

# Vegetatie voor een betere luchtkwaliteit

Aanvullende metingen met TEOM's  
langs de A50 bij Valburg – Heteren

Rapportnr. DVS-006-2009

Prijsvraag 'Vegetatie voor een betere luchtkwaliteit:  
Meten is weten' Perceel 2

4 maart 2009



Het innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) werkt in opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM aan innovatieve oplossingen die bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit op en rond snelwegen. De focus ligt op snelwegen bij dichtbevolkte gebieden (zgn. "hot spots").





## Inhoudsopgave

---

<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Meetomgeving</b>	<b>3</b>
2.1	Locatie	3
2.2	Vegetatie	3
<b>3.</b>	<b>Meetsystematiek</b>	<b>4</b>
3.1	Meetapparatuur	4
3.2	Meetopstelling	5
3.3	Analysemethode	5
3.4	Verificatie meetapparatuur	6
<b>4.</b>	<b>Meetresultaten</b>	<b>7</b>
4.1	Meetperiode	7
4.2	Wegbijdragen	7
4.3	Onderling vergelijk van de meetapparatuur	7
4.4	Vergelijking meetdoorsneden	11
<b>5.</b>	<b>Conclusies</b>	<b>14</b>

---

# 1. Inleiding

Het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) werkt in opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM aan innovatieve oplossingen die bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit op en rond snelwegen. De focus ligt op snelwegen bij dichtbevolkte gebieden (zogenaamde "hot spots") omdat daar bronbeleid pas op termijn toereikend zal zijn om de luchtkwaliteit wat betreft stikstofdioxide en fijn stof aan de normen te laten voldoen. IPL-maatregelen kunnen vooruitlopend daarop bijdragen aan verbetering.

Het IPL is een consortium onder leiding van de Stadsregio Arnhem Nijmegen zijn woensdag 19 maart 2008 de praktijkproef naar het effect van vegetatie (bomen en struiken) op de luchtkwaliteit langs snelwegen gestart. De proeven worden uitgevoerd op een proeflocatie langs de A50 ter hoogte van Valburg en lopen tot eind 2008. De metingen worden door de Universiteit Wageningen uitgevoerd met behulp van Dusttrak-meetapparatuur. Deze apparaten hebben een onnauwkeurigheid die in het meetgebied relevant is, met name door het driften van de apparatuur in de tijd. Om deze redenen is het wenselijk gebleken om aanvullend aan deze metingen TEOM-meetinstrumenten (Tapered Element Oscillating Microbalance) te gebruiken, zodat de Dusttraks "geijkt" kunnen worden met de TEOM's. De TEOM's worden ook in de IPL-proeftuin "schermen" langs de A28 gebruikt. Uit ervaring blijkt dat het onderlinge verschil tussen de TEOM's beperkt is en ze dus geschikt zijn om kleinere effecten op de luchtkwaliteit vast te kunnen stellen.

Het IPL heeft M+P - raadgevende ingenieurs opdracht gegeven om de metingen met de TEOM-meetinstrumenten uit te voeren en beknopt te analyseren. De meetdata is daarnaast aan de Universiteit Wageningen (WUR) opgeleverd om in de brede analyse van de totaalmetingen mee te nemen. In dit rapport worden alleen de meetresultaten van de metingen met de TEOM's gepresenteerd.

---

## 2. Meetomgeving

### 2.1 Locatie

De proeflocatie voor de praktijkproef naar het effect van vegetatie (bomen en struiken) op de luchtkwaliteit is gelegen langs de A50 ten noorden van het knooppunt Valburg. In figuur 1 is de locatie van de proeflocatie weergegeven.



figuur 1

Locatie van de proeflocatie langs de A50

Er is voor deze locatie gekozen, omdat het een drukke weg betreft waar geen gebouwen, water of bestaand groen in de buurt zijn, waardoor de metingen verstoord kunnen worden. Ook de ligging ten opzicht van de heersende windrichting (tussen zuidwest en noordwest) is goed.

### 2.2 Vegetatie

Op de proeflocatie zijn twee verschillende soorten vegetatie geplaatst. Er is een gedeelte met loofbomen, en een gedeelte met naaldbomen geplaatst. Hierdoor kan inzicht gekregen worden in het effect van verschillende soorten groen op de luchtkwaliteit. Als referentie wordt ook gemeten aan een (referentie)gedeelte (de nulsituatie) waar geen bomen zijn geplaatst. M+P heeft niet bij de loofbomen gemeten.

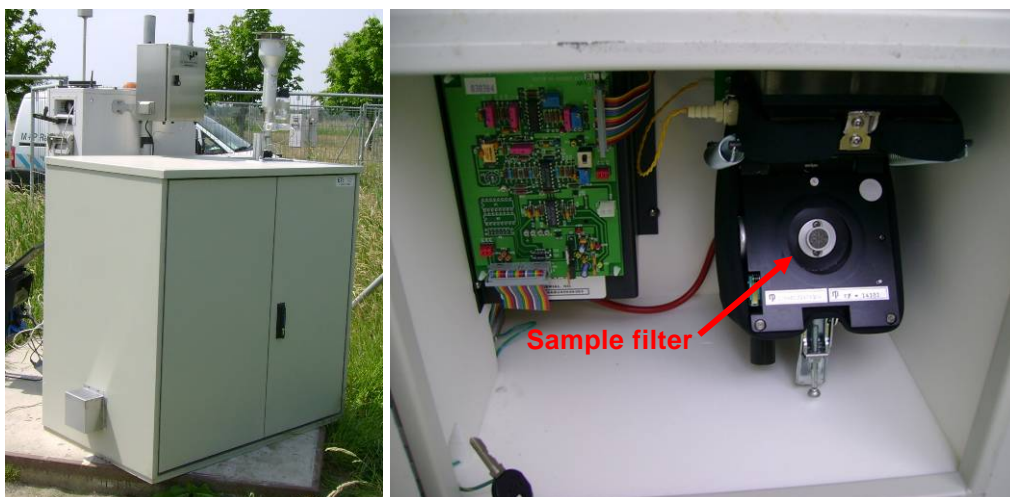
---

## 3. Meetsystematiek

### 3.1 Meetapparatuur

De TEOM werkt op basis van een filter dat is geplaatst op een oscillerende microbalans. De aangezogen lucht wordt door dit filter geleid en het fijnstof verzameld zich op het filter. Door de massatoename van het filter verandert de eigenfrequentie van de microbalans. De massatoename van het filter wordt bepaald door het meten van de frequentieverandering van de microbalans. Het actieve flowcontrol systeem zorgt ervoor dat de flow steeds wordt aangepast op basis van de gemeten luchttemperatuur en luchtdruk. Door de toepassing van een PM<sub>10</sub>-kop op de inlaat van de TEOM is het mogelijk om de PM<sub>10</sub> concentratie in de lucht te meten. de TEOM wordt gezien als één van de nauwkeurigste continue instrumenten om PM<sub>10</sub> te meten.

In figuur 2 is een foto van een TEOM weergegeven en een foto van het samplefilter waarop het fijnstof wordt verzameld.

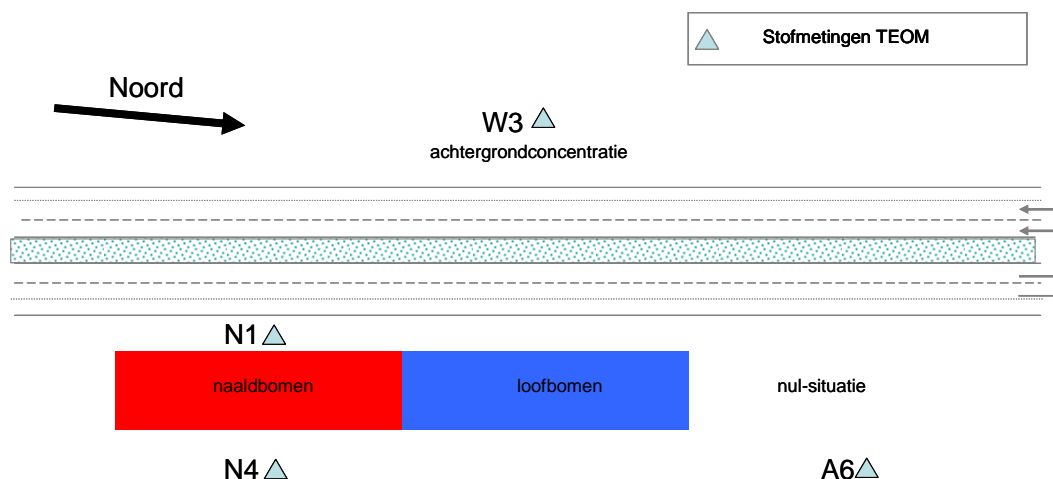


figuur 2 TEOM-omkasting en sample-filter (rechts)

Alle TEOM's zijn uitgerust met een GPRS-modem. De data wordt door middel van dat modem verstuurd naar een externe database. Verder zijn alle TEOM's uitgerust met een intern geheugen waarop de data wordt opgeslagen. Bij storingen in het GPRS-netwerk gaat de data van de TEOM dus niet verloren, maar kan de data handmatig uitgelezen worden en worden toegevoegd aan de database. De TEOM's hebben gedurende ruim twee maanden gemeten.

## 3.2 Meetopstelling

De TEOM's zijn geplaatst in de bestaande meetopstelling van de praktijkproef naar het effect van vegetatie (bomen en struiken) op de luchtkwaliteit langs snelwegen, op de door de WUR voorgeschreven meetpunten. In figuur 3 is een schematisch overzicht gegeven van de meetpunten. Hierin is met een blauw driehoekje aangegeven op welke meetpunten een TEOM is geplaatst. Bedacht moet worden dat de afstand van de meetinstrumenten tot de weg niet allemaal gelijk zijn en dat ook de inlaathoogte van de meetinstrumenten niet gelijk zijn. De meetpunten W3, N4 en A6 staan in een lager gelegen weiland, terwijl N1 direct naast de geleiderail staat, op gelijke hoogte met de wegverharding.



figuur 3

Schematisch overzicht meetpunten.

## 3.3 Analysemethode

### 3.3.1. Meetdoorsneden en effect bepaling

Er zijn twee meetdoorsneden gedefinieerd. De meest noordelijkste doorsnede ter hoogte van de vegetatie, en de zuidelijke doorsnede ter hoogte van de nulsituatie. De gemeten concentraties  $PM_{10}$  op meetpunt N4 en A6 worden vergeleken om het verschil tussen de doorsneden te bepalen. Het verschil tussen de doorsneden wordt vertaald naar het 'effect' van het vegetatiescherm.

Het gevonden effect is het resultaat van de gehele configuratie op deze doorsnede. Zowel het aandeel van bijvoorbeeld het scherm als 'stromingsobstakel', als de mogelijke depositie in het groen maken deel uit van het totale effect.

### 3.3.2. Wegbijdrages

Met behulp van het achtergrondpunt (W3) worden wegbijdrages berekend. Op basis van de wegbijdrages kan ook het verschil tussen de doorsneden op de wegbijdragen PM<sub>10</sub> worden bepaald.

De wegbijdrages worden berekend door het verschil te bepalen tussen de gemeten concentraties op de meetpunten aan de oost en west kant van de A50 bij westenwind (circa 200-320° ten opzichte van noord). Winddata is verkregen uit het archief van weeronline.nl waarbij per dagdeel een gemiddelde windrichting wordt gegeven.

### 3.3.3. Regressiemethode

Er is gebruik gemaakt van orthogonale regressie, waarbij nagegaan is of de regressielijn van de dataset door nul gaat, dan wel of de regressielijn y-as op een andere plaats doorsneden wordt (het intercept). Wanneer het intercept kleiner is dan twee keer zijn standaarddeviatie, wordt het intercept als niet significant beschouwt. In dat geval wordt de regressielijn door nul gedwongen. Wanneer het intercept significant is, kan de regressielijn niet door nul gedwongen worden omdat niet duidelijk is wat de oorzaak hiervan is. In dat geval wordt het gemiddelde van de door nul gedwongen regressielijn en de niet door nul gedwongen regressielijn gepresenteerd, inclusief de "omhullende" onzekerheid van die twee richtingscoëfficiënten.

## 3.4 Verificatie meetapparatuur

Voor het onderzoek is inzicht in eventuele systematische verschillen tussen de instrumenten zeer relevant, daarom is na installatie een verificatie uitgevoerd van de meetsensor en heeft de apparatuur ook een aantal dagen naast elkaar gestaan (zie volgende paragraaf). Bij deze verificatie wordt de "massa-kalibratie" geverifieerd door met behulp van een ijkgewichtje de massa te laten bepalen. Middels deze methode (gebruik makend van hetzelfde ijkgewicht) kan inzicht gekregen worden in de mogelijke kleine systematische verschillen tussen de meetsensoren van de instrumenten.

In tabel 1 zijn de resultaten van de verificatie weergegeven. De verificatie is uitgevoerd op 12 november 2008 en er is gebruik gemaakt van een ijkgewichtje met een massa van 0,11231 gram.

Tabel 1

Resultaten van de verificatie van de TEOM's

meetpunt	TEOM serienummer	audit k <sub>0</sub> [-]	actual k <sub>0</sub> [-]	afwijking [%]
W3	0643	10520	10289	2,24
N1	0642	11986	11507	4,16
N4	0640	11459	11215	2,18
A6	0641	12285	12096	1,57

Conform de specificaties mag de afwijking niet groter zijn dan 3%. Met uitzondering van N1 voldoen de TEOM's aan deze specificatie. Na afloop van de meetsessie zal meetinstrument N1 gecontroleerd worden. Op basis van deze verificatieresultaten zijn geen correcties op de meetdata uitgevoerd.

---

## 4. Meetresultaten

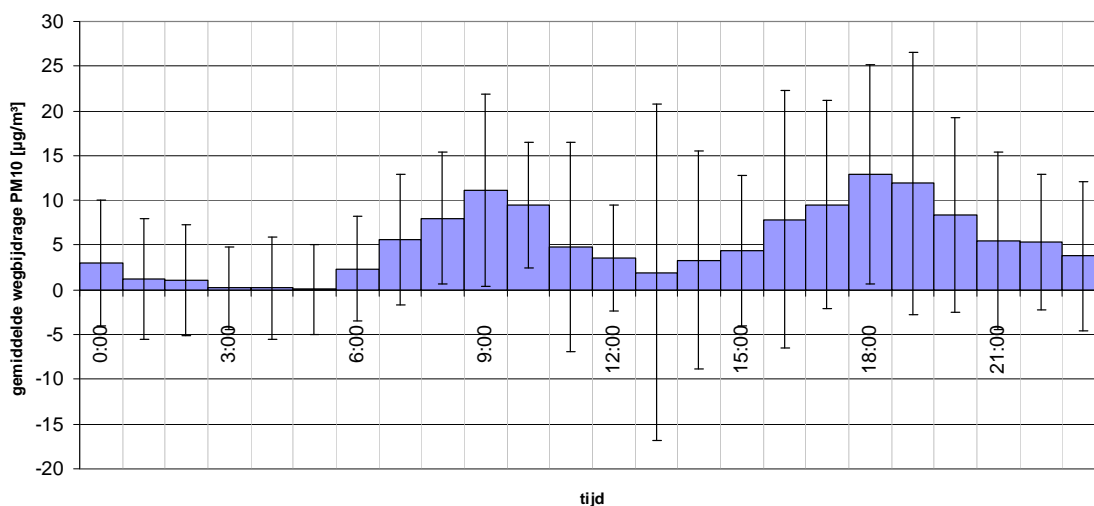
### 4.1 Meetperiode

Er is gemeten in de periode september december 2009. Aan het begin van de meetperiode hebben de TEOM apparaten een aantal dagen bij elkaar gestaan alvorens ze op de meetpunten zijn geplaatst. Er zijn circa 700 bruikbare uurwaarden geregistreerd bij westenwind waarvan de wegbijdrage is bepaald.

### 4.2 Wegbijdragen

Om een indruk te geven van de wegbijdrage aan PM<sub>10</sub> gedurende de dag wordt het verloop van de concentraties over de dag bepaald.

In figuur 4 is de gemiddelde wegbijdrage weergegeven. Deze wegbijdrage is per "uur" gemiddeld over alle werkdagen op basis van de uren met westelijke windrichting. De weergegeven onzekerheid betreft een schatting van het 95%-onzekerheidsinterval. In deze figuur is duidelijk het effect van de "spits" waar te nemen. De maximale bijdrage van de weg (voor een uurwaarde) is circa 10 µg/m<sup>3</sup>. Bedacht moet worden dat dit een onderschatting is ten opzichte van de referentiemethode, omdat de TEOM de inlaat verwarmd tot 50° C.



figuur 4 Gemiddelde wegbijdrage voor een werkdag gemeten op meetpunt N1, westelijke wind

### 4.3 Onderling vergelijk van de meetapparatuur

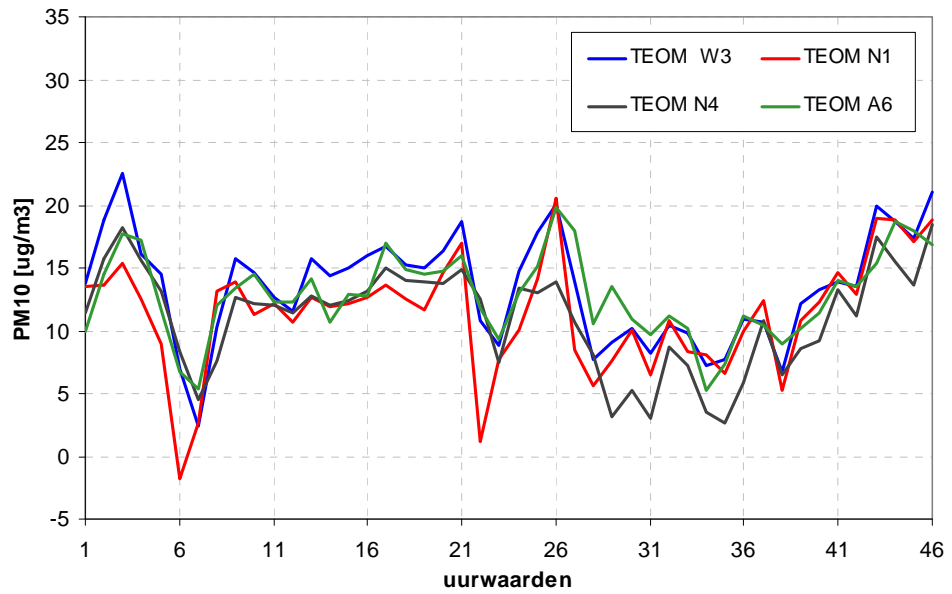
Behalve de uitgevoerde verificatie zijn voor aanvang van de metingen de TEOM's een aantal dagen bij elkaar geplaatst op één meetpunt om de apparaten van M+P (TEOM's) en de WUR (Dusttraks) onderling met elkaar te kunnen vergelijken. In figuur 5 is een foto weergegeven van de meetopstelling voor de onderlinge vergelijking van de meetapparatuur.



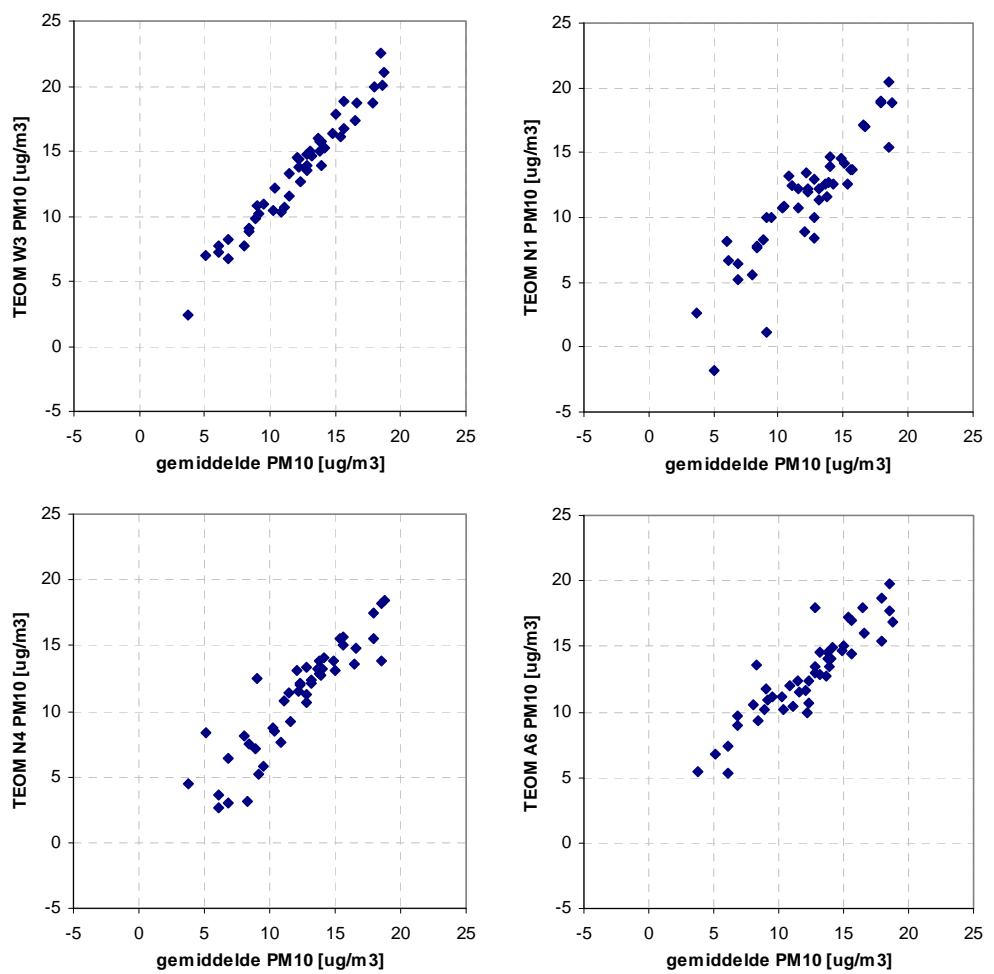
*figuur 5*      *Opstelling voor de onderlinge vergelijking van de TEOM's*

In figuur 6 is de (ruwe) data weergegeven van de vier TEOM's in de periode dat deze bij elkaar stonden. De eerste 24 uur is niet in de figuur opgenomen, omdat de apparatuur dan nog op temperatuur moet komen en onvoldoende stabiel is.

Door de uurwaarden van de afzonderlijke vier TEOM's te vergelijken met het gemiddelde, zijn met behulp van een regressieanalyse, de onderlinge verschillen tussen de TEOM's vast te stellen. In figuur 7 zijn scatterplots weergegeven waarin de uurwaarden van TEOM's zijn uitgezet tegen het gemiddelde van deze vier TEOM's.



figuur 6 Ruwe data van de vergelijkingsmeting van de TEOM's



figuur 7 Scatterplots onderlinge vergelijking van de TEOM's

In tabel 2 zijn de resultaten van de regressie-analyse weergegeven.

Tabel 2 Resultaten regressie-analyse van de uurwaarden van TEOM's ten opzichte van de gemiddelde uurwaarden, U = standaard deviatie

meet-punt	TEOM serie-nummer	orthogonale regressie	U (RC)	U (intercept)	orthogonale regressie intercept = 0	U (RC)
W3	0643	$y = 1,15x - 0,57$	0,04	0,45	$y = 1,11x$	0,01
N1	0642	$y = 1,23x - 3,61$	0,08	1,03	$y = 0,96x$	0,02
N4	0640	$y = 1,10x - 2,29$	0,07	0,88	$y = 0,92x$	0,02
A6	0641	$y = 0,89x + 2,01$	0,06	0,73	$y = 1,04x$	0,02

Het toepassen van de in hoofdstuk 3.3 beschreven analysemethode levert onderstaande resultaten op.

Tabel 3 Uiteindelijke resultaten regressie-analyse van de uurwaarden van TEOM's ten opzichte van de gemiddelde uurwaarden

meet-punt	TEOM serienummer	regressie	U (RC)
W3	0643	$y = 1,11x$	0,01
N1	0642	$y = 1,15x$	0,12
N4	0640	$y = 1,06x$	0,09
A6	0641	$y = 0,93x$	0,08

Op basis van deze gegevens zouden er systematische verschillen kunnen zijn tussen de meetinstrumenten. Bedenk echter dat de onzekerheid in deze regressieresultaten (door het beperkt aantal metingen) groot is. Als rekening gehouden wordt met een 95%-onzekerheidsmarge (twee keer de standaarddeviatie U) dan zijn de gepresenteerde verschillen niet significant. In de analyse van de meetdata zijn daarom geen correcties doorgevoerd op de "ruwe" meetdata.

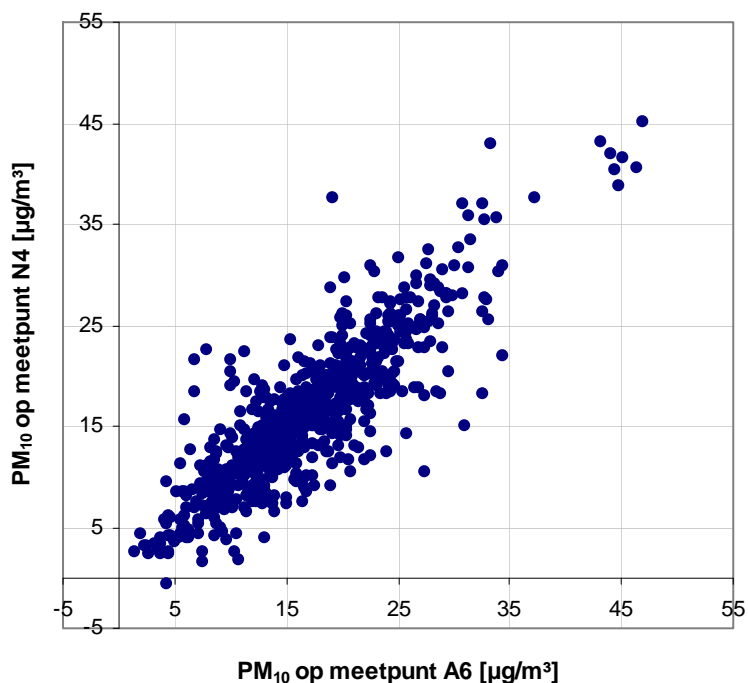
Na afloop van de metingen zijn de instrumenten getransporteerd naar het kantoor van M+P in Vught, waar ze opnieuw naast elkaar geplaatst zijn om een onderlinge vergelijking te doen. Uit deze vergelijking is gebleken dat de TEOMS die op N1 en A6 stonden, vrijwel identieke meerwaarden opleverden, terwijl de TEOM op meetpunt N4 een lekkage vertoonde en daardoor significant lagere waarden opleverde. De TEOM die op T1 stond leverde daarentegen circa 20% hogere waarden. Het is onduidelijk in hoeverre deze verschillen zich ook in de "bomentuin" hebben voorgedaan, omdat de TEOMS eerst gedemonteerd zijn, daarna getransporteerd en vervolgens weer opgebouwd.

De meetdata is daarom niet gecorrigeerd met de resultaten van deze vergelijking, maar in de eindconclusie is wel aangegeven wat het meewegen van deze gegevens voor effect zou hebben op de eindconclusies.

## 4.4 Vergelijking meetdoorsneden

### 4.4.1. Verschillen tussen de meetdoorsneden op totale PM<sub>10</sub>-concentratie

Allereerst is gekeken naar het effect op de totale concentratie, dus inclusief de achtergrondconcentratie, alles bij westenwind. In figuur 8 is een scatterplot weergegeven waarin de PM<sub>10</sub>-concentratie op de referentielocatie (A6) en PM<sub>10</sub>-concentratie achter de naaldbomen (N4) tegen elkaar zijn uitgezet. De richtingscoëfficiënt van de regressielijn is een maat voor het verschil tussen de concentraties op A6 en N4.



figuur 8 Effect van de geplaatste naaldbomen op de PM<sub>10</sub>-concentratie

In tabel 4 is het resultaat van de regressie-analyse weergegeven. Het resultaat na toepassing van de analysemethode zoals beschreven in hoofdstuk 3.3 is in tabel 5 weergegeven.

Tabel 4 Resultaten regressie-analyse van PM10-concentratie van meetpunt A6 en N4

	resultaat	u(RC)	u(intercept)
orthogonale regressie	$y = 1,01x - 0,98$	0,02	0,34
orthogonale regressie gedwongen door nul	$y = 0,96x$	0,01	-

Tabel 5

Resultaten regressie-analyse van  $PM_{10}$ -concentratie van meetpunt A6 en N4

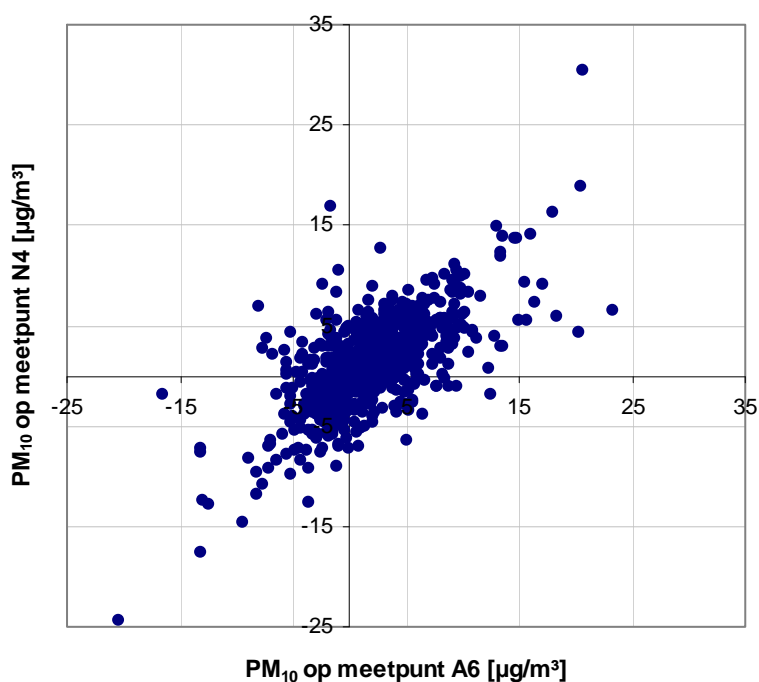
orthogonale regressie	U(RC)
$y = 1,00x$	0,03

Uit deze analyse blijkt dat de totale concentratie op de doorsnede met de vegetatie niet significant verschilt van de niet door vegetatie afschermdede doorsnede.

#### 4.4.2. Verschillen tussen de meetdoorsneden op de wegbijdragen $PM_{10}$

Vervolgens is nagegaan wat het effect is als de analyse gebaseerd wordt op "wegbijdragen". Om de "wegbijdrage" te bepalen worden de concentraties op N4 en A6 verminderd met de achtergrondconcentratie op W3. In figuur 9 is een scatterplot weergegeven waarin de wegbijdrage op de referentielocatie (A6) en de wegbijdrage achter de naaldbomen (N4) tegen elkaar zijn uitgezet.

Uit de figuur blijkt dat er ook negatieve wegbijdragen voorkomen. Dit is deels te verklaren uit het feit dat de afstanden van de meetpunten aan weerszijden van de weg en de meethoogten niet gelijk zijn. Daarnaast moet rekening gehouden worden met het feit dat de analyse gedaan wordt met behulp van relatief onnauwkeurige "winddata". De belangrijkste factor is waarschijnlijk een systematische overschatting van de TEOM-resultaten op W3.



figuur 9

Effect van de geplaatste naaldbomen op de wegbijdrage  $PM_{10}$ 

In tabel 6 is het resultaat van de regressie-analyse weergegeven. Het resultaat na toepassing van de analysemethode zoals beschreven in hoofdstuk 3.3 is in tabel 7 weergegeven.

Tabel 6 Resultaten regressie-analyse van wegbijdragen van meetpunt A6 en N4

	resultaat	u(RC)	u(intercept)
orthogonale regressie	$y = 0,92x - 0,60$	0,03	0,13
orthogonale regressie gedwongen door nul	$y = 0,87x$	0,02	-

Tabel 7 Resultaten regressie-analyse van PM10-concentratie van meetpunt A6 en N4

orthogonale regressie	U(RC)
$y = 0,90x$	0,04

Uit de regressie-analyse blijkt dat de gemeten wegbijdrage op meetpunt N4 10% +/-8% lager is dan op meetpunt A6.

---

## 5. Conclusies

Het IPL heeft M+P - raadgevende ingenieurs opdracht gegeven om aanvullend aan het onderzoek van de WUR, PM-metingen te doen met TEOM-meetinstrumenten. Het betreft metingen aan het effect van vegetatie (naaldbomen) op de PM-concentratie langs autosnelwegen.

De analyses van de metingen zijn gedaan met relatief grove meteogegevens. Daarnaast kan niet uitgesloten worden dat er systematische verschillen tussen de meetinstrumenten zijn. In de resultaten van deze analyses is niet gecorrigeerd voor deze effecten. Het meewegen van de eventuele systematische verschillen zou het gevonden (positieve) effect van de vegetatie reduceren.

Uit de analyse kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Als gekeken wordt naar de totale PM<sub>10</sub>-concentratie bij westenwind achter de vegetatie en in de doorsnede zonder vegetatie, dan blijkt dat de concentraties op de meetposities in deze doorsneden niet significant van elkaar verschillen.
- Als gekeken wordt naar de "wegbijdragen" dan blijkt dat de concentratie PM<sub>10</sub> achter de vegetatie circa 10% lager is dan op de niet afgeschermdede doorsnede. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval bedraagt ± 8%.

Op basis van deze metingen lijkt het er op dat het effect van de vegetatie maximaal circa 10% is. Vanuit deze metingen is niet aan te geven waardoor dit effect gerealiseerd wordt. Dit kan zowel het resultaat zijn van het scherm als 'stromingsobstakel' als mogelijke depositie in het groen.