 is deze het meest duidelijk zichtbaar, bij wegvak 1 het minst. De resultaten voor wegvak 0 en 1 worden sterk beïnvloed door andere lokale bronnen, waarschijnlijk bouwactiviteiten in deze periode.

Stap 4: Schattingen stofemissies per brongebied: reverse dispersion modelling

Om betrouwbare uitspraken te kunnen doen over stofemissies van de wegvakken, dient de invloed van andere lokale bronnen te worden geëlimineerd m.b.v. 'reverse dispersion modelling'.

Het toepassen van meervoudige regressie op de hele dataset levert op deze manier emissies op voor alle te onderscheiden brongebieden.

Met deze emissies is vervolgens van uur tot uur berekend, wat de stofconcentratie zou moeten zijn op alle meetlocaties, als deze alleen van de weg afkomstig zou zijn. Deze berekende waarden zijn vervolgens vergeleken met de werkelijk gemeten waarden. Dat levert verschillen op. Extreem hoge en extreem lage verschillen tussen gemeten en berekende waarden wijzen op een invloed van andere lokale bronnen dan de weg. Door deze uit te sluiten is een betrouwbaarder schatting te maken van de bronbijdrage van de wegvakken in een bepaalde periode.

Stap 5: herberekening stofemissies per wegvak per periode

Op basis van de, hierboven beschreven, uitsluiting van de andere lokale bronnen die de wegvakken beïnvloeden, zijn de stofemissies van de wegvakken (per periode) opnieuw berekend. Door het weglaten van door omgevingsbronnen beïnvloede resultaten, is voor een groot aantal perioden en wegvakken geen representatief resultaat verkregen zijn. Met name de resultaten van de nulmetingen moeten worden verworpen:

- Wegvak 0 is gedurende de hele periode teveel beïnvloed door bouwactiviteiten (school).
- In periode 1 waaide de wind slechts uit één richting, wat vergelijking van oost en west volgens het systeem van reverse dispersion modelling onmogelijk maakt. Hiervoor zijn meerdere windhoeken nodig.
- In periode 2 zijn de metingen verstoord door de aanleg van het ZOAB op wegvak 1.
- De afzonderlijke perioden 3 en 4 zijn te kort om betrouwbare uitspraken te doen voor elk wegvak. Door de periode langer te maken en hierover te middelen zijn voor periode 3 en 4 (sproeien) samen wel betrouwbare emissiecijfers verkregen voor de vakken 1 en 2.

In tabel 5 zijn de representatieve emissies van de wegvakken weergegeven. Niet representatieve metingen zijn met rode kruisjes aangegeven. De stofemissies van de wegvakken worden daarbij uitgedrukt in emissies per strekkende meter ($\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{s})$).

Tabel 5: representatieve emissies per wegvak per periode

periode	datum	behandeling	emissie in $\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{s})$		
			vak 0	vak 1 ZOAB	vak 2 DAB
1	31/5 – 5/6	nulmeting	X	X	X
2	6/6 – 11/6	aanleg ZOAB	X	X	X
3+4	12/6 – 2-7	sproeien	X	23	34
5	3/7 – 14/7	ZOAB cleaner	X	11	71
6	15/7 – 1/8	nameting	X	23	61

Stap 6: interpretatie resultaten

Een deel van de metingen is teveel beïnvloed door andere lokale bronnen (industrieterrein, bouwactiviteiten pal langs de weg) om betrouwbare uitspraken te doen over de bijdrage van de weg. Hierdoor zijn alleen over wegvak 1 en 2 in periode 3 t/m 6 resultaten beschikbaar. Uit de berekende stofemissies zijn de volgende conclusies voor de situatie tijdens dit onderzoek te trekken:

Conclusie 1:

De emissie van fijn stof is bij ZOAB lager dan bij DAB.

Conclusie 2:

Het sproeien lijkt geen effect te hebben op het ZOAB, het gebruik van een ZOAB-cleaner wel. De emissie daalt in deze periode met 50%.

Conclusie 3:

Het sproeien lijkt effect op het DAB te hebben, maar niet op het ZOAB.

EINDCONCLUSIES

De resultaten uit de proefperiode wijzen op een reductie van de stofemissie, zowel door nat reinigen als door het aanleggen van ZOAB.

Meer metingen over een langere periode zijn nodig om meer betrouwbare uitspraken te kunnen doen.

5.2.3. Omzetten stofemissiereducties naar imissiereducties

Uit de meetresultaten mag de voorzichtige conclusie getrokken worden dat het toepassen van ZOAB op wegen een positief effect heeft op de emissie van deze wegen. Ook het nat reinigen lijkt een effect te hebben. Waarbij sproeien heeft een positief effect op DAB en cleaning een positief effect op ZOAB heeft.

Voor tabel 6 is de totale concentratie langs de weg berekend met behulp van een verspreidingsmodel, op basis van de uit metingen geschatte emissiereducties gedurende de proefperiode. Bij deze berekeningen is uitgegaan van de toepassing van de maatregel over de totale lengte van de Energieweg!

Wat daarbij opvalt is dat de bijdrage van de weg aan de totale immissie groter is dan op voorhand is aangenomen.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het 'Fugitive Dust Model' en geverifieerd aan de hand van het CAR II model. In tabel 6 zijn de resultaten van deze berekeningen weergegeven voor een afstand van 10 meter tot de wegrand.

Tabel 6: immissieberekeningen met Fugitive Dust Model en CAR 5.1 op basis van uit metingen afgeleide emissiebijdrage Energieweg (auto + weg en uitgaande van toepassing over gehele weg).

	Fugitive Dust [ug/m ³]	CAR 5.1 [ug/m ³]
achtergrond	26	28
bijdrage weg DAB	+ 12,6	+ 10,4
effect weg DAB bij sproeien	+ 8,4	+ 7,0
bijdrage weg ZOAB	+ 4,2	+ 3,5

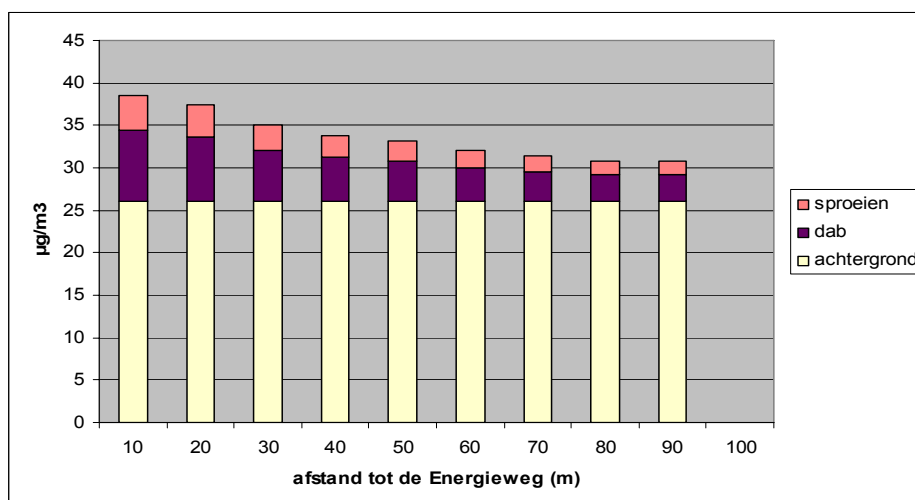
Uit tabel 6 blijkt de bijdrage van de weg door het fugitive dust model (zie: Wings in de literatuurlijst) iets hoger ingeschat wordt dan door het CARII model versie 5.1. Dit resulteert in een iets lagere achtergrondconcentratie. Mogelijke verklaring hiervoor is dat het fugitive dust model ook de bijdrage van de bronnen aan de achtergrondconcentratie toerekent aan de bron zelf. De totale concentraties zijn in beide modellen gelijk (38,6 ug/m³ vs. 38,4 ug/m³).

Los van deze kleine afwijking ten opzichte van de achtergrondconcentratie, ligt de bijdrage van de weg in dezelfde orde van grootte. Deze blijkt fors hoger 10,4 tot 12,6 µg/m³, dan op voorhand ingeschat.

In figuren 20 en 21 is de samenstelling van de concentratie op verschillende afstand van de weg weergegeven. In figuur 20 voor DAB en in figuur 21 voor ZOAB. Wat opvalt is dat de bronbijdrage van de weg bij DAB ten gevolge van nat reinigen met ongeveer 1/3 te verminderen is. Dat heeft op 10 meter van de weg een effect van ongeveer 4µg/m³.

Het effect van ZOAB is groter. Ten opzichte van DAB zonder behandeling is de emissie van de weg, indien uitgevoerd in ZOAB, ongeveer 2/3 lager. Op 10 meter van de weg betekent dit een reductie van ongeveer 8µg/m³ ten opzichte van DAB.

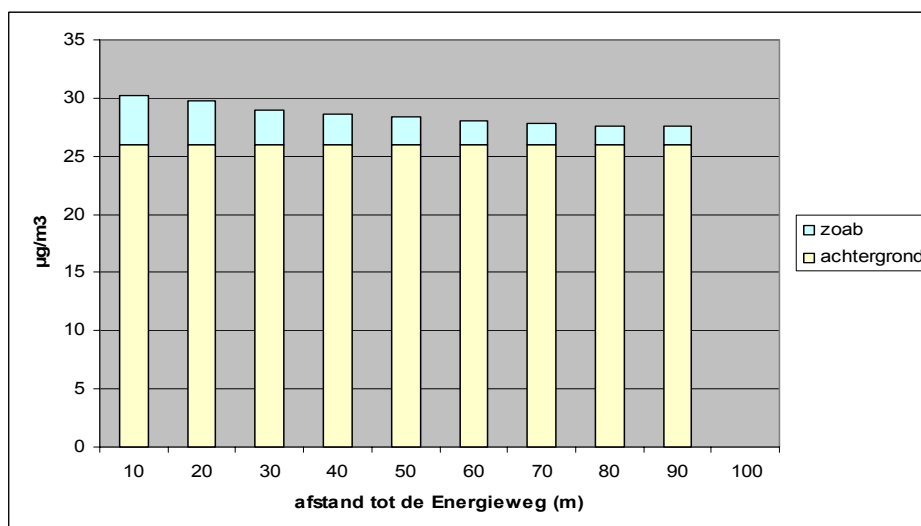
Figuur 20: Totale stofimmissie op verschillende afstanden van de Energieweg met DAB. Paars en roze geven samen de bijdrage van de weg weer. Het roze gedeelte is het gedeelte dat hier door middel van nat reinigen vanaf gehaald zou kunnen worden.



Conclusie potentieel effect nat reinigen DAB:

De immissiereductie ten gevolge van sproeien van DAB kan op 10 meter van de weg tot $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bedragen.

Figuur 21: Totale stofimmissie (PM10) op verschillende afstanden langs de Energieweg, ervan uitgaande dat deze geheel bekleed zou zijn met ZOAB incl. bijbehorend reinigingsregime. Blauw is hierbij de bijdrage van de weg.



Conclusie maatregel ZOAB:

Door toepassing van ZOAB in plaats van DAB kan de emissie van fijn stof van de Energieweg in potentie met 2/3 worden verlaagd, wat overeenkomt met een reductie van de fijn stofconcentratie op een afstand van 10 meter tot de weg met $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

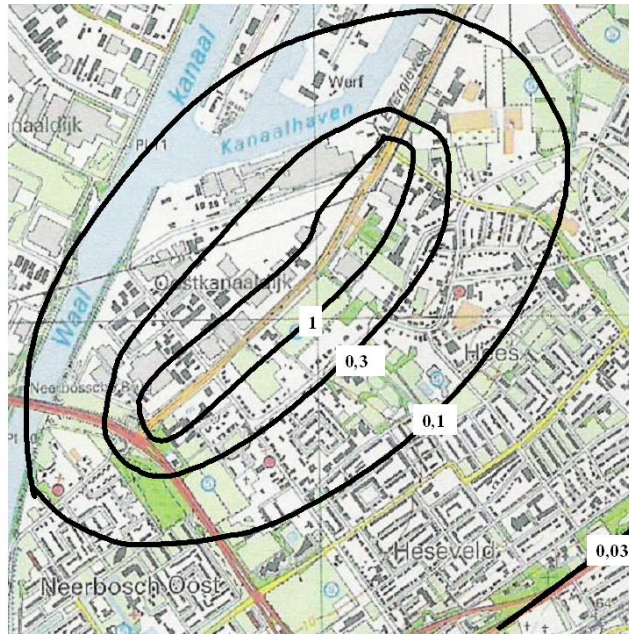
Zowel de aanleg van ZOAB als nat sproeien van DAB lijken daarmee in potentie zeer effectieve maatregelen om fijn stof immissies langs drukke wegen te verlagen.

Onzekerheden die hieraan gekoppeld zijn:

1. Deze reducties zijn bepaald bij een weg met veel bronnen van fijn stof vanuit de omgeving. Dit zal niet in alle situaties zo zijn. Die bronnen hebben als nadeel dat zij ook het direct meten van de wegbijdrage fors hebben verstoord.
2. Bovengenoemde concentratiereducties zijn berekend op basis van de metingen in een korte proefperiode (6 weken) met uitzonderlijk warm en droog weer. Het vormt dus geen representatief beeld voor een jaargemiddelde concentratie op basis van met meerdere weertypen.
3. Het ZOAB is nieuw en zal daardoor nog een maximaal opnemend effect hebben. Naar verwachting zal dit effect bij langer gebruik afnemen. Verdere proefnemingen zouden dit kunnen uitwijzen.

In figuur 22 is met behulp van het verspreidingsmodel (Fugitive Dust Model) aangegeven hoe groot het effect is van een reductie van emissies met $10\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{s})$ over de gehele Energieweg (op kaart aangegeven voor zuidelijk deel energieweg).

Figuur 22: reductie PM10 immissie bij afname bronsterkte energieweg met $10\mu\text{g}/(\text{m}\cdot\text{s})$



6. Analyse uitvoeringsaspecten en kosten maatregel

De volgende maatregelen zijn toegepast:

1. aanleg ZOAB
2. sproeien van het wegdek met een trekker + waterton
3. nat reinigen van het wegdek met een ZOAB-cleaner

Per maatregel is gekeken naar de uitvoeringsaspecten en kosten om uitspraken te kunnen doen over de toepasbaarheid en kosteneffectiviteit van de maatregel.

6.1 Aanleg ZOAB

De aanleg van ZOAB en bijbehorend reinigingsregime lijkt een effectieve maatregel om de emissie van fijn stof langs een weg te reduceren. Deze reductie kan hierdoor oplopen tot 50%. Waar de proef, vanwege de korte duur, geen uitspraken over kan doen is hoe het ZOAB zich op lange termijn gedraagt. Blijven de eigenschappen (vasthouden stof of stofproducerend materiaal in holle ruimte) op lange termijn behouden? Een herhaling van de proef op langere termijn (bv. na een jaar) zou dit kunnen uitwijzen.

ZOAB heeft de eigenschap sneller te slijten in een gebied waar veel frictie (draaien) is op het wegdek. Ook is onbekend of dit de eigenschappen op termijn nadelig kan beïnvloeden.

Nu wordt ZOAB veelal aangelegd vanwege de betere rijeigenschappen (minder opspatten van water en minder geluidsproductie). Het feit dat ZOAB minder fijn stof afgeeft, kan een extra overweging zijn bij de keuze voor ZOAB op snelwegen, maar ook op bijvoorbeeld provinciale of doorgaande stadswegen met een fijn stof probleem.

6.2 Sproeien van het wegdek

Het sproeien van het wegdek lijkt vooral effect te hebben op het DAB. Voor het sproeien is gebruik gemaakt van een trekker met waterton. Voordeel van deze uitvoering was dat het relatief goedkoop is om voor een korte periode in te zetten. Een beregeningsinstallatie met vaste sproeiers zou ongeveer € 25.000 hebben gekost. De inzet van een sproeiwagen gedurende 2 weken heeft € 6.500 gekost.

Bij een permanente toepassing van de maatregel zou op termijn een vaste installatie waarschijnlijk goedkoper zijn.

Een ander voordeel met het sproeien met een trekker met waterton, is dat er geen drinkwater, maar oppervlaktewater gebruikt is. Een permanente proefinstallatie zou gebruik kunnen maken van ter plaatse opgepompt grondwater.

Tot slot bleek het mogelijk de rijbaan te reinigen zonder aanvullende verkeersmaatregelen. Het verkeer werd slechts gedurende het sproeien licht opgehouden doordat het de trekker (die langzaam, over beide rijbanen reed) niet kon passeren.

Het waterverbruik voor het sproeien bedroeg 6 m³ per sproeingang. Hiermee werd 6500 m² besproeid. Dat is ongeveer 1 liter water per m².

6.3 Nat reinigen van het wegdek met een ZOAB -cleaner

De inzet van de ZOAB -cleaner op DAB lijkt geen positief effect te hebben. De inzet op ZOAB lijkt wel effect te hebben. Dit komt overeen met de bevindingen van de mensen die de wagen bedienden. Zij gaven aan vooral de eerste reinigingsdagen veel vuil te hebben opgezogen van het wegdek. Dat werd daarna minder. In totaal is in de meetperiode 400 m³ water op de weg gebracht en 50 m³ vuil opgehaald met de ZOAB -cleaner. Dat is uiteraard niet alleen fijn stof, maar ook grover vuil.

Per behandeling is gemiddeld 60 m³ drinkwater gebruikt. De kosten van de behandelingen (6 stuks) bedroeg € 35.000,=. Nadeel van deze methode was verder dat de rijbaan die gereinigd werd in zijn geheel afgezet moest worden met pionnen. Dat leidt ook tot stagnatie van verkeer. Deze bijbehorende verkeersmaatregelen zijn in de kosten meegenomen.

Grootschalig reinigen van DAB met een ZOAB -cleaner lijkt een ineffectieve maatregel: het leidt tot verkeeropstoppingen, is erg duur en is milieubelastend vanwege het hoge drinkwaterverbruik, daarnaast is er geen effect aangetoond.

Conclusie is dan ook, dat het reinigen met een ZOAB -cleaner alleen zinvol toegepast kan worden voor het periodiek reinigen van ZOAB. Welke frequentie hierbij het beste is, kan deze proef niet uitwijzen. Of alleen het reinigen van de vluchtstrook daarbij voldoende is, heeft deze proef niet uitgewezen. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig.

6.4 Conclusie effectiviteit maatregelen

De maatregel aanleggen van ZOAB lijkt het meest effectief in situatie waar een weg toch al moet worden vernieuwd en waar de aanleg van ZOAB technisch mogelijk is. De meerkosten zijn dan beperkt en het effect is groot. Hierbij hoort een ZOAB reinigingsregime.

Nat sproeien op DAB wegdekken lijkt ook een effect te hebben. Het is echter een maatregel die geen permanent effect heeft. Uit de proef blijkt dat gedurende droge perioden een frequentie van 2 tot 4 maal sproeien per week effectief is op DAB. In bepaalde knelpuntsituaties zou de maatregel effectief kunnen zijn. Meer onderzoek hiernaar is echter nodig.

7. Conclusie en aanbevelingen

De proef op de Energieweg met nat reinigen op DAB en ZOAB heeft de volgende resultaten opgeleverd:

7.1 Methodisch:

Locatie:

De keuze van de Energieweg in Nijmegen leek gunstig vanwege het hoge aandeel vrachtverkeer en relatief hoge concentraties (opwervend) fijn stof.

Nadeel van de locatiekeuze blijkt achteraf de verstoring door de vele andere fijn stofbronnen in het nabije omgeving van de proef. Dit zijn met name industriële activiteiten in de directe omgeving, maar ook bouwactiviteiten direct langs de weg gedurende de proefperiode.

Resultaten:

De gehanteerde meet- en rekenmethode van 'reverse dispersion modeling' is noodzakelijk gebleken om resultaten te verkrijgen uit de proef. Het meten van een rechtstreeks effect enkel op basis van gemeten concentraties bleek onmogelijk, vanwege verstoring vanuit andere lokale bronnen, ongunstige meteorologische omstandigheden en verschillende afstanden tot de weg van de meetlocaties.

Ondanks het toepassen van deze methode, is toch een groot aandeel van de metingen onbetrouwbaar. Daarnaast is een deel van de metingen onbruikbaar door wind die evenwijdig aan de weg heeft gestaan gedurende bepaalde perioden (dan kun je bijdrage van de weg niet meten).

Uit de overgebleven data blijkt een effect van zowel ZOAB als van nat reinigen op DAB. Gezien de geringe omvang van deze data moeten de uitkomsten uit deze proef niet als wetenschappelijk bewijs worden beschouwd, maar wel als **sterke aanwijzing** dat er een effect is.

7.2 Inhoudelijke resultaten

Uit de proef zijn de volgende resultaten gebleken:

- neerslag in de vorm van regen heeft een direct positief effect op de fijn stof concentraties. Dit effect is groter dan bij nat reinigen. Dit komt doordat neerslag niet alleen de fijn stof emissie van de weg vermindert, maar van alle fijn stof bronnen in de omgeving. Daarnaast heeft het invloed op de achtergrondconcentraties;
- de fijn stof emissie van proefvak 1 (ZOAB) bleek constant significant lager dan die van proefvak 2 (DAB);
- de emissie van proefvak 1 (ZOAB) werd positief beïnvloed door het reinigen met de ZOAB -cleaner;
- de emissie van proefvak 1 (ZOAB) werd niet positief beïnvloed door het besproeien met water.
- de fijn stof emissie van proefvak 2 (DAB) werd positief beïnvloed door het besproeien met water;

-
- de fijn stof emissies van proefvak 2 (DAB) werd niet positief beïnvloed door het reinigen met de ZOAB cleaner.

Dit effect is gemodelleerd naar een situatie waarbij de maatregelen op de hele Energieweg zouden zijn toegepast gedurende de proefperiode.

- Uit deze immissieberekening blijkt dat de toepassing van (nieuw) ZOAB tot een maximale reductie van de fijn stof immissie met maximaal $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ op 10 meter van de weg kan leiden ten opzichte van dicht asfalt (DAB).
- Het nat reinigen van DAB leidt onder dezelfde omstandigheden tot een maximale reductie met $4\mu\text{g}/\text{m}^3$ op 10 meter afstand van de weg.

Hierbij moet opgemerkt worden dat in deze periode de meteorologische condities vrij extreem waren (droog en warm weer) en niet representatief voor een heel jaar. Om meer zekerheid te krijgen over het effect van zowel ZOAB als nat reinigen en de relevantie van dit onderzoek voor andere situaties is meer en uitgebreider onderzoek wenselijk. Dit onderzoek geeft wel een eerste indicatie dat er effecten zijn.

7.3 Aanbeveling voor verder onderzoek

Om meer zekerheid en wetenschappelijk bewijs te verkrijgen voor het effect van het toepassen van ZOAB of nat sproeien op DAB als maatregel ter verbetering van de luchtkwaliteit, wordt het volgende voorgesteld:

- een nameting op proefvak 1 na een langere gebruikperiode (bijvoorbeeld na 1 jaar). Vervolgens weer een ZOAB-reiniging toepassen op de vluchtstrook. Dit uitvoeren d.m.v. stofmetingen en vaststellen residu op de weg voor en na reiniging;
- soortgelijk onderzoek uitvoeren op een andere locatie: bijvoorbeeld langs een snelweg met ZOAB;
- metingen gedurende een langere periode langs alle vakken zonder behandelingen uit voeren. Zo zijn meer betrouwbare data te verkrijgen over de bijdrage van de wegvakken zelf onder verschillende meteorologische condities. Dit kan de wetenschappelijke betrouwbaarheid van de reeds gevonden resultaten vergroten.

Gebruikte literatuur / documenten

ApSimon H. (2002). Particles in the size range 2.5 to 10 microns in urban areas. Proceedings of Eurasap Workshop Berlin.

Buckley Valley - Lakes District Canada (2004). Community Action Plan for clean air, a five year strategy. From BVLD Airshed Management Plan- chapter 10: Road Dust.

Dobroff F. (1999). Region of Hamilton-Wentworth Air Quality Program Street Cleaning Initiative. Ministry of The Environment West Central Region Canada.

Doorn, W. van, Nijhuis, H., Vrins E. (2005). Monitoring of Particulate Matter in a residential area. Clean Air Congress, Istanbul, Turkey.

Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors (2005). Fugitive dust emission rate estimates by reverse Dispersion Modelling. European standard, draft prEN 15445

Gemeente Nijmegen (2005). Voorontwerp Uitvoeringsprogramma Verbetering Luchtkwaliteit Nijmegen 2005-2010. Nijmegen.

Hoogwerff J., Verstappen I. (2005). Advies Pilot Nat Reinigen tegen fijn stof. M+P Raadgevende Ingenieurs, Vught.

Johansson J. (2004). Action Programme PM10 in Stockholm. Presentation. The Country Administrative Board of Stockholm Sweden (www.ab.lst.se/frisklareluft).

Limpaseni W (2001). Control of road dust. Presentation at Regional Workshop fighting urban air pollution, UNCC Bangkok.

Lohmeijer A., Bächlin W., Zippack L., Düring I. (2004). Auswertung der Messungen des Blume während der Abspüllmassnahme am Abschnitt Frankfurter Allee 86. Büro Karlsruhe, Karlsruhe i.o.v. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin.

South Coast Air Quality Management District (1997). AQMD adopts rules to reduce harmful air pollution from dust. AQMD News California.

Stidger R.W. (2003). The Pros and Cons of Municipal Street Sweeping, Ten of the best street sweeping practices. Better Roads Magazine.

Visser H., Buringh E., Breughel P.B. van (2001). Composition and Origin of Airborne Particulate Matter in the Netherlands. RIVM report 650010 029.

Vrins E., Duuren H. van, Janssen-Jurkovicova M. (1994). Estimation of the Emission Rates of Fugitive Dust Sources. Proceedings of 2nd Air Pollution Conference, Barcelona, Spain, Part II, pp 157-168

Vrins E., Schulze F. (1996). Fugitive Dust Emission Estimates Using a Dust Dispersion Model. Proceedings of 4th Workshop on Harmonisation of Dispersion Models for Regulatory Purposes.

Vrins E., (2006). Development in reverse dispersion modeling for emission rate estimates of fugitive dust sources. 7th International Conference on Emissions Monitoring, Paris, France. Pp. 158-165.

Winges K.D. (1990). User's Guide for the Fugitive Dust Model (FDM) (revised). Report No. EPA/SW/DK-90/041a, EPA-910/9-88-202R, NTIS PB90-215203

Bijlage 1: achtergrond bij berekeningen

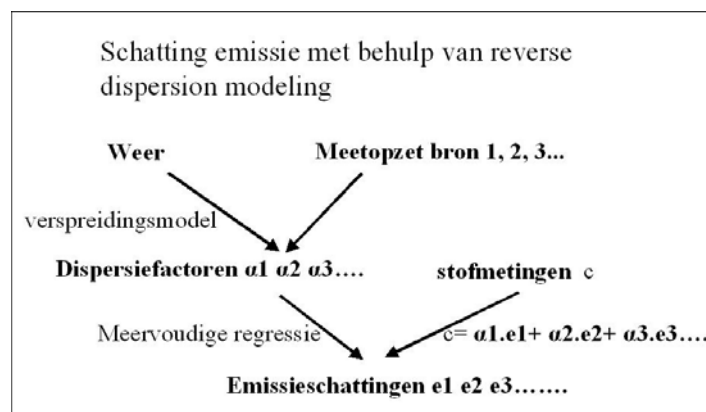
Reverse dispersion modeling

Het werkt als volgt: als een bepaald brongebied (bijvoorbeeld een wegvak) stof uitstoot, dan zal dit stof zich gaan verspreiden onder invloed van de actuele weersomstandigheden. Zo draagt dit wegvak benedenwinds bij aan de stofconcentratie. Het verband tussen de stofemissie en de stofconcentratie wordt bepaald door de dispersiefactor:

$$\begin{array}{lcl} \text{Stofconcentratie} & = & \text{dispersiefactor} \cdot \text{stofemissie} \\ C & = & \alpha \cdot E \end{array}$$

De dispersiefactor wordt berekend met een verspreidingsmodel¹ en hangt af van de weersomstandigheden (windrichting, windsnelheid e.d.) en de meetopzet (afstand stofbron-meetlocatie, hoogte meetlocatie, omvang stofbron). Normaal gesproken zullen meerdere bronnen bijdragen aan de gemeten stofconcentratie. De dispersiefactoren worden daarom berekend voor ieder uur, iedere stofbron en iedere meetlocatie. Vervolgens kunnen de emissies van de verschillende bronnen berekend worden door meervoudige regressie. De werkwijze is weergegeven in *figuur 12*.

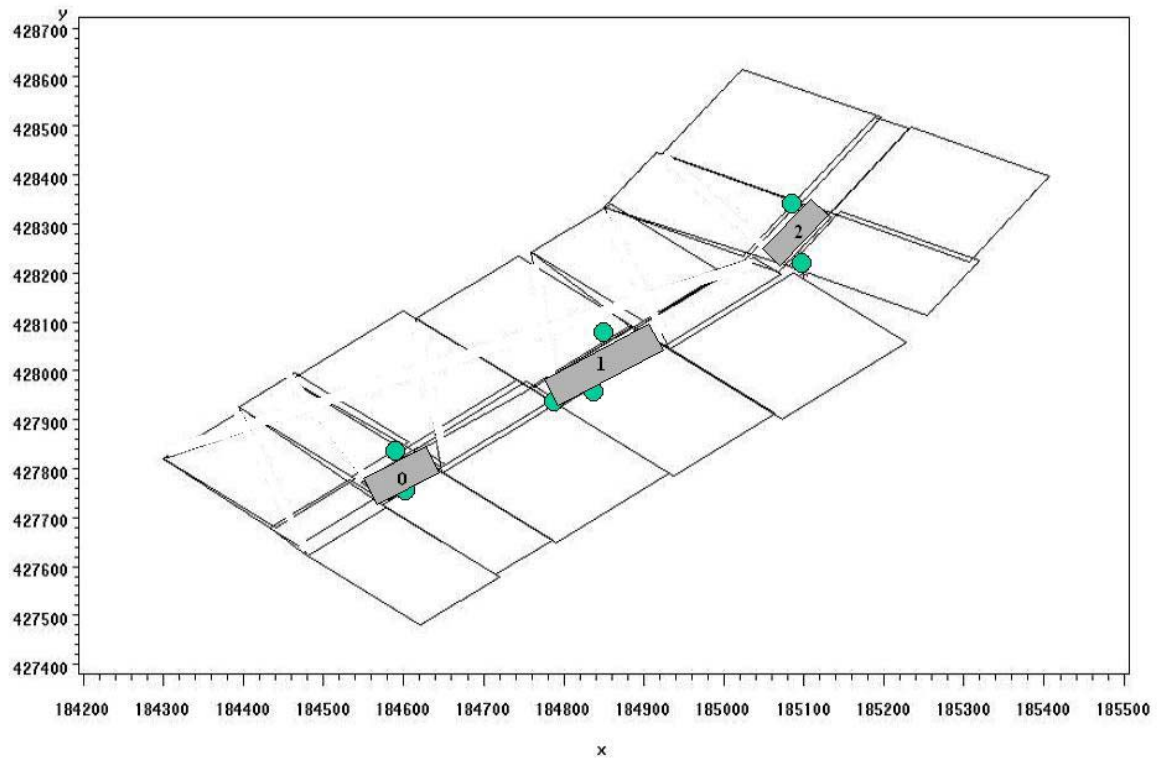
Figuur 12: werkwijze 'reverse dispersion modeling'



Door meetlocaties ten noordwesten en zuidoosten van een proefvak te plaatsen kunnen omgevingsbronnen zoveel mogelijk worden onderscheiden van de bijdragen van de proefvakken zelf. Deze omgevingsbronnen kunnen worden toegerekend aan fictieve rechthoeken ten oosten en westen van het proefgebied. Deze zijn zo gekozen dat voor elk omgevingsvak een meetpunt is, ten opzichte waarvan de bronnen in een andere windhoek liggen. Zo zijn de verschillende bronnen van elkaar te onderscheiden. *Figuur 13* toont schematisch de in de berekeningen betrokken potentiële stofbronnen (rechthoeken), de wegvakken 0, 1 en 2 (grijs) en de meetlocaties (cirkels).

¹ Het gebruikte verspreidingsmodel is FDM (Fugitive Dust Model), dat specifiek bedoeld is voor diffuse, lage stofbronnen. Het is ontwikkeld in opdracht van Environmental Protection Agency (EPA) van de Verenigde Staten (Winges, 1990). Het is een Gaussisch model en houdt rekening met de deeltjesgrootte-afhankelijke depositiesnelheid.

Figuur 13 : Schematisch overzicht stofbronnen en meetpunten



Vanuit de meetlocaties zijn de verschillende brongebieden (rechthoeken) het best te onderscheiden als ze in een verschillende windrichting liggen ten opzichte van het meetpunt.

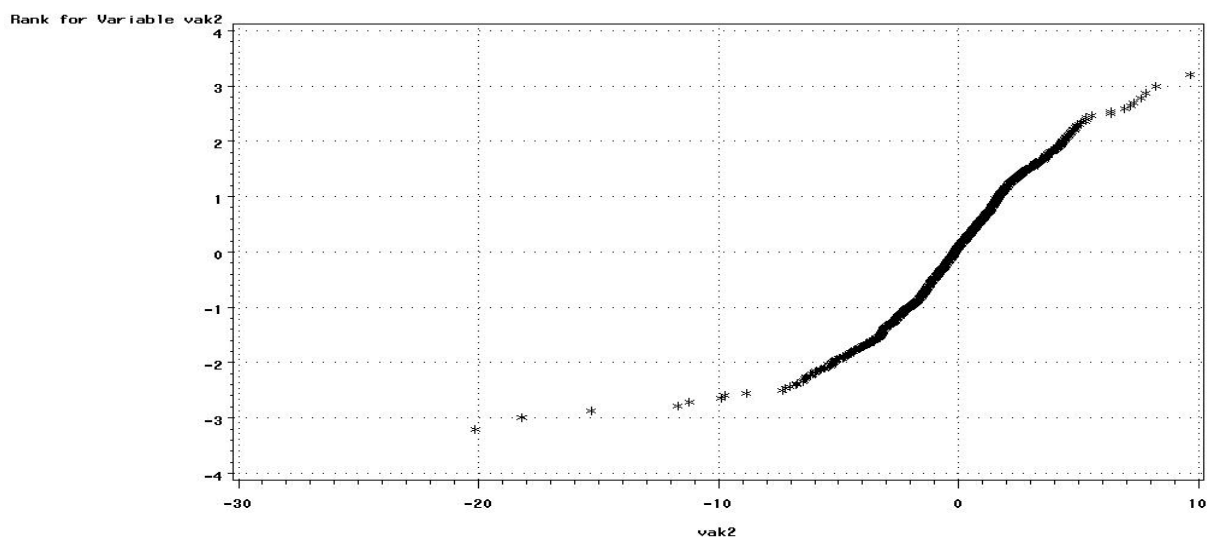
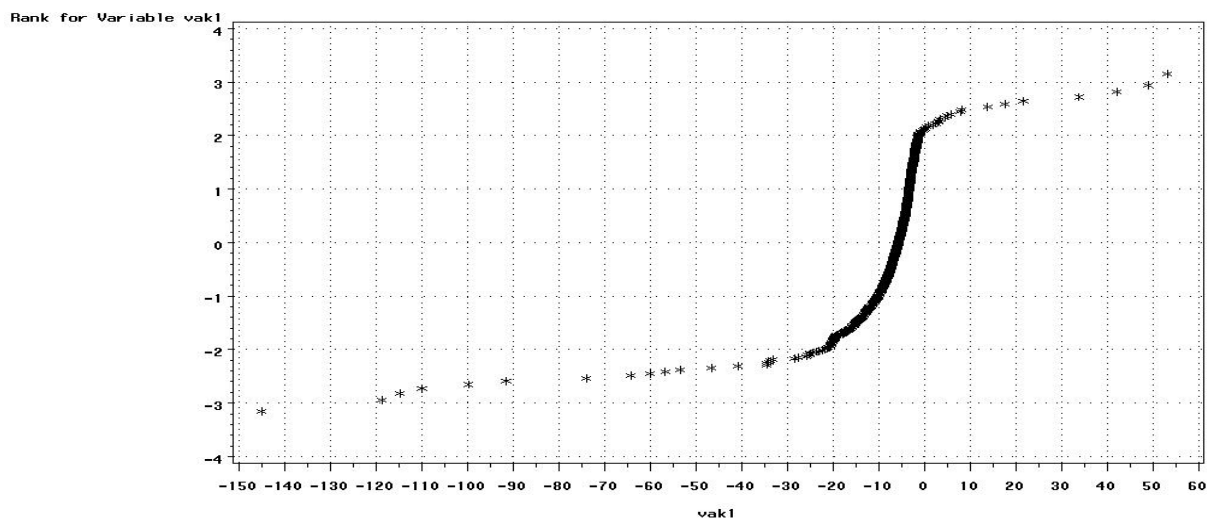
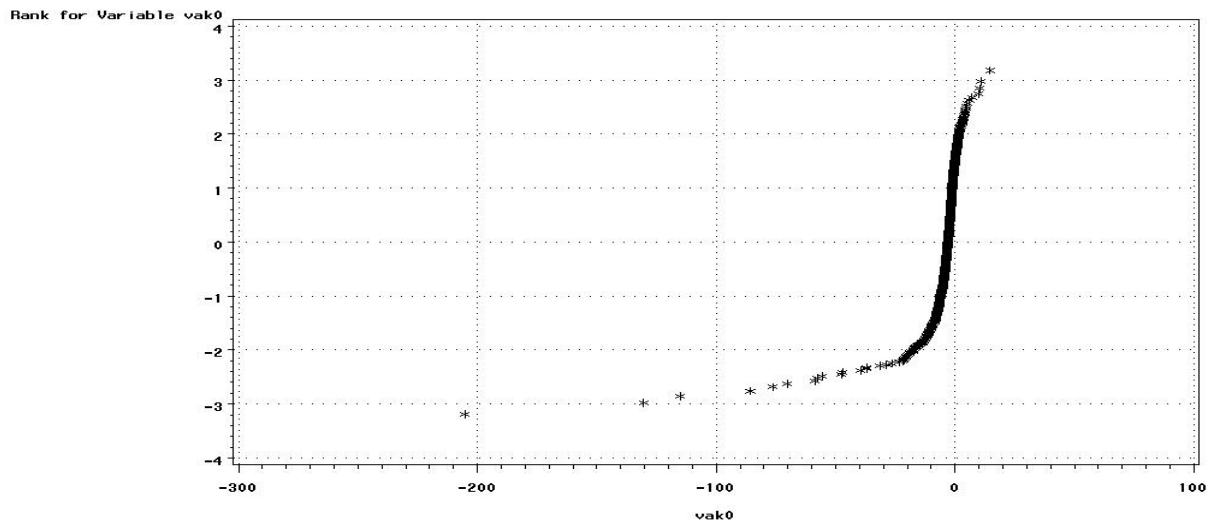
In de gekozen opzet is er voor iedere "rechthoek" in ieder geval één meetlocatie, ten opzichte waarvan de bronnen in een verschillende windrichting liggen. Hierdoor is het inderdaad gelukt alle bronnen van elkaar te onderscheiden.

Stap 1: Vergelijking metingen ten westen en ten oosten² van ieder wegvak

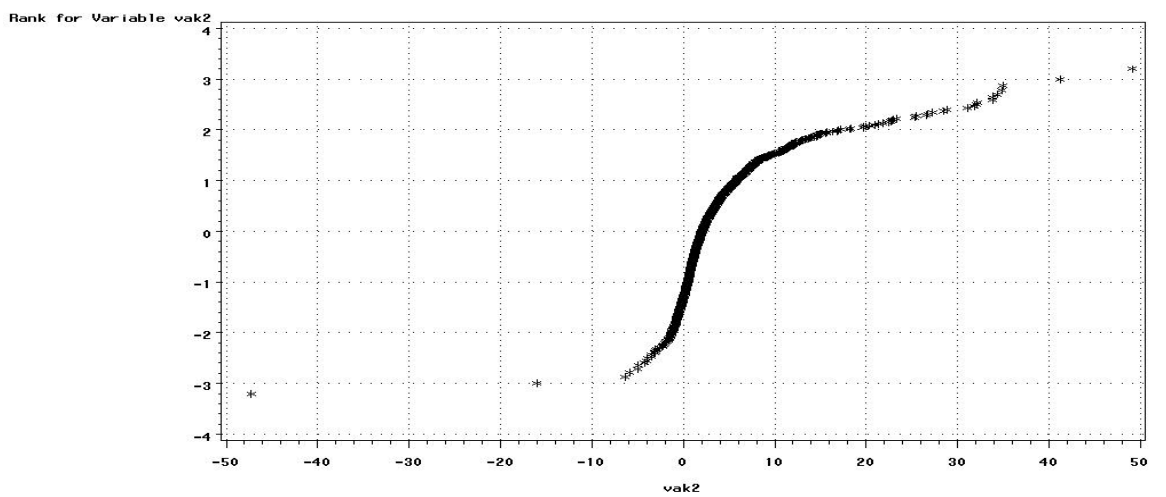
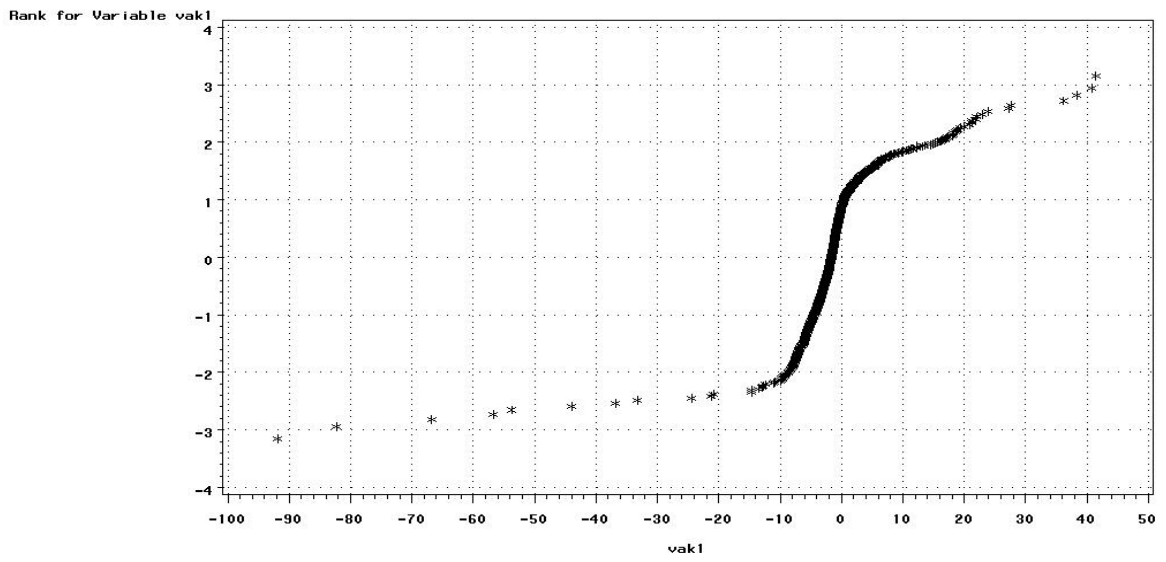
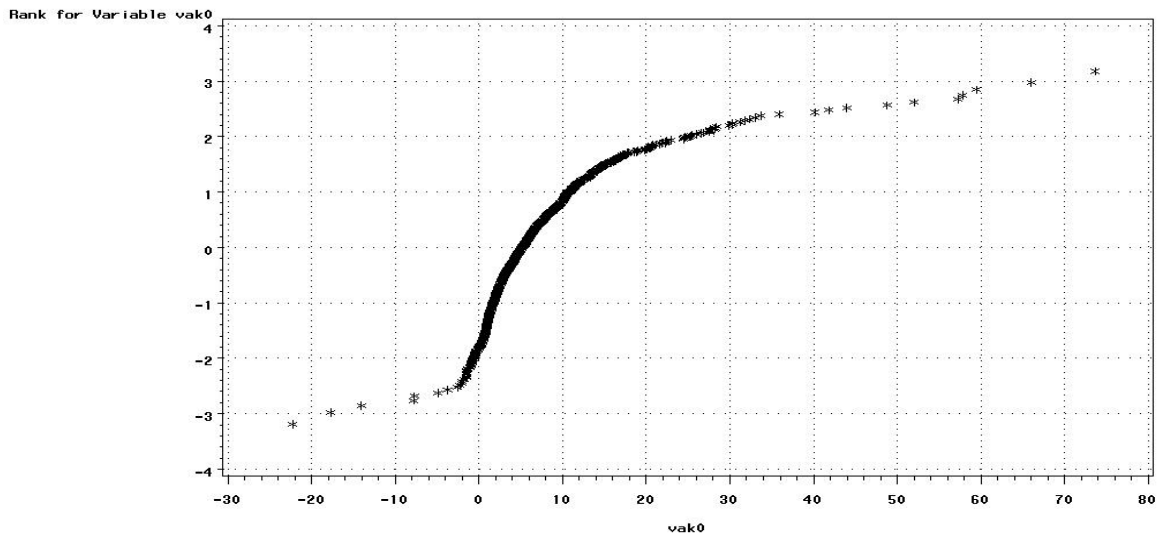
Allereerst zijn de correlatiecoëfficiënten tussen de meters ten oosten en ten westen van ieder wegvak bepaald. Voor $PM_{2,5}$ varieerden de correlatiecoëfficiënten tussen 0,93 en 0,97. Deze hoge waarden laten zien, dat $PM_{2,5}$ vooral bestaat uit de achtergrondconcentratie en dat er nauwelijks een bijdrage is van lokale bronnen. Voor de fractie ($PM_{10} - PM_{2,5}$) zijn de correlatiecoëfficiënten voor vak 0, 1 en 2 respectievelijk 0,51, 0,51 en 0,86. Nu is wel een bijdrage van lokale bronnen te verwachten. In het vervolg wordt enkel deze fractie bekeken.

In de volgende figuren is voor ieder wegvak het verschil tussen oostzijde en westzijde weergegeven in een waarschijnlijkheidsplot. Wanneer de verschillen normaal verdeeld zijn, dan toont de waarschijnlijkheidsplot een rechte lijn. Afwijkingen daarvan duiden op uitzonderlijke situaties, mogelijk veroorzaakt door andere lokale bronnen.

² Voor het gemak wordt hier en bij de volgende figuren gesproken over west en oost, terwijl hier respectievelijk het noordwesten en zuidoosten mee wordt bedoeld.



Figuur 4 Waarschijnlijkheidsplots $PM_{10} - PM_{2,5}$; verschil tussen oost en west bij de wegvakken 0, 1 en 2.



Figuur 5 Waarschijnlijkheidsplots $PM_{2,5}$; verschil tussen oost en west bij de wegvakken 0, 1 en 2.

Stap 2: uitsluiten extreme meetwaarden

Bij vak 0 en vak 1 wordt de figuur sterk beïnvloed door een aantal zeer lage en zeer hoge waarden. Onderstaande tabel geeft een overzicht van alle waarden $< -20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $> 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (verschil oost-west van fractie ($\text{PM}_{10} - \text{PM}_{2,5}$)). Bij de windrichting geldt noordelijke wind als 0° , oostelijke wind als 90° , zuidelijke als 180° en westelijke als 270° . Omdat de weg zuidwest –noordoost ligt, zijn de windrichtingen van globaal 45° en 225° parallel aan de weg. Windrichtingen van globaal 135° en 315° betekenen dat de wind haaks op de weg staat.

Nr	maand	dag	uur	vak 0	vak 1	vak 2	wind-	wind-
				$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	richting	snelh.
1	6	6	9	-20
2	6	7	15	-22	.	.	0	2
3	6	12	15	.	-109	.	144	6
4	6	13	9	-19	.	.	194	1
5	6	13	11	.	-19	.	216	1
6	6	13	23	.	-22	.	302	2
7	6	15	8	-20	.	.	346	2
8	6	15	9	-46	.	.	359	2
9	6	15	10	-25	.	.	0	1
10	6	20	7	.	-56	.	282	3
11	6	24	0	-30	.	.	346	2
12	6	26	10	-204	.	.	222	5
13	6	26	13	-58
14	6	26	16	-36	.	.	212	7
15	6	29	18	.	-20	.	55	3
16	6	30	23	-20	.	.	340	1
17	7	1	0	-57	.	.	345	2
18	7	4	7	.	-52	.	6	2
19	7	4	12	.	-27	.	71	4
20	7	6	16	-46	.	.	278	3
21	7	11	7	-21	.	.	348	2
22	7	11	9	.	-21	.	270	2
23	7	12	10	-28	.	.	56	2
24	7	13	9	.	-59	.	359	2
25	7	13	10	.	-90	.	359	2
26	7	13	11	.	-99	.	359	2
27	7	13	12	.	-118	.	359	2
28	7	13	13	.	-24	.	359	2
29	7	13	14	.	-33	.	309	3
30	7	13	15	.	-33	.	310	5
31	7	13	16	.	-33	.	319	5
32	7	13	17	.	-32	.	326	5
33	7	13	18	.	-24	.	340	6
34	7	14	9	.	-40	.	44	6
35	7	14	10	.	-45	.	50	6
36	7	14	11	.	-144	.	49	6
37	7	14	12	.	-73	.	39	5
38	7	14	13	.	-25	.	39	5
39	7	14	14	-20	-114	.	43	5
40	7	14	15	.	-63	.	48	5
41	7	14	16	.	-25	.	54	5

42	7	14	17	.	-21	.	47	5
43	7	14	18	.	-23	.	42	5
44	7	18	6	.	.	-19	345	2
45	7	21	2	.	-20	.	345	2
46	7	21	3	.	-19	.	345	2
47	7	21	8	.	-19	.	229	3
48	7	21	9	.	-20	.	240	3
49	7	21	11	.	-23	.	265	3
50	7	21	12	.	-19	.	254	3
51	7	21	13	.	-20	.	280	4
52	7	21	14	.	-19	.	296	3
53	7	21	15	.	-27	.	295	3
54	7	21	16	.	-19	.	298	3
55	7	22	8	-36	.	.	72	3
56	7	22	14	.	-19	.	257	6
57	7	23	13	-129	.	.	213	2
58	7	23	14	-69	.	.	257	2
59	7	23	15	-85	.	.	245	4
60	7	23	16	-54	.	.	269	5
61	7	24	11	-75	.	.	345	2
62	7	25	5	-39	.	.	344	2
63	7	25	7	.	-33	.	21	3
64	7	25	10	-114	49	.	62	3
65	7	26	11	.	34	.	54	3
66	7	26	12	.	42	.	54	3
67	7	26	13	.	22	.	52	3
68	7	26	15	.	53	.	0	3

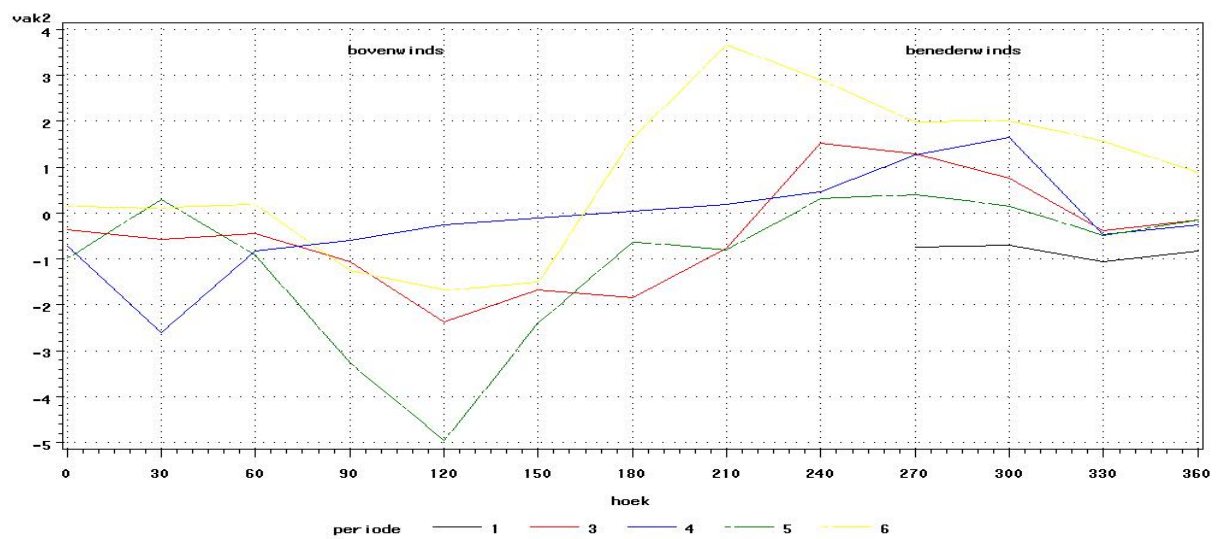
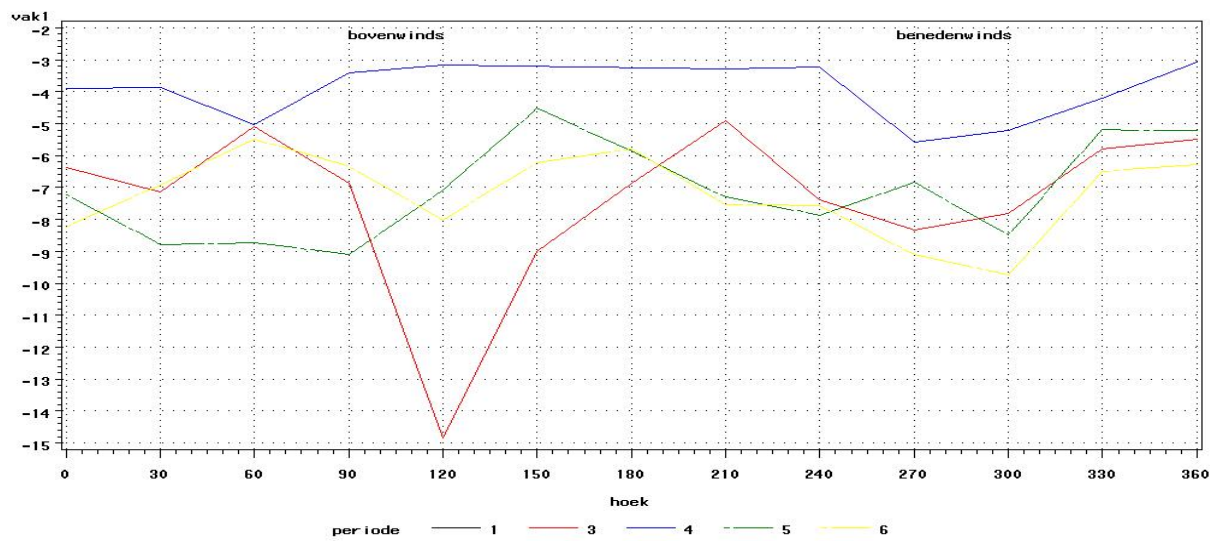
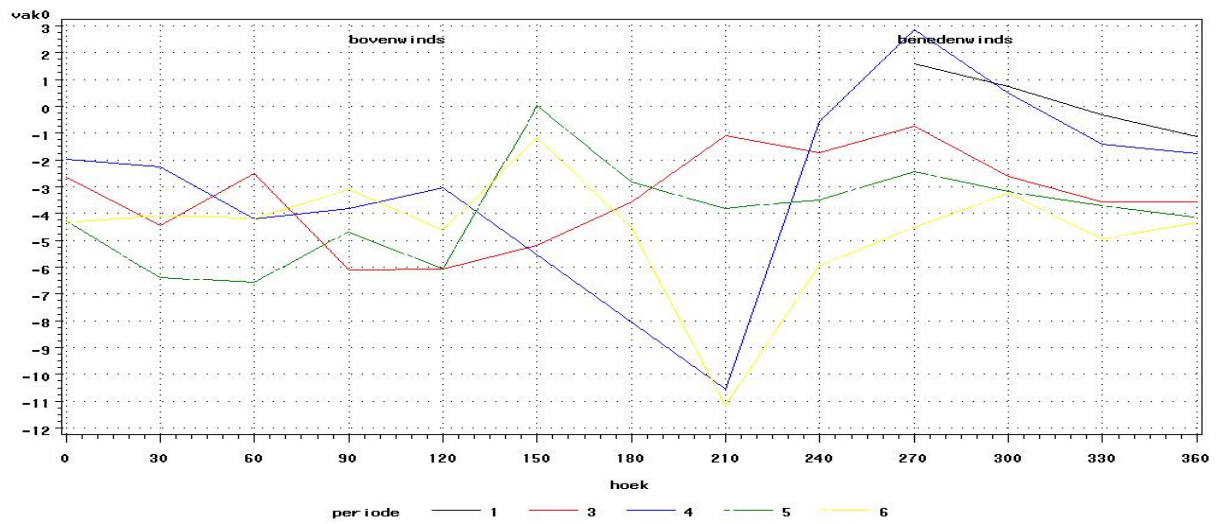
Een negatieve waarde betekent, dat de concentratie aan de westzijde hoger is dan aan de oostzijde. In de meeste gevallen is dit het geval bij westelijke wind. De bijdrage kan dan onmogelijk van de Energieweg afkomstig zijn. Vermoedelijk gaat het om zeer lokale bronnen, waarbij de ene meter wel en de andere meter niet belast wordt. Veel van deze waarden komen in de perioden voor van 13-14 juli en 21-26 juli en met name gedurende de dag. Om de invloed van dergelijke lokale bronnen zo veel mogelijk uit te sluiten worden deze meetwaarden buiten beschouwing gelaten.

stap 3: resultaten berekeningen per windhoek

NB:

- In periode 1 was er enkel sprake van noordwestelijke wind.
- Voor ieder wegvak en iedere periode is het gemiddelde verschil (oost-west) per windhoek berekend. Periode 2 (aanleg ZOAB) is buiten beschouwing gelaten.

Kleur	Periode	Omschrijving	Duur
Zwart	1	Nulsituatie	31 mei – 5 juni
	2	Aanleg ZOAB	6 juni – 11 juni
Rood	3	Per dag 4 x sproeien	12 juni – 25 juni
Blauw	4	Per dag 2 x sproeien	26 juni – 2 juli
Bruin (onderbroken lijn)	5	Vegen	3 juli – 14 juli
Geel	6	Bouwwak	15 juli – 1 augustus



Figuur 5 Het verschil tussen oost en west van ieder wegvak per windhoek.

Ondanks het uitsluiten van de zeer hoge en lage waarden moet er rekening mee gehouden worden, dat de waarden van vak 0 en vak 1 nog beïnvloed worden door andere lokale bronnen. Daarom wordt eerst vak 2 besproken.

Als er een bijdrage is van de Energieweg, dan is te verwachten, dat het verschil tussen oost en west bij oostelijke wind negatief is en bij westelijke wind positief. In alle perioden is dat voor vak 2 min of meer het geval. Het verschil ligt in de orde van 1 tot 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Er is geen overtuigend verschil te zien tussen de verschillende perioden.

Hetzelfde patroon (negatief bij oostenwind, positief bij westenwind) is ook bij vak 0 zichtbaar. De uitschieter bij 210 graden (ZW) wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een andere lokale bron. Bij deze windrichting staat de wind parallel aan de Energieweg. De verschillen zijn groter dan bij vak 2.

Bij vak 1 is het oost-west patroon vrijwel niet zichtbaar. De negatieve uitschieter bij 120 graden wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een andere lokale bron.