

Wetenschapswinkel  
**Biologie**

# Fietsers en verkeersuitstoot

Elias den Breejen



**Universiteit Utrecht**

# **Fietsers en verkeersuitstoot**

*Verkenning van de blootstelling van fietsers aan fijn en ultrafijn stof*

**Elias den Breejen**

*Wetenschapswinkel Biologie, Universiteit Utrecht*

*Sectie Milieuwetenschappen, Universiteit Utrecht*

*Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Universiteit Utrecht*

**Augustus 2006**

P-UB-2006-02

Wetenschapswinkels slaan een brug tussen maatschappij en wetenschap. Verbonden aan de universiteit geven zij advies en doen onderzoek.

### Colofon

Rapportnummer	P-UB-2006-02
ISBN	90-5209-154-4
Prijs	€ 10,-
Verschenen	augustus 2006
Druk	eerste
Titel	<b>Fietsers en verkeersuitstoot</b> Verkenning van de blootstelling van fietsers aan fijn en ultrafijn stof
Auteur	E. den Breejen
Begeleider	dr. S.C. Dekker, Sectie Milieuwetenschappen, Universiteit Utrecht drs. S.A.H. van Roosbroeck, Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Universiteit Utrecht
Projectcoördinator	ir. M.L. Zitzen, Wetenschapswinkel Biologie, Universiteit Utrecht
Opdrachtgever	Fietsersbond, Utrecht
Reproductie	Document Diensten Centrum Uithof
Uitgever	Wetenschapswinkel Biologie, Universiteit Utrecht Padualaan 8, 3584 CH Utrecht. tel. 030-253 7363 <a href="http://www.bio.uu.nl/wetenschapswinkel">www.bio.uu.nl/wetenschapswinkel</a>
Copyright	Het is niet toegestaan (gedeelten van) deze uitgave te vermenigvuldigen door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook. Overname van gedeelten van de tekst, mits met bronvermelding, is wel toegestaan. Toezending van een bewijsexemplaar wordt zeer op prijs gesteld.

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b>	<b>5</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Achtergrond onderzoek	9
1.2 De Fietsbalans	9
1.3 De opdracht	10
1.4 Onderzoeksvragen	11
<b>2 Lokale luchtvervuiling</b>	<b>12</b>
2.1 Verschillende stoffen	12
2.2 Fijn stof: massa versus aantal deeltjes	12
2.3 Samenstelling en bronnen	14
2.4 Gezondheidseffecten UFP en PM <sub>2,5</sub>	16
2.5 Weersinvloeden op fijn stof	16
<b>3 Onderzoek en meetmethode</b>	<b>18</b>
3.1 IJking van de apparatuur en gevoeligheid van de meetmethode	19
3.2 Gevoeligheid van de metingen	21
3.3 Bijzondere metingen	23
<b>4 Resultaten</b>	<b>26</b>
4.1 Betrouwbaarheid en gevoeligheid meetmethode	26
4.2 Testmetingen voor de Fietsbalans	30
4.3 Bijzondere metingen	37

<b>5</b>	<b>Discussie</b>	<b>41</b>
	5.1 De ijking van de apparatuur en gevoeligheid van de meetmethode	41
	5.2 Testmetingen voor de Fietsbalans	43
	5.3 Bijzondere metingen	46
	5.4 Toepassing in Fietsbalans	47
	5.5 Gebruik resultaten	48
	5.6 Vervolgonderzoek	49
<b>6</b>	<b>Conclusie</b>	<b>51</b>
	6.1 De hoofdvragen	51
	6.2 De conclusies	51
	6.3 Aanbevelingen voor de Fietsbalans	52
	<b>Woordenlijst</b>	<b>54</b>
	<b>Literatuurlijst</b>	<b>55</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>60</b>
	Bijlage 1 Testtrajecten	60
	Bijlage 2 Gezondheidseffecten PM <sub>2,5</sub> en UFP	68
	Bijlage 3 Specificaties CPC TSI 3007	71
	Bijlage 4 Specificaties massameter TSI DustTrak	74
	Bijlage 5 Specificaties inlaatsysteem	75
	Bijlage 6 Gebruikte data	76
	Bijlage 7 Extra tips / ervaren problemen	79
	Bijlage 8 Opvallende metingen	80
	Bijlage 9 Top 40 van meest vervuilende voertuigen	82
	Bijlage 10 Verkenning vergelijking metingen Fietsbalans	84
	Bijlage 11 Afwegingstabellen aan te schaffen apparatuur	86

## **Voorwoord**

Dit verslag is de afsluiting van mijn studententijd, die vijf jaar heeft geduurd. Het begon in 2001 met relativiteitstheorie bij Natuurkunde. Een jaar later raakte ik wat uitgekeken op de diepgaande theorieën en om meer bij de maatschappelijke problemen betrokken te raken verhuisde ik naar Milieu-natuurwetenschappen. Hoewel luchtvervuiling (ofwel 'processen in milieucompartimenten 2', zoals dat toen heette) best een interessant vak was, heb ik een tijd lang niet naar dit onderwerp omgekeken. Een tijd lang zocht ik m'n plekje tussen ecologie en hydrologie, totdat ik door de fiets weer bij luchtvervuiling ben teruggekomen.

De afgelopen maanden waren hard werken, maar ontzettend interessant en plezierig. Bij deze wil ik een aantal mensen bedanken die mij hebben geholpen dit werk voor elkaar te krijgen:

- Sofie Van Roosbroeck, die altijd bereikbaar was voor vragen en die een aantal versies erg helder en bruikbaar becommentarieerd heeft.
- Frank Borgman, die me op een aantal punten de goede richting op stuurde, wanneer het wat moeizamer verliep.
- Jaap Kamminga, die heeft geassisteerd bij de vele proefmetingen.
- De Fietsersbond, voor het beschikbaar stellen van faciliteiten en een plezierige en collegiale werkomgeving.
- Het thuisfront, waar men er soepel mee omging als ik weer eens later op de avond thuis kwam. Vol verwachting werd iedere keer gehoopt of ik weer een tekst had die moest worden nagekeken.
- Stefan Dekker, die met een kritische blik het werk heeft bekeken en een aantal goede suggesties voor verbeteringen heeft gegeven.
- De Wetenschapswinkel Biologie en in het bijzonder Marc Zitzen. Dankzij hen heb ik deze kans verkregen. Ook voor het af en toe controleren van de voortgang.
- Rob Sijffers en Kees Meliefste, voor hun adviezen over de gebruikte apparatuur.

Behalve een afsluiting maakt dit verslag ook deel uit van de opening voor de nieuwe Fietsbalans. Ik wens de Fietsersbond succes bij het verrichten van de metingen in diverse gemeenten en wacht de resultaten met belangstelling af.

Elias den Breejen  
Augustus 2006, Utrecht



# Samenvatting

## Fijn stof meten in de Fietsbalans

De Fietsbalans is een project van de Fietsersbond waarin het fietsklimaat in gemeenten wordt onderzocht en beoordeeld. Vanaf 2000 is in 125 gemeenten de fietsbalans opgemaakt. In 2006 begint de Fietsersbond met een nieuwe ronde van het project waarbij nu ook de luchtkwaliteit wordt onderzocht. In dit onderzoek werd verkend op welke wijze een betrouwbaar onderzoek naar de gemeentelijke luchtkwaliteit in de Fietsbalans kan worden geïntegreerd en hoe ingewonnen gegevens kunnen worden geïnterpreteerd.

Besloten is de luchtkwaliteit te onderzoeken door fijn stof te meten tijdens het praktijkonderzoek naar de kwaliteit van de (fiets)infrastructuur. Dat betekent dat gedurende een middag 12 tot 16 routes per fiets en per auto worden afgelegd. In totaal wordt tussen de 40 en 50 kilometer afgelegd in het gebied tot 2,5 kilometer rond het centrum van de betreffende stad, van woningen naar belangrijke (fiets)bestemmingen en vice versa. Het onderzoek naar de kwaliteit van de (fiets)infrastructuur wordt uitgevoerd met een speciale meetfiets en een meetauto. Beide zijn uitgerust met apparatuur voor het meten van fijn stof. Belangrijke eisen aan de apparatuur zijn draagbaarheid en de mogelijkheid om iedere seconde meetwaarden op te slaan. Dit komt ongeveer overeen met een meting per 5 meter afgelegde weg. Na vergelijkend onderzoek onder diverse meetapparaten is gekozen voor twee apparaten: voor de TSI 3007, een draagbare deeltjesteller (CPC) die met name de concentraties ultrafijn stof (UFP: deeltjes van tussen de 0,01 en 1 micrometer) in de lucht registreert en voor de TSI DustTrak, een massameter die het gewicht van deeltjes van 2,5 micrometer en kleiner ( $PM_{2,5}$ ) meet. De meetopstelling is op de fiets en in de auto gelijk.

Onderzocht is welke factoren invloed hebben op de meetwaarden en op welke wijze de factoren die de betrouwbaarheid van de meting negatief beïnvloeden kunnen worden gecontroleerd. Daarnaast is onderzocht in hoeverre de blootstelling aan het fijn stof dat afkomstig is van lokale bronnen (met name het gemotoriseerd verkeer) kan worden gemeten met de gekozen apparatuur.

## Betrouwbare metingen

De belangrijkste factor die invloed heeft op de meetwaarden is het weer. Onder invloed van temperatuur, windsnelheid en windrichting kan de hoogte van de achtergrondconcentraties verschillen, hetgeen de meetwaarden beïnvloedt. Dit effect is voor ultrafijn stof beperkt tot enkele tientallen procenten (rond de 30-35%), maar kan voor  $PM_{2,5}$ <sup>1</sup> oplopen tot een factor 8 á 9. Besloten is om niet tijdens regen te meten omdat dan geen betrouwbare metingen kunnen worden gedaan.

---

<sup>1</sup> Voor de metingen van ultrafijn stof bestaat wellicht de mogelijkheid om met behulp van de vaste meetpunten in Nederland (ultrafijn stof in Amsterdam en  $NO_x$  bij het landelijk meetnet van het RIVM) te corrigeren voor weersomstandigheden zodat de blootstelling van fietsers aan ultrafijn stof tussen gemeenten objectief kan worden vergeleken. Deze mogelijkheid moet echter nog nader worden onderzocht.



Daarnaast zijn er effecten geconstateerd van bijvoorbeeld de inlaatslangen en de ventilatiestand van de auto. Uit het onderzoek blijkt dat door de omstandigheden gelijk te houden voor alle metingen, de methode van meting betrouwbaar is.

### **Resultaat van de metingen**

Ultrafijn stof (UFP) blijkt een zeer geschikte stof om in de Fietsbalans te meten. Bij metingen onder gelijke weersomstandigheden zijn met de fiets op verschillende trajecten grote verschillen gemeten die samenhangen met de intensiteit en samenstelling van het gemotoriseerde verkeer. De gevoeligheid voor de nabijheid van lokale bronnen, met name het gemotoriseerd verkeer, sluit goed aan bij het verkeerskundige karakter van de Fietsbalans. Effecten van weginrichting en verkeerscirculatie zijn daardoor direct meetbaar. Hoge piekwaarden voor ultrafijn stof worden vooral veroorzaakt door bijzondere voertuigen (zoals bouwkransen, vuilnisauto's, enzovoort), fileverkeer, vrachtauto's, bedrijfsbusjes en brom- en snorfietsen<sup>2</sup>.

Ook in de meetauto is met de ultra-fijn-stof-meting heel direct de vervuiling van het gemotoriseerd verkeer gemeten. Automobilisten zitten bij de korte verplaatsingen binnen de stad echter relatief lang achter een beperkt aantal voertuigen. Vooral de emissies van deze 'toevallige' voertuigen bepalen de hoogte van de gemeten concentraties.

Het meten van PM<sub>2,5</sub> is minder geschikt voor integratie in de Fietsbalans. Achtergrondconcentraties (afkomstig van niet lokale bronnen) en weersinvloeden zijn van grote invloed op de meetwaarden en de metingen op verschillende dagen in verschillende gemeenten zijn daardoor niet goed vergelijkbaar. Ook tonen gemeten concentraties PM<sub>2,5</sub> mede daardoor weinig variatie bij verschillen in intensiteiten en samenstelling van het verkeer. Daardoor is de blootstelling ook minder eenvoudig door beleidsmaatregelen te beïnvloeden.

### **Gezondheid**

Blootstelling aan fijn stof heeft negatieve gezondheidseffecten. Volgens het RIVM veroorzaakt kortdurende blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> jaarlijks 1700 tot 3000 doden en langdurige blootstelling jaarlijks 10.000 tot 15.000 doden. Andere gezondheidseffecten die in verband zijn gebracht met de blootstelling aan fijn stof zijn een toename in spoedopnames in ziekenhuis voor hart- en luchtwegaandoeningen, luchtwegklachten en functiestoornissen.

Op basis van de metingen in het kader van de Fietsbalans is het lastig om uitspraken te doen met betrekking tot de gezondheidseffecten van lokale luchtvervuiling. Gedurende de reistijd ondervindt een fietser, zeker na een ademhalingscorrectie vanwege de geleverde inspanning, bijna altijd een hogere blootstelling aan ultrafijn stof en PM<sub>2,5</sub> dan een automobilist. Deze blootstelling van fietsers kan worden beïnvloed door de routekeuze<sup>3</sup>. Een lagere blootstelling zal een positief effect hebben op de gezondheid. De blootstelling kan echter niet naar individuele gezondheidsschade worden vertaald. Bovendien zouden in een dergelijke berekening ook de positieve gezondheidseffecten door de lichaamsbeweging van de fietser moeten worden meegenomen<sup>4</sup>.

---

<sup>2</sup> Daarbij moet worden aangetekend dat bijna alle testmetingen in Utrecht zijn verricht. In Utrecht rijden bijvoorbeeld veel bussen op gas, wat een relatief schone vorm van verbranding is die weinig uitstoot van (ultra) fijn stof oplevert.

<sup>3</sup> Bijvoorbeeld door autoluwe fietsroutes maar ook door kortere wachttijden voor fietsers bij verkeerslichten.

<sup>4</sup> Hoewel deze berekening nooit op wetenschappelijk verantwoorde wijze is gemaakt, zeggen diverse experts ervan overtuigd te zijn dat de gezondheidswinst voor de fietser door de beweging altijd opweegt tegen de gezondheidsschade door de hogere blootstelling aan fijn stof ten opzichte van een automobilist. Onder andere prof. dr. ir. Bert Brunekreef in diverse GPD-kranten van 7 juni 2006.

## Hoofdstuk 1

# Inleiding

### 1.1 Achtergrond onderzoek

Per jaar sterven in Nederland 18.000 mensen vroegtijdig aan luchtvervuiling [RIVM, 2002]. Normen worden niet gehaald en satellietmetingen laten zien dat Nederland één van de meest vervuilde gebieden is van West-Europa wat NO<sub>x</sub> betreft. Bovendien spelen vergrijzing -en mogelijk ook andere demografische ontwikkelingen- een rol bij dit gezondheidsvraagstuk: het aantal gevoelige mensen, vooral ouderen, neemt toe, wat de toestand nog zorgwekkender maakt [RIVM, 2002].

Het verkeer is een belangrijke bron van luchtvervuiling. 55% van het fijn stof dat in Nederland wordt uitgestoten is afkomstig van verkeer [RIVM, 2002]. Ondanks diverse maatregelen, zoals roetfilters en snelheidsbeperkingen, zal de afname van uitstoot door het verkeer relatief klein zijn. Het effect van technische maatregelen wordt grotendeels teniet gedaan door de toenemende omvang van het verkeer. Tussen 1992 en 2003 groeide het aantal auto's met ongeveer 150.000 per jaar naar 6,9 miljoen [CBS, 2006]. De uitstoot van en blootstelling aan diverse stoffen blijft daardoor ondanks de emissiebeperkende maatregelen groot.

Eén van de manieren om de uitstoot van fijn stof te verminderen is het vervangen van autoritten door fietsritten. Hoe minder auto's er in een stad rijden, des te minder uitstoot van luchtvervuiling, des te schoner de lucht in deze stad. De fiets is dus een mogelijkheid om de lokale luchtkwaliteit te verbeteren. Maar levert deze ontwikkeling ook gezondheidswinst op? Waar automobilisten door de filtering van lucht in hun auto enigszins worden beschermd tegen luchtvervuiling, zijn voetgangers en fietsers geheel blootgesteld aan de uitstoot van motorvoertuigen. Een aantal studies [Kaur et al., 2005; Gulliver and Briggs, 2003; Rank et al., 2001] hebben de blootstelling vergeleken tussen fietsers en automobilisten. De resultaten zijn wisselend en hangen onder andere af van gereden trajecten en het type auto.

De Fietsersbond stimuleert fietsgebruik. Zij pleit ervoor dat fietsers zo min mogelijk worden blootgesteld aan luchtvervuiling. Eén van de manieren om de luchtkwaliteit en fietsen tegelijk onder de aandacht te brengen is het meten van luchtvervuiling in de Fietsbalans.

### 1.2 De Fietsbalans

De Fietsbalans is een groot vergelijkend onderzoek van de Fietsersbond naar het 'fietsklimaat' in Nederlandse gemeenten. Doel van de Fietsbalans is het stimuleren van gemeenten tot een beter fietsbeleid. Van 2000 tot 2004 heeft de eerste ronde van dit project plaatsgevonden, waarbij 130 gemeenten zijn getoetst op hun 'fietsklimaat'. Dit 'fietsklimaat' is gebaseerd op 10 criteria, waaronder de verkeersveiligheid, de tevredenheid van fietsers, de kwaliteit van het wegdek enzovoort.. Hierbij is gebruik gemaakt van bestaand bronnenmateriaal, enquêtes voor het publiek en beleidsmakers, en een praktijkmeting. Deze praktijkmeting is gedaan met behulp van

een speciaal ontwikkelde meetfiets waarmee een rit van 30 tot 40 km, bestaande uit 12 tot 16 trajecten, wordt gemaakt door de betreffende gemeente. De trajecten zijn samengesteld volgens een vast protocol en worden zowel per fiets als per auto gereden. Men gaat van een bestemming naar een woning en van een woning naar een bestemming via de voor dit voertuig meest logische (snelste) route. Deze routes hoeven niet hetzelfde te zijn. Fietsers kunnen gebruik maken van wegen waar auto's niet zijn toegestaan (éénrichtingverkeer of verkeersluwe stadscentra) of fysiek niet kunnen komen (smalle wegen en voetveren). Auto's kunnen echter gebruik maken van wegen waar geen fietsers zijn toegestaan.

Tijdens de Fietsbalans is het belangrijk een normaal verkeersbeeld te hebben. Zo zijn de verschillende metingen onderling beter vergelijkbaar. Daarom worden bij metingen de volgende randvoorwaarden gehanteerd:

- De meetdag is een normale werkdag. Dit betekent dat er alleen wordt gemeten op maandagen, dinsdagen, woensdagen en donderdagen. Bovendien mag deze meetdag in de betreffende gemeente geen koopavond, schoolvakantie of feestdag zijn.
- Het verkeersbeeld dient niet sterk te variëren per dag. Daarom wordt de ochtendspits vermeden. Het vertrek voor het eerste traject is rond 13.00 uur. Bij iedere bestemming wordt op elkaar gewacht. Tussen 17.30 en 19.00 uur zijn alle trajecten gereden. Voor de avondspits is van invloed of het nog licht is. Daarom wordt alleen in de periode van eind maart tot begin oktober gemeten.
- Het weer moet de meting praktisch mogelijk maken. Windsnelheden boven 10 m/s maken het fietsen lastig. Daarnaast worden geluidsmetingen sterk beïnvloed door een nat wegdek. Dit maakt metingen in de regen ongeschikt.

Vanaf de zomer van 2006 wil de Fietsersbond opnieuw de Fietsbalans uitvoeren. Dit project heet Fietsbalans-2. De Fietsersbond wil niet alleen de aspecten uit de eerste Fietsbalans monitoren, maar nu ook de factor luchtkwaliteit meenemen. Door de blootstelling aan luchtvervuiling te meten brengt de Fietsersbond dit aspect van fietsen meer onder de aandacht. Zo hoopt de Fietsersbond het gemeentelijke verkeersbeleid te beïnvloeden, opdat fietsers door schonere lucht kunnen rijden.

De Fietsbalans beïnvloedt niet alleen het gemeentebestuur, maar geeft ook inzicht in de effecten van verschillend beleid voor fietsverkeer. Effecten van verschillend gemeentelijk beleid worden vergeleken, waarbij goed beleid kan worden overgenomen. Analyses uit de eerste ronde van de Fietsbalans geven inzicht in effectief beleid voor wat betreft verkeersveiligheid (Houten), aanpak van fietsendiefstal (Harderwijk) en doorstroming (Zwolle). Door luchtvervuiling te meten en vergelijken kan dus inzicht worden verkregen bij wat voor beleidsmaatregelen de fietser de minste blootstelling aan luchtvervuiling heeft [Fietsersbond, 2006].

### 1.3 De opdracht

In dit onderzoek werd bekeken hoe de luchtkwaliteit kan worden gemeten in de Fietsbalans-2 en hoe de meetresultaten kunnen worden geïnterpreteerd. Met de resultaten van dit onderzoek dienen drie aspecten van de luchtkwaliteitsmetingen in Fietsbalans-2 verduidelijkt te worden:

- Goede, betrouwbare meting

De Fietsersbond wil een goede, betrouwbare meetmethode verkrijgen. De Fietsersbond wil wat kunnen zeggen over de luchtkwaliteit voor fietsers in de stad waar is gemeten op basis van één middag meten. De Fietsersbond wil de stedelijke luchtkwaliteit met behulp van deze meetresultaten beoordelen voor zover dit mogelijk is.

- Knelpunten analyseren

De Fietserbond wil knelpunten met betrekking tot het fietsbeleid analyseren. De meetresultaten van dit onderzoek en zeker de data die in de Fietsbalans verzameld zullen worden tonen aan waar hoge concentraties van luchtvervuiling te vinden zijn. Dit zijn de plaatsen waar problemen met de luchtkwaliteit te verwachten zijn. Met behulp van de videobeelden op de meetfiets kunnen de oorzaken van de knelpunten worden achterhaald.

- Vergelijking blootstelling tussen fietser en automobilist

Tot slot wil de Fietserbond een vergelijking in blootstelling kunnen maken tussen fietser en automobilist. Veel fietsers hebben het idee dat zij meer uitlaatgassen van het autoverkeer inademen dan de automobilisten. Rank et al. [2001] vonden in Kopenhagen bij fietsers een lagere blootstelling aan benzeen, tolueen, ethyleen en xyleen dan bij automobilisten. Maar Kaur et al. [2005] vonden in Londen voor fietsers een hogere blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> en NO<sub>x</sub> dan voor automobilisten. Aan de hand van gelijktijdige metingen wil de Fietserbond nagaan hoe de situatie anno 2006 in Nederland is.

## **1.4 Onderzoeksvragen**

In dit onderzoek worden vragen beantwoord met betrekking tot de drie zaken die in de vorige paragraaf ter sprake zijn gekomen:

Met betrekking tot het verkrijgen van een goede, betrouwbare meting:

1. Wat zijn de onzekerheden en gevoeligheden van de gebruikte meetapparatuur?
2. Wat voor effect heeft het luchtinlaatsysteem op deze metingen?
3. Wat voor invloed heeft de snelheid van de fietser op de metingen?
4. Wat voor invloed heeft de ventilatiestand in de auto op de metingen?
5. Hoe beïnvloedt het weer de meetresultaten?

Met betrekking tot het analyseren van knelpunten:

6. Wat voor verkeerssituaties zorgen voor hoge pieken in blootstelling?
7. Hoe beïnvloeden toevallige verkeerssituaties de gemiddelde blootstelling?

Met betrekking tot vergelijking en beoordeling van de gegevens:

8. Hoe kunnen de blootstelling van fietser en automobilist met elkaar worden vergeleken?

Met betrekking tot interpretatie van de gegevens:

9. Wat voor gezondheidsschade veroorzaken fijn stof en hieraan gerelateerde stoffen?

### **Leeswijzer**

In het volgende hoofdstuk wordt beschreven wat voor luchtvervuiling gemeten wordt en wat de gezondheidseffecten van luchtvervuiling zijn. Daarna wordt in hoofdstuk 3 de meetmethode uitgelicht om tot een goede meetstrategie te komen. Hoofdstuk 4 toont de resultaten van deze strategie en wat voor gevoeligheden deze strategie heeft. In hoofdstuk 5 wordt dit onderzoek in perspectief met andere onderzoeken geplaatst, waarna in hoofdstuk 6 de conclusies van dit onderzoek staan samengevat.

## Hoofdstuk 2

# Lokale luchtvervuiling

In de Fietsbalans wil men de luchtkwaliteit meten. Er zijn echter veel stoffen die de lucht vervuilen. In dit hoofdstuk zal de term 'luchtkwaliteit' worden geoperationaliseerd. Er wordt een keuze gemaakt welke stoffen in de lucht worden gemeten. Ook de herkomst van deze stoffen en de weersinvloeden op hun concentraties zullen worden beschreven.

### 2.1 Verschillende stoffen

Onder de term luchtvervuiling worden diverse stoffen verstaan. In het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit bijvoorbeeld, dat door het RIVM beheerd wordt, worden ieder uur SO<sub>2</sub>, fijn stof (PM<sub>10</sub>), NH<sub>3</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO en NO<sub>2</sub> gemeten [RIVM, 2006b].

In een vroeg stadium is het onderzoek afgebakend door de metingen op fijn stof te richten. Deze keuze had te maken met aan te schaffen apparatuur. De samenvatting van de afwegingen met betrekking tot deze keuze staat in bijlage 11. Met behulp van een Condensation Particle Counter (CPC) is het aantal deeltjes fijn stof (ultra fine particles, UFP) geteld en met een optische massameter (DustTrak) is de massa fijn stof (PM<sub>2,5</sub>) gemeten. UFP wordt uitgedrukt in deeltjes per kubieke centimeter (#/cm<sup>3</sup>). PM<sub>2,5</sub> wordt uitgedrukt in microgram per kubieke meter (µg/m<sup>3</sup>). Er zijn vier redenen om het onderzoek op deze stoffen te richten:

- Het gemotoriseerde verkeer is één van de belangrijkste bronnen van UFP en PM<sub>2,5</sub>. In paragraaf 2.3 zal deze toeschrijving aan bronnen nader worden behandeld.
- Het is aangetoond dat een verhoogde blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> schadelijk is voor de gezondheid [Dockery et al., 1993; Hoek et al., 2002]. Voor UFP is dit nog niet aangetoond, hoewel van deze emissie een grotere schade per massa-eenheid vermoed wordt. De gezondheidseffecten van UFP en PM<sub>2,5</sub> worden in paragraaf 2.4 beschreven.
- Het is mogelijk om UFP en PM<sub>2,5</sub> mobiel en per seconde te meten. Dit is een randvoorwaarde voor toepassing in de Fietsbalans.
- UFP is sterk gecorreleerd aan NO<sub>x</sub> [Seaton and Dennekamp, 2003; Westerdahl et al., 2005]. Wanneer UFP wordt gemeten kan dus ook iets worden gezegd over de blootstelling aan NO<sub>x</sub>.

### 2.2 Fijn stof: massa versus aantal deeltjes

In dit onderzoek wordt fijn stof gemeten. Dit is een verzamelnaam voor zwevende deeltjes (aerosolen) in de atmosfeer tussen bepaalde groottes. De grootte van de deeltjes varieert van enkele nanometers (10<sup>-9</sup> m) tot enkele micrometers (10<sup>-6</sup> m).

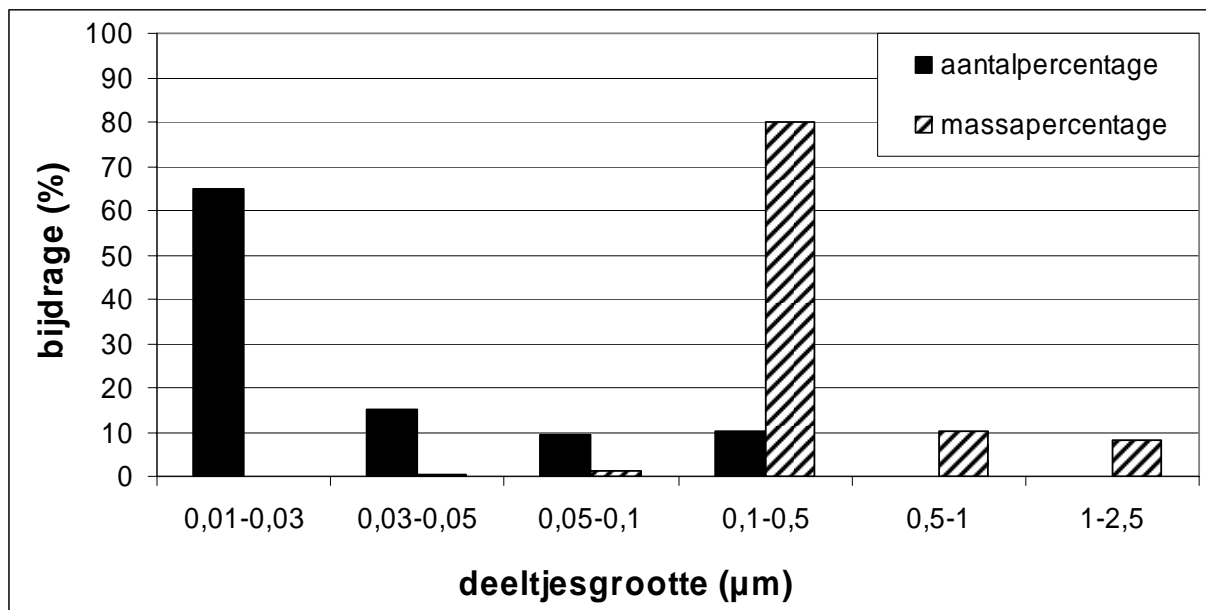
Meestal beperkt men zich door een bepaalde vorm van filtering tot deeltjes van een bepaalde grootte. Hiervan kunnen zowel de massa als het aantal deeltjes worden bepaald. Tussen deze twee eigenschappen is een groot verschil. Het aantal deeltjes wordt vooral door de kleinere, lichtere aerosolen bepaald. Hierbij is van belang dat de grootte van de kleinst meetbare deeltjes wordt vermeld. De massa wordt echter bepaald door de grootste deeltjes in het spectrum. Hierbij moet de grootste diameter van de gemeten deeltjes vermeld worden. De meest gangbare diameters zijn 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) en 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ). Deze bovengrens is niet scherp. Door de manier van filtering is dit niet mogelijk. De grens is gedefinieerd als de aërodynamische diameter met een 50% cut off. Dat wil zeggen dat de helft van de deeltjes met een aërodynamische diameter van 2,5  $\mu\text{m}$  wordt weggefilterd. Grotere deeltjes worden efficiënter weggefilterd, kleinere deeltjes minder efficiënt. Bij 3  $\mu\text{m}$  wordt bijvoorbeeld ongeveer 70% weggefilterd, bij 2  $\mu\text{m}$  nog maar 10% [Maynard and Kenny, 1995].

De meetapparatuur meet dus maar een deel van het fijn stof in de lucht. Sommige deeltjes zijn te groot: pollen, waterdruppels en te grote deeltjes opwaaiend stof en zeezout worden voor de massameting weggefilterd. Het aantal van deze deeltjes is klein en is daarom niet van groot belang voor de meting van UFP. Andere deeltjes, zoals moleculen zijn te klein om te worden gemeten. Een overzicht van verschillende deeltjes staat in Tabel 2.1, aangevuld met de mededeling of deze deeltjes in dit onderzoek worden gemeten door de CPC of de DustTrak [TSI, 2005a en TSI, 2005b].

**Tabel 2.1 Grootte van een aantal type deeltjes in de lucht [data van EPA, 2006]**

<b>Stofdeeltjes</b>	<b>grootte</b>	<b>Gemeten door CPC</b>	<b>Gemeten door DustTrak</b>
<b>Moleculen</b>	<b>&lt;0,004 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Nee, te klein</b>	<b>Nee, te klein</b>
<b>Condensatiekernen</b>	<b>0,005-0,07 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
<b>Verbrandingsproducten</b>	<b>0,08-12 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
<b>Zeezout</b>	<b>0,7-20 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
<b>Opwaaiend stof</b>	<b>0,8-12 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
<b>Pollen</b>	<b>8-80 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Nee, te groot</b>	<b>Nee, te groot</b>
<b>Waterdruppels</b>	<b>&gt;20 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Nee, te groot</b>	<b>Nee, te groot</b>

In tabel 2.1 is te zien dat beide apparaten dezelfde stofdeeltjes meten. De meetresultaten verschillen echter. Voor wat betreft UFP zijn de kleinere deeltjes immers belangrijker en voor  $\text{PM}_{2,5}$  de grotere deeltjes. UFP bestaat daardoor vooral uit condensatiekernen en verbrandingsproducten. Bij  $\text{PM}_{2,5}$  spelen condensatiekernen maar een bescheiden rol, ze zijn immers kleiner dan de verbrandingsproducten. Deze verbrandingsproducten komen voor in het gehele spectrum. Ook zeezout en opwaaiend stof maken deel uit van  $\text{PM}_{2,5}$ . Figuur 2.1 toont het verschil in bijdragen op basis van data van Pitz et al. [2001]. Zij hebben in drie Duitse steden deeltjes gesorteerd op grootte en deze deeltjes zowel geteld als gewogen. De kleinste deeltjes zijn het grootst in aantal, maar wegen erg weinig. Van de grotere deeltjes zijn er minder, maar ze zijn zwaarder.

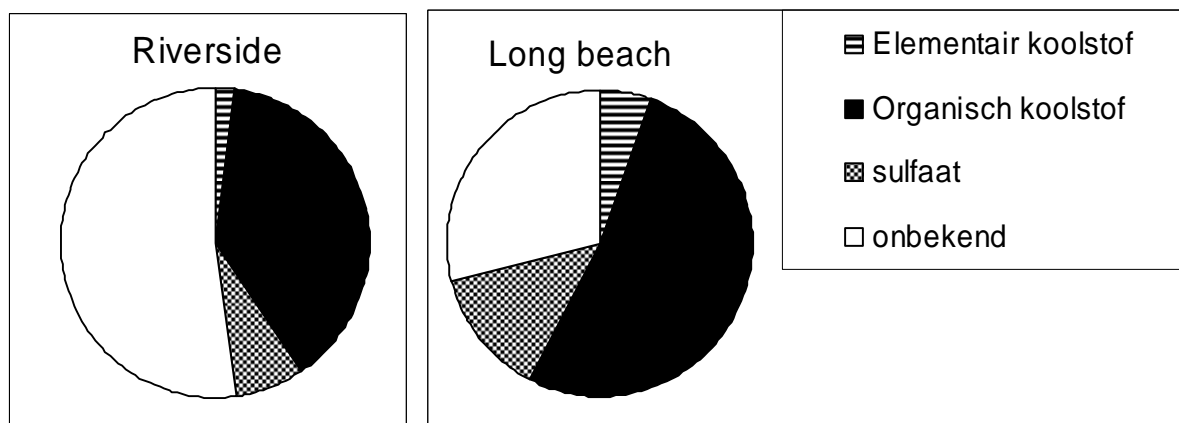


Figuur 2.1 Bijdrage per deeltjesgrootte aan het totale aantal en aan de totale massa (PM<sub>2,5</sub>) [bewerkte data van Pitz et al., 2001]

### 2.3 Samenstelling en bronnen

#### UFP

Naar de samenstelling van UFP is in Nederland nog geen onderzoek gedaan, in een aantal andere landen wel. Sardar et al. [2005] hebben in Californië een chemische analyse uitgevoerd voor UFP (PM<sub>0,18</sub> = <180 nm). Figuur 2.2 toont een aantal van hun resultaten. De figuren tonen hoe de samenstelling varieert tussen een meting in de stad (Long Beach) en een meting in een buitengebied (Riverside).



Figuur 2.2 Chemische samenstelling van PM<sub>0,18</sub> op het platteland (Riverside) en in de stad (Long Beach) [data van Sardar et al., 2005]

Zowel 's zomers als 's winters maten Sardar et al. [2005] op beide locaties rond de 1,5 µg/m<sup>3</sup>. Op basis van een chemische analyse kunnen de bronnen worden achterhaald. Het is namelijk bekend welke stoffen door diverse bronnen worden uitgestoten. Het aandeel koolstof is, zeker in de stad, groot. Zowel bij elementair als organisch koolstof gaat het om verbrandingsproducten. Het motorverkeer is hiervan een belangrijke oorzaak.

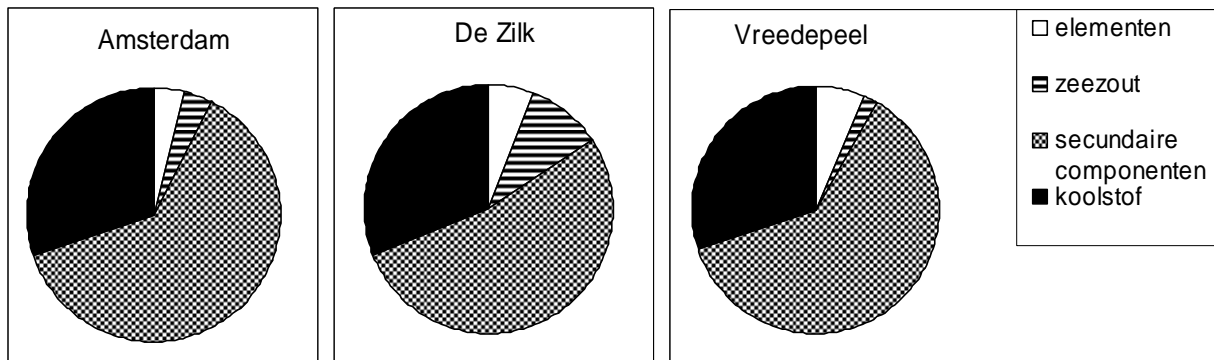
Daarnaast komt een hoeveelheid sulfaat voor. Sulfaat is een belangrijk bestanddeel van condensatiekernen. Dit sulfaat komt vrij tijdens verbrandingsprocessen in verkeer en industrie. Onder invloed van verschillen in temperatuur en dampdruk worden hieruit condensatiekernen gevormd [Sioutas et al., 2005]. Wat betreft de categorie 'overig' geven Sardar et al. [2005] alleen een kwalitatieve beschrijving. Deze categorie bestaat onder andere uit metalen en aan koolstof verbonden atomen, zoals zuurstof en waterstof.

Er is ook een verdere uitsplitsing van het ultrafijne stof gemaakt. Voor de allerkleinste deeltjes (10-18 nm) komen alleen organisch en elementair koolstof boven de detectielimiet [Sardar et al., 2005].

In steden waar verkeersuitstoot nog sterker is vertegenwoordigd zijn een aantal nadere analyses uitgevoerd. Sitzmann et al. [1999] hebben deeltjes nader onderzocht met behulp van elektronmicroscopie en röntgendetectie. Zij hebben op de fiets deeltjes verzameld in het centrum van Londen. Van de 8650 deeltjes tussen 0,2 en 2,5  $\mu\text{m}$  bestond 84,8% hoofdzakelijk uit koolstof. Deze deeltjes kunnen nagenoeg geheel aan verkeersuitstoot worden toegeschreven.

### PM<sub>2,5</sub>

PM<sub>2,5</sub> is de verzamelnaam voor de groep deeltjes kleiner dan 2,5  $\mu\text{m}$ . De oorsprong van deze deeltjes is divers en daardoor ook de samenstelling. Het RIVM [2001] heeft op verschillende plaatsen in Nederland een chemische analyse gedaan van deze groep deeltjes. De samenstelling verschilt per plaats. Figuur 2.3 toont een selectie van drie plaatsen waar is gemeten. De meetlocatie te Amsterdam bevindt zich midden in de stad. De meetlocatie bij De Zilk ligt in de duinen en de meetlocatie bij Vreedepeel ligt in een landbouwgebied.



**Figuur 2.3 Verdeling samenstelling PM<sub>2,5</sub> op 3 plaatsen in elementen, zeezout, secundaire componenten en koolstof [dat avan RIVM, 2001]**

Uit een chemische analyse kunnen de bronnen worden achterhaald. De weergegeven groep 'elementen' bestaat voornamelijk uit Silicium en Aluminium, welke hoofdzakelijk afkomstig zijn van opwaaiend stof. De bron van zeezout spreekt voor zich. Deze twee groepen stoffen hebben natuurlijke bronnen en vormen samen 5 tot 15% van de massa PM<sub>2,5</sub>. De overige 85 tot 95% van PM<sub>2,5</sub> wordt door antropogene bronnen veroorzaakt. Secundaire aerosolen bestaan uit ammoniumzouten, nitraten en sulfaten. Dit zijn deeltjes die uiteindelijk ontstaan uit condensatiekernen. Ze worden ook wel accumulatiekernen genoemd. De bronnen zijn industrie (sulfaten en nitraten), landbouw (ammoniak) en verkeer (nitraten). Koolstof tot slot, betreft weer verbrandingsresten welke hoofdzakelijk ontstaan in de industrie en in het verkeer [RIVM, 2002].



## 2.4 Gezondheidseffecten UFP en PM<sub>2,5</sub>

De belangrijkste reden om UFP en PM<sub>2,5</sub> te meten in de Fietsbalans is de mogelijke gezondheidsschade die beide emissies kunnen veroorzaken. Een kortdurende blootstelling aan hoge concentraties heeft een ander gezondheidseffect dan een langdurende blootstelling aan lagere concentraties. Bij kortdurende blootstelling gaat het om één of enkele dagen met erg hoge concentraties. Op deze 'smogdagen' is het aantal sterfgevallen enkele procenten hoger dan normaal. In het bijzonder hartaanvallen en respiratoire ziekten eisen dan hun tol. Men schat dat in Nederland hierdoor in totaal jaarlijks 1700 tot 3.000 mensen sterven. De levensverkortening is slechts enkele maanden [RIVM, 2002].

Langdurige blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> wordt in verband gebracht met diverse aandoeningen, en grotere schade. Het RIVM [1998] noemt:

- Voortijdige sterfte
- Ziekenhuisopnames
- Afname in longfunctioneren
- Pneumonia
- COPD
- Hart- en vaatziekten

In een aantal cohortstudies zijn de hierboven genoemde effecten gekwantificeerd. Bij dit type onderzoek wordt voor een grote groep (1.000-120.000 individuen) de gemiddelde blootstelling over een aantal jaren geschat aan verschillende vormen van luchtvervuiling. Op basis van een statistische analyse is gezocht naar relaties tussen luchtvervuiling en sterfte of morbiditeit. Dockery et al. [1993] deden als een van de eerste een studie die de effecten kwantificeerde in de vorm van relatieve risico's. Hoek et al. [2002] hebben in Nederland een cohortstudie gedaan, waarbij zij zich specifiek op verkeersgerelateerde luchtvervuiling richtten.

De schade van langdurige blootstelling wordt geschat op een relatief verhoogd risico van enkele procenten. Het RIVM heeft de studie van Hoek et al. [2002] gebruikt om een schatting te maken van de gezondheidseffecten van fijn stof op de Nederlandse bevolking. Zij wijten jaarlijks 10.000 tot 15.000 vroegtijdige sterfgevallen aan fijn stof [RIVM, 2002]. In bijlage 2 wordt verder ingegaan op kwantificering van gezondheidseffecten van fijn stof.

UFP is een deel van PM<sub>2,5</sub>. Hoewel de schadelijkheid van UFP niet met een cohortstudie is aangetoond en ook niet is gekwantificeerd, zijn er wel vermoedens dat deze emissie ernstig schadelijk is omdat het om grote aantallen deeltjes gaat en een relatief groot oppervlak. Het afweersysteem van de mens is niet in staat al deze deeltjes uit het lichaam te verwijderen. Bovendien is het relatief grote oppervlak van de deeltjes een substraat voor allerlei chemische reacties. Hieruit kunnen radicalen ontstaan, die schadelijke gevolgen voor de longcellen kunnen hebben. Maar ook andere reacties kunnen de cellen beschadigen [Donaldson et al., 1998].

## 2.5 Weersinvloeden op fijn stof

### UFP

Het aantal aerosolen wordt vooral door de kleinste deeltjes bepaald. Dit aantal neemt snel af vanwege verdunning en doordat de deeltjes samenklonteren tot grotere deeltjes. Deze samenklontering van deeltjes heet coagulatie. De kleinere deeltjes waaruit deze aerosol is opgebouwd zijn nog herkenbaar. Wanneer de deeltjes groot genoeg zijn, verloopt het proces zoals voor PM<sub>2,5</sub>.

Verdunning wordt door de wind bepaald. Hoe harder het waait, des te gemakkelijker verspreidt de UFP zich. Zo maten Noble et al. [2003] de hoogste concentraties UFP bij lage windsnelheden. Bovendien kunnen in steden door gebouwen situaties ontstaan, waarbij het nauwelijks waait en de vervuiling dus blijft hangen [Noble et al., 2003]. In dit geval spreekt men van canyons. Behalve het verdunnen van UFP kan de wind het ook meebrengen. Noble et al. [2003] maten hogere waarden bij zuidwestenwind, omdat in die richting van het meetstation een grote stad lag.

Voor coagulatie spelen wind en temperatuur een rol. Zhang et al. [2004] vermelden dat deeltjes van verkeersuitstoot snel groeien. Deze deeltjes koelen namelijk snel af van motortemperatuur naar buitentemperatuur. Tijdens deze afkoeling condenseren veel gassen op de deeltjes. Dit proces is afhankelijk van de temperatuur, de chemische samenstelling van de deeltjes en de grootte van de deeltjes [Seinfeld en Pandis, 2000].

Verder zijn er omstandigheden waarin gassen, zoals ammoniak en  $\text{NO}_x$  kunnen condenseren, waardoor nieuwe aerosolen ontstaan. Dit zijn de in paragraaf 2.3 genoemde condensatiekernen. Dit proces treedt vaak op bij hogere temperaturen en lagere dampdruk [Sioutas et al., 2005].

### **PM<sub>2,5</sub>**

Het weer heeft invloed op een aantal voor luchtvervuiling relevante processen zoals verspreiding en depositie. De metingen tijdens de Fietsbalans zouden dus vanwege weersomstandigheden per dag kunnen variëren. Deeltjes van 0,5 tot 2  $\mu\text{m}$  blijven gemiddeld ongeveer 5 dagen in de lucht [RIVM, 2002]. In deze tijd kunnen deeltjes ruim 1000 km afleggen. Verspreiding vindt plaats door de wind. Bij oostenwind komt veel fijn stof uit het Ruhrgebied naar Nederland, terwijl bij westenwind de Noordzee het gebied van herkomst is. Daardoor zijn gemiddelde concentraties bij oostenwind hoger dan bij westenwind. Van der Zee et al. [1998] hebben de hoeveelheid en samenstelling van  $\text{PM}_{10}$  per windrichting vergeleken. Zij maten bij oostenwind 3 tot 5 keer hogere concentraties dan bij westenwind. De concentraties van de elementen Silicium, Kalium, Mangaan, IJzer en Koper namen evenredig toe bij oostenwind. Natrium daarentegen was hoger bij zuidwestenwind, wat door de aanwezigheid van zeezout te verklaren is.

Fijn stof verlaat de atmosfeer door neer te slaan op het aardoppervlak. Dit kan gebeuren door neerslag of op basis van de zwaartekracht (droge depositie), waarbij neerslag de meest efficiënte manier is om de lucht van fijn stof te ontdoen [Seinfeld en Pandis, 1998]. Dit proces wordt natte depositie of uitwassing genoemd.

Bij droge depositie dient de lucht stabiel te zijn. De meest geschikte omstandigheden daarvoor zijn weinig wind en geen fel zonlicht. Fel zonlicht zorgt namelijk voor een warm aardoppervlak, waarboven veel turbulentie ontstaat. Bij veel wind is het bovendien mogelijk dat het stof weer opwaait. Dit proces is afhankelijk van de snelheid, richting en variatie van de wind. Snel verkeer kan hierin ook bijdragen. Neerslag vermindert de kans dat deze condities ontstaan en is ook op deze manier gunstig voor een schonere lucht [Charron en Harrison, 2005].

## **Tussenconclusie**

In dit hoofdstuk is aangetoond dat  $\text{PM}_{2,5}$  en UFP geschikte variabelen zijn om in de Fietsbalans te meten. Ze worden voor een aanzienlijk deel door het motorverkeer veroorzaakt en veroorzaken gezondheidsschade. Hoe  $\text{PM}_{2,5}$  en UFP worden gemeten en hoe invloeden van het weer worden vermeden wordt in het volgende hoofdstuk behandeld.

## Hoofdstuk 3

# Meetmethode en onderzoeksopzet

In het vorige hoofdstuk is uitgelegd dat in dit onderzoek deeltjes fijn stof gewogen worden ( $PM_{2,5}$ ) en geteld (ultrafijn stof, UFP). In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe de betrouwbaarheid, gevoeligheid en nauwkeurigheid van deze metingen is getest. Eerst zal de meetapparatuur worden beschreven. Daarna zal in paragraaf 3.1 worden verteld hoe de gevoeligheid en betrouwbaarheid van de meetopstelling zijn getest. Vervolgens zal in paragraaf 3.2 worden beschreven welke tests zijn gedaan om trajecten in praktijk te vergelijken. Tot slot beschrijft paragraaf 3.3 een aantal extra onderzoeken. Deze zijn uitgevoerd om een inschatting te maken van de invloeden van bijzonderheden op en langs de gereden routes. Alle tests zijn in Utrecht uitgevoerd. Verwijzingen naar straten betreffen plekken in Utrecht.

### De apparatuur

Met de apparatuur werd afzonderlijk  $PM_{2,5}$  en UFP gemeten. De apparatuur om deze stoffen te meten moet voldoen aan een aantal randvoorwaarden:

- De meetapparatuur is voldoende gevoelig en betrouwbaar. Gemeten waarden moeten onder invloed van verkeer veranderen en de metingen van de apparaten onderling moeten sterk correleren.
- De instrumenten kunnen gemakkelijk op de meetfiets worden vervoerd en mogen dus niet te groot of te zwaar zijn.
- Ook een te sterke gevoeligheid voor trillingen maakt een meetapparaat ongeschikt.
- Data moeten op de seconde kunnen worden opgeslagen. Dit maakt het mogelijk data te combineren met andere aspecten die in de Fietsbalans worden gemeten, zoals GPS-coördinaten, weginrichting en geluid.

Voor het meten van UFP is een deeltjesteller (CPC) gebruikt. Het meest geschikte apparaat voor dit onderzoek is het type TSI 3007. Deze telt deeltjes tussen 0,01 en 1  $\mu m$ . Voor het bepalen van de concentratie  $PM_{2,5}$  is een massameter nodig. In dit onderzoek is gekozen voor het type TSI DustTrak, voorzien van het juiste filter. Specificaties over beide apparaten staan in bijlagen 3 en 4. In bijlage 7 staat een aantal tips bij aangetroffen of mogelijke problemen met de apparatuur. Van beide apparaten zijn 2 stuks aangeschaft: één voor op de fiets en één voor in de auto. Het ene apparaat zal altijd in de auto meten en het andere op de fiets. Om beide apparaten uit elkaar te kunnen houden zijn ze gelabeld. De CPC en DustTrak die in de auto meten worden omschreven als apparaat 'auto'. De apparaten die op de fiets meten, worden omschreven als apparaat 'fiets'.

Om de metingen uit te kunnen voeren, was het nodig een luchtinlaatsysteem te gebruiken. Dit inlaatsysteem is zowel in de auto als op de fiets toegepast, zodat effecten van dit inlaatsysteem bij fietser en auto gelijk zijn. Het systeem bestaat uit een luchtkokertje dat met slangen aan de meetapparatuur is verbonden. De fietser draagt het meetsysteem in een rugzak. Het luchtkokertje wordt op de linkerschouder geplaatst. Bij de automobilist is de apparatuur achter op de stoel gemonteerd en het luchtkokertje rechts aan de stoel. Deze opstelling is te zien in figuren 3.1a en 3.1b. Specificaties van het luchtinlaatsysteem staan in bijlage 5.



**Figuur 3.1a en 3.1b** De meetuitrusting voor fietser (a) en automobilist (b) bestaat uit een massameter (TSI DustTrak, bovenste apparaat) en een deeltjesteller (TSI 3007, onderste apparaat)

### 3.1 IJking van de apparatuur en gevoeligheid van de meetmethode

Alvorens het onderzoek te starten werd eerst de apparatuur getest middels een ijkingprocedure. Eerst zijn zowel de CPC's als de DustTraks aan elkaar geijkt (subparagraaf 3.1.1), daarna is het effect van het inlaatsysteem onderzocht (subparagraaf 3.1.2).

Vervolgens is gekeken naar de gevolgen van een aantal keuzes die werden gemaakt met betrekking tot de meetmethode die wordt gehanteerd in de Fietsbalans. Zo werd onderzocht wat het effect is wanneer met een andere fietssnelheid wordt gereden, de rol van de positionering van het luchtinlaatkokertje bekeken (subparagraaf 3.1.3) en de invloed van de ventilatiestand in de auto onderzocht (subparagraaf 3.1.4). De autoventilatiestand is vergeleken met andere ventilatiestanden en met de situatie in de buitenlucht (subparagraaf 3.1.5).

#### 3.1.1 De ijking van de apparatuur

In een ijkingprocedure werd gecontroleerd of beide apparaten bij gelijke concentraties gelijke waarden aangeven. Daartoe werd met beide apparaten tegelijkertijd gemeten, op dezelfde locatie. Tien minuten meten leverde voldoende meetgegevens op voor een ijkgrafiek. Om mogelijke plaatsingseffecten te vermijden zijn tijdens iedere meting na 5 minuten de apparaten van plaats verwisseld. De gemeten concentraties van beide apparaten zijn tegen elkaar zijn uitgezet in een grafiek. Aan de hand van de richtingscoëfficiënt van de rechte lijn door de oorsprong en de meetwaarden, kan de gemiddelde verhouding in meetwaarden worden bepaald. Deze behoort idealiter 1,000 te zijn, maar kan een kleine afwijking hebben vanwege toeval en meetonnauwkeurigheden.

Zowel de CPC's als de massameters zijn op deze wijze zonder inlaatsysteem getest op het Westplein. Dit drukke kruispunt is vanwege de variatie aan hoge en lage concentraties UFP en  $PM_{2,5}$  erg geschikt voor deze test. Om de apparatuur te controleren is deze test routinematig maandelijks gedaan voor zowel de CPC's als de massameters.

#### 3.1.2 Effect van inlaatslangen

Seinfeld en Pandis [2000] stellen dat coagulatie bij laminaire stroming versneld verloopt. Omdat dit principe in de inlaatslangen ook van invloed is, zal een aantal deeltjes reeds samengeklonteren voordat ze door de CPC geteld worden. Om de invloed van dit effect te bepalen is een test uitgevoerd. Hoewel het effect vooral relevant is voor UFP, werd ook het effect op de massameting onderzocht. De test is uitgevoerd door met beide apparaten twee keer tegelijk te meten. De eerste keer zijn zowel CPC als DustTrak apparaat 'fiets' van inlaat

voorzien, en vervolgens de beide apparaten 'auto'. Door beide keren de verhouding in meetwaarden te bepalen, kan het rendement worden uitgerekend, ongeacht de onderlinge verschillen tussen de apparaten. Omdat coagulatie niet alleen van luchtstroming afhankelijk is, maar ook van het type deeltjes, is deze test zowel binnenshuis als op het drukke Westplein uitgevoerd. Ook in de auto werd een test gedaan. Daarbij stond de auto geparkeerd in de Balistraat. Gekeken werd of de metingen met inlaatsysteem lager zouden uitvallen dan de metingen zonder inlaatsysteem. Ook is gekeken naar andere effecten van het inlaatsysteem, zoals vertraging en afvlakking.

De inlaatsystemen in de auto en voor de fietser zijn identiek. Verschillen tussen de systemen onderling zijn daarom niet onderzocht.

### **3.1.3 Snelheidseffect fietser**

Nadat de nauwkeurigheid van de apparatuur is onderzocht, is gekeken naar de keuzes die werden gemaakt in verband met de meetmethode zoals de plaatsvind in de Fietsbalans. Tijdens de eerste ronde van de Fietsbalans is een protocol vastgelegd voor wat betreft de snelheid. De fietser rijdt met een kruissnelheid van 18 km/h, maar forceert niet. Wanneer tegen een helling wordt opgereden mag de snelheid dus lager zijn. De automobilist rijdt voor zover mogelijk de plaatselijk geldende maximumsnelheid. Omdat de fietser zich in de buitenlucht bevindt, kan zijn snelheid van invloed zijn. Hoe harder men rijdt, des te meer 'tegenwind' men ondervindt. Door deze luchtstroming kan meer of minder lucht het inlaatsysteem worden ingestuwd, waardoor de meting kan worden beïnvloed.

Het snelheidseffect is onderzocht door eenzelfde route met verschillende snelheden te rijden. De route is telkens tweemaal gereden met de snelheden 12, 15, 18 en 21 km/h. Daarnaast werd de invloed van de stand van het inlaatsysteem onderzocht. Door de inlaat naar onder te richten worden windeffecten vermeden. De effectiviteit van deze maatregel werd geëvalueerd door eenzelfde route tweemaal met 18 km/h te rijden, waarbij eenmaal werd gereden met de inlaat naar voren gericht en eenmaal met de inlaat naar onder gericht. Tijdens alle metingen is langs dezelfde route een referentiemeting gedaan. De gereden route is beschreven in bijlage 1. Op deze route komt weinig motorverkeer. Dit verkeer zou de metingen beïnvloeden, wat niet gewenst is. Tijdens de metingen, die in totaal anderhalf uur duurden, zijn 12 auto's of brommers gepasseerd. Passages van deze voertuigen zijn geëlimineerd door de meetresultaten van de eerstvolgende 15 seconden niet in de verwerking op te nemen. Daarnaast is er vanwege de nabijgelegen snelwegen A2 en A12 een hoge achtergrondconcentratie op het parkoers. Deze hoge achtergrondconcentratie maakt relatieve verschillen gemakkelijker traceerbaar.

### **3.1.4 Ventilatiestand auto**

Hoewel in de Fietsbalans altijd met dezelfde ventilatiestand in dezelfde auto zal worden gereden, is gekeken naar het effect van verschillende ventilatiestanden. Hiervoor zijn twee tests uitgevoerd waarbij eenzelfde route een aantal keer werd gereden met verschillende ventilatiestanden. De volgorde van de verschillende ventilatiestanden is door elkaar heen gebruikt.

De eerste test werd uitgevoerd in Utrecht-West. De route is in bijlage 1 beschreven en bestaat uit een aantal wegen met behoorlijke variatie. Deze route is gereden met de ventilatiestanden 2, 4 (ventilatie vol aan) en stand 0 met het raam op een kiertje. In totaal zijn er 2 x 3 metingen verricht, die ieder circa 15 minuten duurden. Tussen iedere meting werd 2 minuten gewacht met de ventilatiestand in de positie van de volgende meting om zodoende de auto te acclimatiseren aan de te meten ventilatiestand.

Later is een tweede test uitgevoerd bij meer zomerse omstandigheden. In deze test werd het effect van een pollenfliter onderzocht, door de route te rijden in de auto met ventilatiestand 2; eenmaal voorzien van een pollenfilter en eenmaal zonder. Ook is op deze middag de invloed van het open raam onderzocht, door het raam aan beide kanten ca. 10 cm te openen. Bij deze drie ventilatiestanden is de route 4 keer gereden. Voor deze

tweede test is een andere route gekozen. Ook dit parkoers is in bijlage 1 uitgewerkt. Uit eerdere metingen bleek dat de auto waarachter werd gereden behoorlijk van invloed kon zijn. Daarom bestaat de route die werd gekozen voor de tweede test uit rustigere wegen met minder doorgaande wegen. Bovendien is het pollenfilter in een garage verwijderd en opnieuw aangebracht. Vanwege de reistijd naar deze garage mocht de route hier niet te ver vandaan zijn. Beide metingen zijn samengevat in tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Overzicht verrichte metingen naar de invloed van de ventilatie

Ventilatiestand	Aantal ritten	Routennummer
Stand 2	2	1
Stand 0 (uit) en raam open (kier)	2	1
Stand 4	2	1
Stand 2	4	2
Stand 0 (uit) en raam open (10cm)	4	2
Stand 2 (zonder pollenfilter)	4	2

### 3.1.5 Verhouding binnen - buiten

Het verband tussen de concentraties UFP en PM<sub>2,5</sub> in de auto en buiten de auto is onderzocht door op beide plaatsen tegelijkertijd te meten. Terwijl de auto langs de weg is geparkeerd met de motor uit, is de ventilatie aangebleven in stand 2. Na het sluiten van het portier is een minuut gewacht om het effect hiervan teniet te doen. Daarna is per meting 5 minuten gemeten. Bij iedere meting stond apparaat 'auto' in de auto en apparaat 'fiets' op het dak. De invloed van fel zonlicht op de massameter is beperkt door het apparaat met uitzondering van de inlaat met een karton te bedekken. Andere mogelijke factoren van invloed zijn buiten beschouwing gelaten. De test is op zes plaatsen langs de weg, variërend in drukte, uitgevoerd. Tabel 3.2 geeft hier een overzicht van. Ook in bijlage 1 staan de locaties op de kaart ingetekend.

**Tabel 3.2** Overzicht van de meetlocaties waar de verhouding in concentraties UFP en PM<sub>2,5</sub> binnen en buiten de auto is onderzocht

Plaats	Verkeersbeeld
Balistraat	Rustig
Den Hommel	Heel rustig
Graadt van Roggeweg	Erg druk, geparkeerd op ventweg
Haydnlaan	Druk, dicht op de rijbaan
Kanaalstraat	Druk, dicht op de rijbaan
Riouwstraat	Rustig

## 3.2 Gevoeligheid van de metingen

Nadat de gevoeligheid van de meetapparatuur is onderzocht, werd gekeken hoe betrouwbaar de metingen zijn wanneer zij volgens de procedures van de Fietsbalans worden uitgevoerd. Omdat luchtkwaliteitsmetingen in de Fietsbalans tweede ronde voor het eerst onderdeel uitmaken van de fietsklimaatbeoordeling dient het meetprotocol te worden uitgebreid. Dit onderzoek dient deels als voorzet voor het meetprotocol. Voorlopig bestaat het protocol uit de volgende regels:

- Bij de fietser hangt het inlaatsysteem verticaal aan de linkerschouder; bij de auto is het inlaatsysteem rechts aan de stoel gemonteerd.

- Een meting begint wanneer wordt vertrokken van de ene plaats en eindigt wanneer het eigen voertuig aankomt op de plaats van bestemming. Uitzondering vormen parkeergarages en andere plaatsen met minder parkeerplek. Hierop wordt in hoofdstuk 5 teruggekomen, maar dit is voor dit onderzoek verder niet relevant.
- De auto heeft de ramen dicht, de verwarming uit en de ventilatie in stand 2 (doorventilatie).

De betrouwbaarheid van de meetmethode is geëvalueerd door vier trajecten 13 keer te rijden volgens dit protocol. De trajecten zijn dus zowel met de auto als met de fiets gereden. De trajecten zijn verplaatsingen met een vergelijkbare lengte als in de Fietsbalans. Wat betreft de verwachte blootstelling zijn vier trajecten gekozen met elk eigen karakteristieken. De vier trajecten zijn geselecteerd op twee evaluatiepunten:

- Of de auto en fiets dezelfde route kunnen nemen.
- Of de verwachte blootstelling van de fietser op de route hoog is of laag.

Daarnaast zijn er enkele minder belangrijke, praktische criteria in acht genomen bij het samenstellen van de trajecten. Zo zijn bestemmingen gekozen waar men gemakkelijk kan parkeren. Ook sluiten de bestemmingen precies op elkaar aan, waardoor een kort beginstuk of eindstuk van een route minder representatief is dan de rest van de route.

Traject 1 start bij het kantoor van de Fietzersbond in de Balistraat en eindigt bij het Uytdehaageplantsoen in Oog in Al. De fietser neemt de Leidseweg en gaat hierbij over een brug waar geen auto's overheen kunnen. Deze route is voor auto's niet mogelijk. De fietser komt daardoor niet veel motorvoertuigen tegen en zijn blootstelling aan UFP en PM<sub>2,5</sub> is daarom laag. De auto neemt een omweg via de Graadt van Roggeweg. Dit is een drukke invalsweg. Daardoor zal zijn blootstelling hoger zijn.

Op traject 2 rijden fiets en auto over dezelfde drukke wegen terug naar de Balistraat. Beide zullen hier een hoge blootstelling aan UFP en PM<sub>2,5</sub> hebben.

Traject 3 gaat van het hoofdkantoor van de Fietzersbond naar het zwembad aan de andere kant van de stad. De fietser neemt een route dwars door de binnenstad. Hoewel een aantal van deze wegen is afgesloten voor auto's, rijden hier veel bussen. Daardoor zal de blootstelling van de fietser hoog zijn. De automobilist rijdt om de binnenstad heen. Dit zijn drukke wegen. Daarom zal ook zijn blootstelling hoog zijn.

Traject 4 is voor beide mobilisten gelijk en vertrekt bij het zwembad. Beide gaan over dezelfde rustige weg. Er is voor auto's een sneller alternatief, zodat alleen bestemmingsverkeer van deze weg gebruik maakt. De blootstelling van zowel fietser als automobilist zal daardoor relatief laag zijn. Enige punt van mogelijke verstoring is snelweg A27. De route voor fiets en auto gaat onder de snelweg door. De gevolgen van luchtvervuiling door deze weg worden beperkt door geluidsschermen.

De routes zijn in beide richtingen gereden. Voor sommige routes is in verband met éénrichtingswegen een blokje omgereden, maar dit betrof korte afstanden met gelijke weginrichting. Tabel 3.3 geeft een samenvattend overzicht van de vier trajecten. In bijlage 1 zijn de exacte routes met kaart beschreven.

Om het verkeersbeeld zo gelijk mogelijk te houden is zo veel mogelijk op dinsdagmiddag gereden. Om de tijd van het onderzoek te beperken en om tijdens de gewenste variaties in het weer te kunnen meten is hier later van afgeweken. Een aantal metingen zijn 's ochtends of op maandagen verricht.

**Tabel 3.3** Overzicht van de trajecten waar de blootstelling van fietser en automobilist aan UFP en PM<sub>2,5</sub> is onderzocht

Trajecten 1 en 3 verschillen voor fiets en auto. De route voor de fiets is hier eerst genoemd.

Traject	Verwachte blootstelling		Traject
	fietser	automobilist	
1	laag	hoog	Balistraat – Oog in Al (via Leidseweg / Graadt van Roggweg)
2	hoog	hoog	Oog in Al – Balistraat (via Vleutenseweg)
3	hoog	hoog	Balistraat – Krommerijn (via binnenstad / Rubenslaan)
4	laag	laag	Krommerijn – Rhijnauwen (via Vossegatsedijk)

Tijdens deze tests is onderzocht wat voor situaties of voertuigen voor hoge of lage concentraties zorgen. De meetresultaten van UFP tonen duidelijke pieken. Tijdens de meeste ritten was de meetfiets voorzien van een camera. Wanneer op of tot enkele seconden voor het tijdstip van deze pieken een potentiële emissiebron op de videobeelden te zien was, is de piek aan deze emissiebron toegeschreven.

Daarna zijn de routes onderzocht op hun gemiddelde blootstelling. Per middag zijn alle routes één of twee keer gereden. Hoewel de weersomstandigheden per meetdag verschilden, is de weersinvloed op alle metingen van de betreffende meetdag gelijk. Het gaat dus om gepaarde metingen. Daarom zijn weersinvloeden voor wat betreft deze vergelijking niet van toepassing.

Behalve de absolute blootstelling van de fietser, is ook de verhouding in blootstelling tussen fietser en automobilist vergeleken. Dit is per rit bepaald, waarbij de ritten tegelijk zijn gereden. Ook hier betreft het dus gepaarde metingen en is er daarom geen weersinvloed op de verhouding in blootstelling tussen fietser en automobilist.

Tot slot is de invloed van het weer is onderzocht, door de resultaten van verschillende meetdagen met elkaar te vergelijken. Hiervoor zijn de meetresultaten van de vier middagen gebruikt, waarbij op alle trajecten twee keer is gemeten. Tabel 3.4 geeft een overzicht van het weer tijdens deze meetdagen in De Bilt [KNMI, 2006].

**Tabel 3.4** Wind en temperatuurgegevens van de 4 meetdagen waarvan de weersinvloeden zijn vergeleken  
Data zijn van weerstation De Bilt [KNMI, 2006].

Dag	Datum	windrichting	Windsnelheid (m/s)	Temperatuur (°C)
1	28 maart	Zuidwest	6,9	13
2	4 april	Noordwest	3,4	9
3	18 april	Westzuidwest	3,1	14
4	24 april	Oost	2	19

### 3.3 Bijzondere metingen

Geen enkele meting is volledig vergelijkbaar met de resultaten in dit onderzoek. Bij gebruik van andere apparatuur zullen afwijkingen ontstaan omdat andere meetapparaten nóg kleinere deeltjes kunnen meten of minder kleine deeltjes kunnen meten. Daarnaast zijn tot nog toe veel wetenschappelijke metingen lopend of met de auto gedaan. Metingen op de fiets zijn beperkt. In het buitenland zijn in een aantal steden in Engeland en Denemarken metingen op de fiets verricht. [Kaur et al. 2005, Gulliver, 2003, Rank, 2001]. Fietsers hebben een andere positie op de weg dan andere weggebruikers. Bovendien verschilt deze positie in Nederland met die van andere landen. Om een schatting te kunnen maken van een aantal bijzonderheden zijn in dit onderzoek een aantal extra metingen gedaan.



Om een duidelijker beeld te krijgen van bepaalde situaties, zijn metingen gedaan op specifieke weggedeelten. In paragraaf 3.3.1 wordt daar op ingegaan. In paragraaf 3.3.2 wordt besproken hoe met enkele metingen een aantal parkeergarages vergeleken zijn om een indicatie te krijgen van de blootstelling die een automobilist hier ondervindt. In het gebied buiten Utrecht is een meting gedaan om de achtergrondconcentratie in te schatten. Deze test is in paragraaf 3.3.3 beschreven. Tot slot wordt in paragraaf 3.3.4 een test beschreven waarbij op een industrieterrein werd rondgereden om de invloed van andere bronnen te onderzoeken.

### 3.3.1 Korte routes

De trajecten uit paragraaf 3.2 hebben hun eigen karakteristieken, maar zijn toch vergelijkbaar met de trajecten in de Fietsbalans. Om meer inzicht te krijgen in het verschil tussen routes met veel motorverkeer en weinig motorverkeer zijn de blootstelling van de fietser aan UFP bepaald op een drukke kruising en in een rustige woonwijk, en met elkaar vergeleken. Beide routes zijn ongeveer 250 m. Tabel 3.5 geeft een korte beschrijving van de gekozen punten.

Tabel 3.5 Beschrijving van de routes die vergeleken zijn op blootstelling aan UFP

Naam	Route	Omschrijving type route
Vleutenseweg	Route 2, gedeelte van zijweg voor Majellapark tot bushalte Spinozaweg	Drukke kruising, waar linksaf wordt geslagen. Hiervoor moet twee keer bij stoplichten worden overgestoken.
Oog in Al	Route 1, van brug over de Rijn tot aankomst Uytdehaageplantsoen	Rustige woonwijk met nauwelijks verkeer. Wel nabijheid van binnenring en snelweg aan de westkant.

### 3.3.2 Parkeergarages

Tijdens een aantal metingen in de Fietsbalans zal in parkeergarages worden geparkeerd. Verkennende metingen toonden hier hoge concentraties. Daarom zijn in vier garages metingen in de auto en in de garage gedaan. Deze garages zijn geselecteerd vanwege hun nabijheid en type ventilatie. Tabel 3.6 geeft een overzicht van de garages waar gemeten is.

Tabel 3.6 Beschrijving van de parkeergarages waar UFP en PM2,5 zowel in de auto als daarbuiten zijn gemeten

Naam garage	Beschrijving
Spoorstraat	Dichte flat in het centrum van Utrecht (naast station). De ingang is aan een rustige weg. In verband met drukte is geparkeerd op de 3 <sup>e</sup> etage.
Vredeburg	Parkeerkelder aan een drukke weg in het centrum van Utrecht.
Paardenveld	Halfopen flat nabij het centrum van Utrecht. De ingang is aan een rustige weg. In verband met drukte is op de 2 <sup>e</sup> etage geparkeerd.
AZU	Volledig open flat buiten Utrecht, nabij snelweg A28. In verband met drukte is geparkeerd op de 3 <sup>e</sup> etage.

### 3.3.3 Regio Utrecht

Alle verkennende metingen zijn in Utrecht verricht. Om een indicatie te geven van de luchtkwaliteitssituaties in kleinere woonkernen is zowel per auto als per fiets een tocht buiten Utrecht gereden. De route van de fietser is gedetailleerd beschreven en uitgewerkt in bijlage 1. De tocht is verdeeld in een aantal trajecten. Per traject is de blootstelling van automobilist en fietser is vergeleken. Deze trajecten hebben hun

kenmerken zoals bebouwing (bebouwde kom of niet, en zo niet wat voor omgeving dan wel), parallelle route (of niet) en drukke of rustige wegen.

### **3.3.4 Industrie**

De gemeten stoffen zijn onder andere geselecteerd omdat het gemotoriseerde verkeer een belangrijke bron is. Andere activiteiten kunnen ook hun invloed hebben. Daarom is een rondrit over een industrieterrein gemaakt. De afgelegde route is terug te vinden in bijlage 1.

Met behulp van de videobeelden op de meetfiets is geanalyseerd wat de oorzaak is van de hoogste meetwaarden voor UFP. Wanneer al deze pieken door verkeer verklaard kunnen worden, wordt aangenomen dat industrie een veel kleinere invloed heeft op de gemeten waarden.  $PM_{2,5}$  verspreidt zich veel meer dan UFP. Daarom is deze methode niet geschikt voor het achterhalen van bronnen voor wat betreft  $PM_{2,5}$ . De invloed van industrie op  $PM_{2,5}$  is niet onderzocht.

## **Tussenconclusie**

In dit hoofdstuk zijn alle metingen uitgelegd. In het volgende hoofdstuk staat de uitkomst van deze metingen. De resultaten zullen per paragraaf overeenkomen met wat in dit hoofdstuk per proef is uitgelegd.

## Hoofdstuk 4

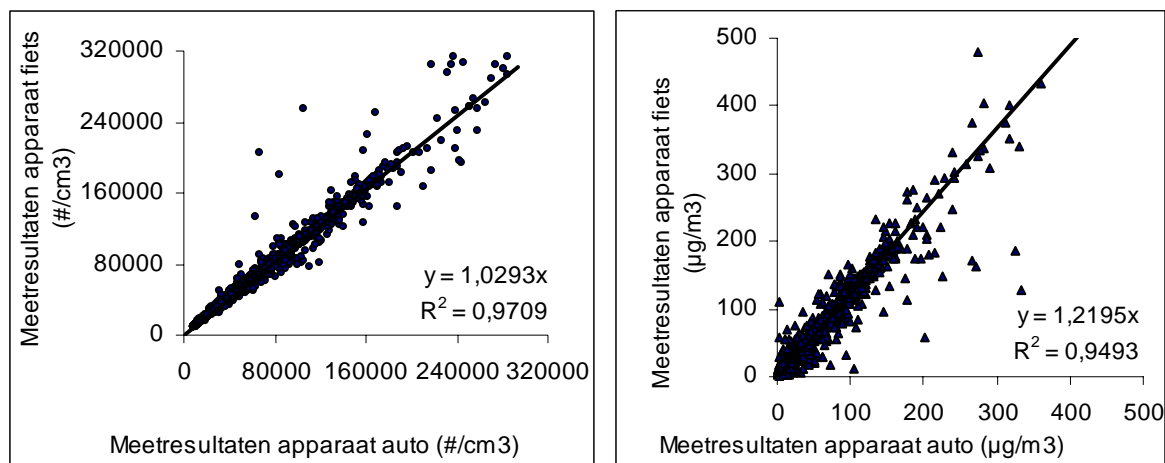
## Resultaten

In het vorige hoofdstuk is de meetopzet besproken. Dit hoofdstuk bevat we de resultaten van de metingen. In paragraaf 4.1 zullen de ijking van de apparatuur en de invloeden op de meetmethode worden beschreven. In paragraaf 4.2 worden de resultaten van de metingen beschreven. De bijzondere aspecten van deze metingen, waarvoor nader onderzoek is verricht, zullen in paragraaf 4.3 worden behandeld.

### 4.1 Betrouwbaarheid en gevoeligheid meetmethode

#### 4.1.1 De ijking van de apparatuur

In figuren 4.1a en 4.1b zijn beide deeltjestellers (CPC's) en beide massameters (DustTraks) tegen elkaar uitgezet. De meetwaarden van apparaat 'fiets' staan langs de verticale as, die van apparaat 'auto' langs de horizontale as. Beide figuren zijn samenvoegingen van data van 5 metingen, van ieder 2 x 5 minuten. In totaal is met beide apparaten ruim 50 minuten lang iedere seconde gemeten. In beide grafieken staan dus ongeveer 50 x 60 = 3000 meetpunten.



Figuren 4.1a en 4.1b Onderlinge verhouding tussen CPC's (a) en tussen massameters (b)

Zoals in hoofdstuk 3 is vermeld zijn de metingen verricht op het Westplein in Utrecht. Op dit drukke verkeersknooppunt zijn erg hoge waarden gemeten wanneer het verkeer voorbij reed. Deze momenten duurden echter kort vergeleken met de pozen daartussen. Tijdens deze tussenpauzes bleken de concentraties luchtvervuiling tamelijk constant te zijn. Voor wat betreft de CPC's liggen deze waarden rond  $25.000 \text{ #/cm}^3$ , voor de DustTrak varieert dit per dag. Bij een meting met oostenwind liggen de waarden rond  $80 \text{ µg/m}^3$ , en bij westenwind rond  $10 \text{ µg/m}^3$ . Veel punten liggen daardoor heel dicht bij elkaar nabij de trendlijn in het domein  $10.000 \text{ #/cm}^3$  –

30.000 #/cm<sup>3</sup> voor de CPC's en 10 µg/m<sup>3</sup> – 80 µg/m<sup>3</sup> voor de DustTraks. Tijdens de verkeersdichte momenten vertoonden de meetwaarden uitschieters, waarbij soms grote variaties per voertuig ontstonden. Deze pieken liggen wat verder van de trendlijn. Hierop wordt in hoofdstuk 5 teruggekomen.

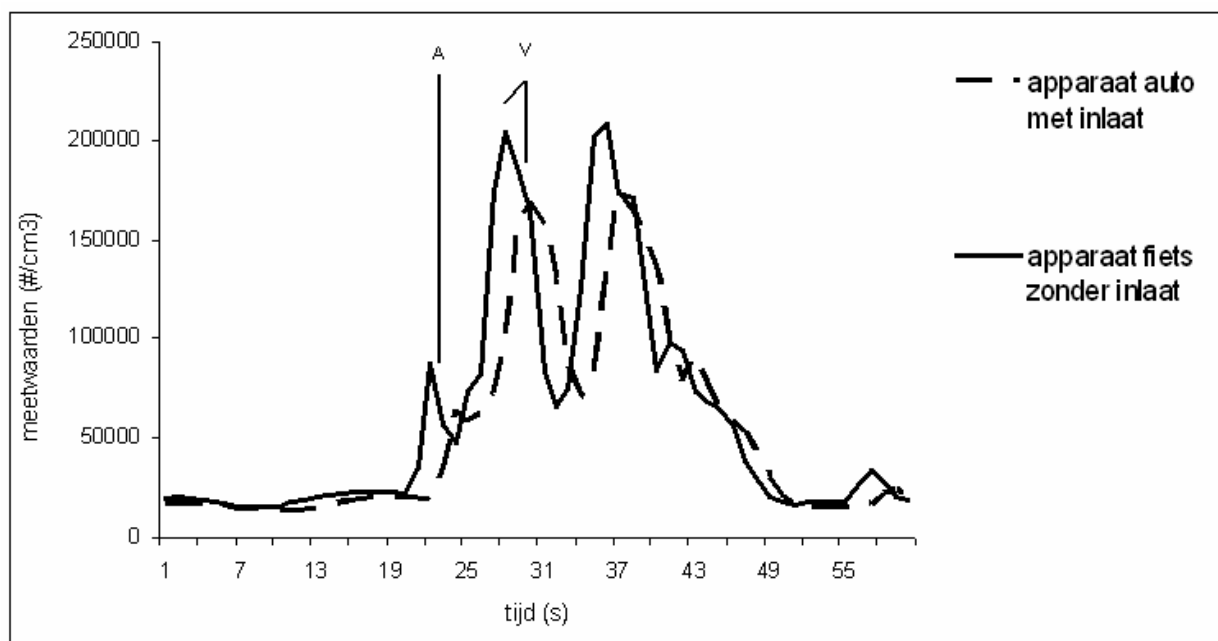
Het verschil in sensitiviteit van de apparaten is bepaald uit de richtingscoëfficiënten van de trendlijnen. De CPC's verhouden zich tot elkaar als 1:1,0293. Dit betekent dat apparaat 'fiets' 1,0293 keer zoveel aangeeft als apparaat 'auto', hetgeen neerkomt op een onderlinge afwijking van ongeveer 3%. De fabrieksgarantie is een afwijking van maximaal 20%. De apparaten vallen dus ruim binnen deze garantie. Daarom is met deze onderlinge afwijking niets gedaan. De DustTraks verhouden zich tot elkaar als 1:1,2195. Apparaat 'fiets' geeft 1,2195 keer zoveel aan als apparaat 'auto'. Dit komt neer op een afwijking van bijna 22%. Vanwege deze stelselmatige meetafwijking zijn de metingen van dit onderzoek gecorrigeerd door de meetwaarden van DustTrak 'auto' te vermenigvuldigen met 1,22.

#### 4.1.2 Effect van inlaatslangen

Het rendement van de inlaatslangen is een aantal keer getest voor zowel UFP als PM<sub>2,5</sub>. Tabel 4.1 geeft een overzicht van het aantal metingen (n) en de resultaten van die metingen. Bij UFP zijn de metingen mét inlaatsysteem 85% tot 90% lager dan de metingen zonder inlaatsysteem. Voor PM<sub>2,5</sub> daarentegen is het rendement ongeveer 99%. Het maakt voor deze metingen dus nauwelijks uit dat er met het inlaatsysteem wordt gemeten.

Tabel 4.1 Overzicht rendement inlaatslangen op drie locaties voor zowel UFP als PM<sub>2,5</sub>

Stof	Plaats	n	Gemeten rendement
UFP	Binnen	5	85,1% ± 2,5%
UFP	Westplein	2	87,9% ± 1,9%
UFP	Auto	2	89,1% ± 3,6%
PM <sub>2,5</sub>	Binnen	4	99,3% ± 0,3%
PM <sub>2,5</sub>	Westplein	1	97,1%
PM <sub>2,5</sub>	Auto	1	97,9%



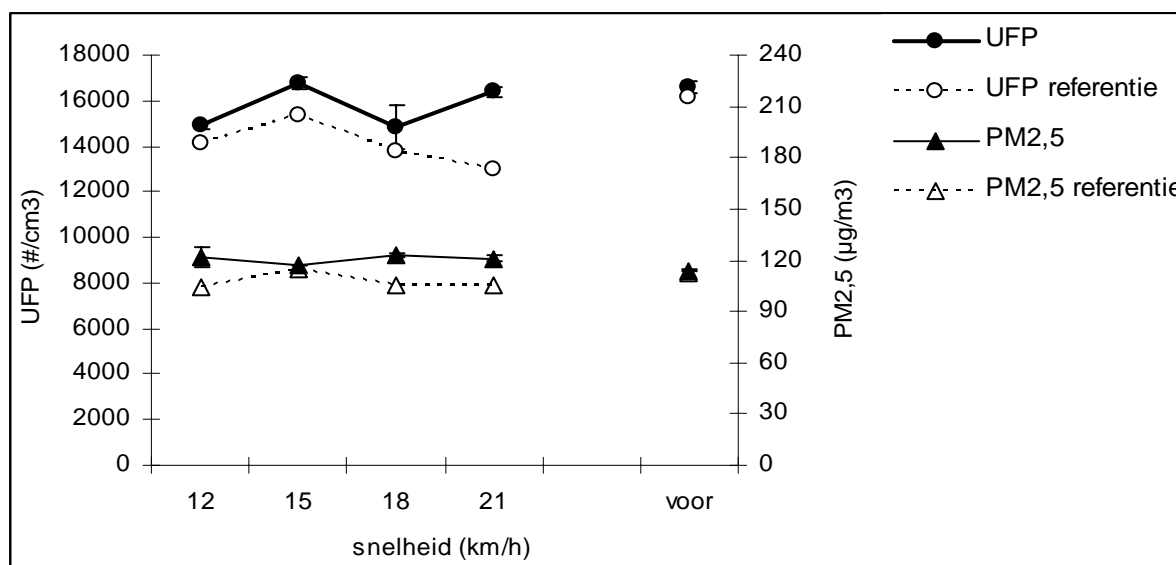
Figuur 4.2 Effecten van het inlaatsysteem op de metingen met de CPC

Bij punt 'A' is afvlakking te zien: pieken zijn minder hoog en dalen minder diep. Op punt 'V' is de vertraging zichtbaar.

Een ander effect van de inlaatslangen is een vertraging en een afvlakking van de meetwaarden. Figuur 4.2 laat een deel van een meting zien, waarbij beide verschijnselen te zien zijn. De opstelling is nabij een stoplicht neergezet, waarbij het ene apparaat met inlaatslangen meet en het andere zonder inlaatslangen. Bij punt 'A' laat inlaatsysteem een klein piekje zien, gevolgd door een dalletje en daarna een grote piek. Het apparaat met inlaatsysteem vertoont de piek echter nauwelijks; de lijn loopt even horizontaal en stijgt dan weer verder in verband met de grote piek. Bij deze grote piek, die door optrekkend verkeer werd veroorzaakt, is de vertraging zichtbaar. Dit is met een 'V' aangegeven. Apparaat 'fiets' is niet van een inlaat voorzien en reageert daarom bij pieken 1 à 2 seconden eerder dan apparaat 'auto'. De dalen tussen pieken bij apparaat 'fiets' zijn iets dieper dan bij apparaat 'auto'.

#### 4.1.3 Snelheidseffect

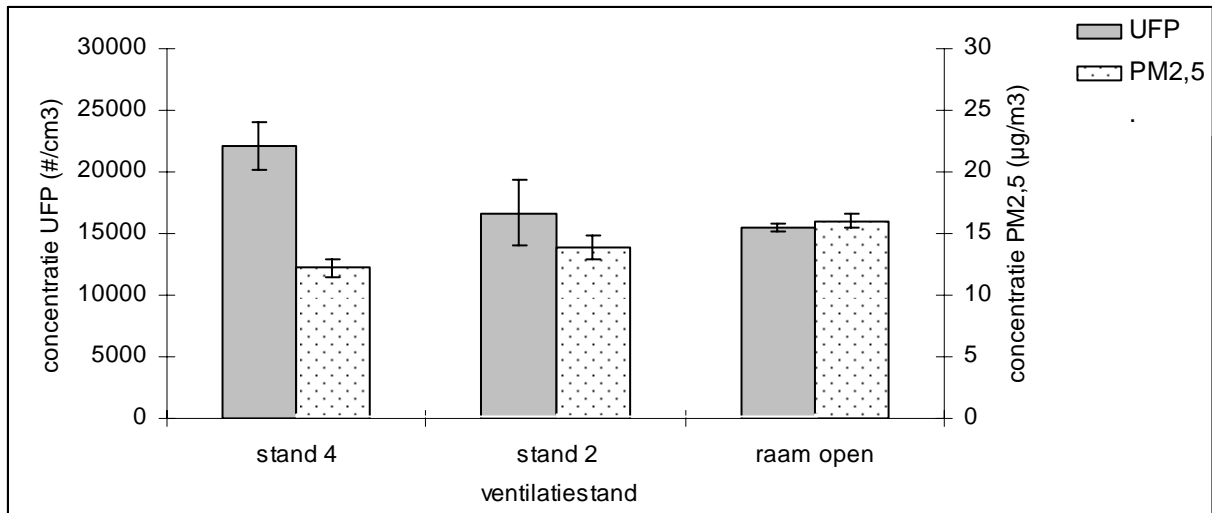
Figuur 4.3 geeft een overzicht van de gemiddelde waarden per snelheid. Ronde punten geven het aantal deeltjes weer op de linker as. De driehoekige punten geven de massa aan. Deze is op de rechter as aangegeven. Er is geen duidelijke, laat staan relevante trend te zien. Daarom wordt aangenomen dat de snelheid waarmee gereden wordt en de oriëntatie van het inlaatsysteem niet veel uitmaken voor de meting. Zowel UFP als PM<sub>2,5</sub> zijn voorzien van meetonzekerheid. Deze is maximaal 7% van de meetwaarde, maar meestal minder. Daardoor vallen de foutenbalken soms niet op bij de meetpunten in de grafiek. Om het verloop van de concentraties UFP en PM<sub>2,5</sub> tijdens de meting te controleren zijn ook referentiemetingen langs het parkoers verricht. Deze zijn in figuur 4.3 met open meetpunten getoond. Ook is in de figuur het effect te zien van de positionering van het inlaatsysteem (verticaal versus horizontaal naar voren).



Figuur 4.3 Metingen van UFP en PM<sub>2,5</sub> bij verschillende snelheden en oriëntaties van het inlaatsysteem

#### 4.1.4 Ventilatiestand

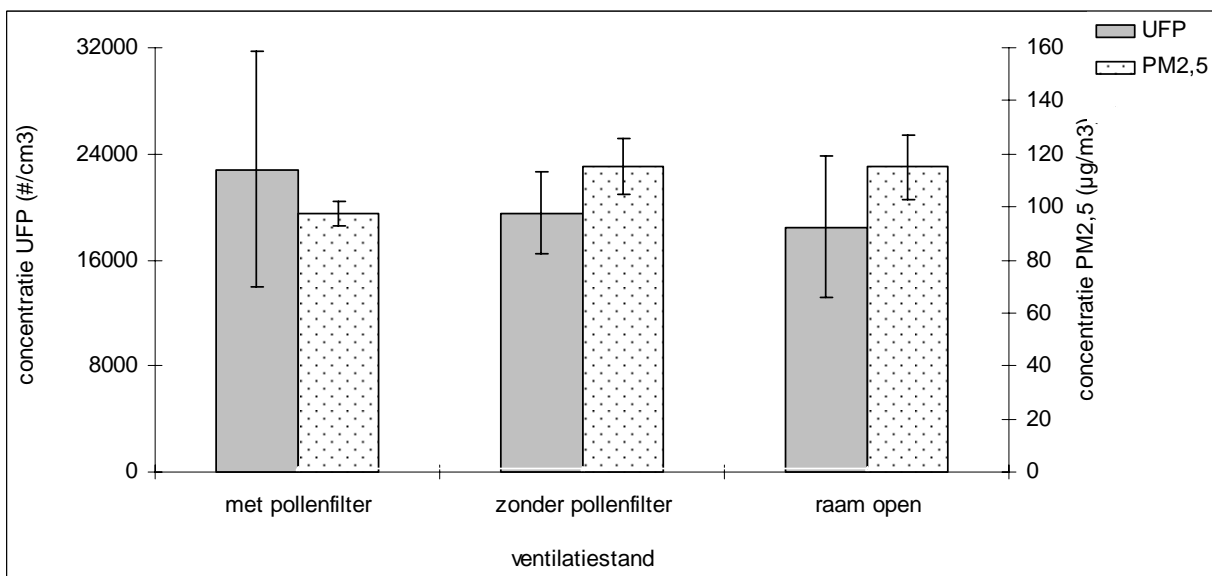
Figuur 4.4 toont de resultaten van de eerste meting waarbij de invloed van de ventilatiestand werd bepaald. In alledrie de ventilatiestanden is tweemaal UFP en tweemaal PM<sub>2,5</sub> gemeten. Hoewel er een foutenbalk is weergegeven, zal voor nadere analyse vooral figuur 4.5 worden gebruikt, welke op meer metingen berust.



**Figuur 4.4** Invloed van zomerse ventilatiestanden op de metingen van UFP en PM<sub>2,5</sub> in de auto

Figuur 4.5 toont de resultaten van de tweede meetsessie met betrekking tot de ventilatiestanden. Een andere, minder gevarieerde route is bij zo gelijk mogelijke omstandigheden vier keer met de auto gereden. De resultaten wat betreft de verhouding tussen stand 2 en het open raam komen tussen beide tests overeen: het aantal deeltjes neemt af, maar de massa neemt toe wanneer wordt gereden met een open raam. Daarnaast is in de figuur de grote invloed van het weer op PM<sub>2,5</sub> te zien: de concentraties tijdens de tweede meting zijn ongeveer 8 keer zo hoog als tijdens de eerste meting.

Het belangrijkste doel van deze tweede meting was de invloed van het pollenfilter onderzoeken. Dankzij het pollenfilter neemt de concentratie PM<sub>2,5</sub> in de auto in ieder geval af. Voor UFP lijkt het tegenovergestelde te gebeuren, maar de meetonzekerheid is te groot om hierover uitspraken te mogen doen.



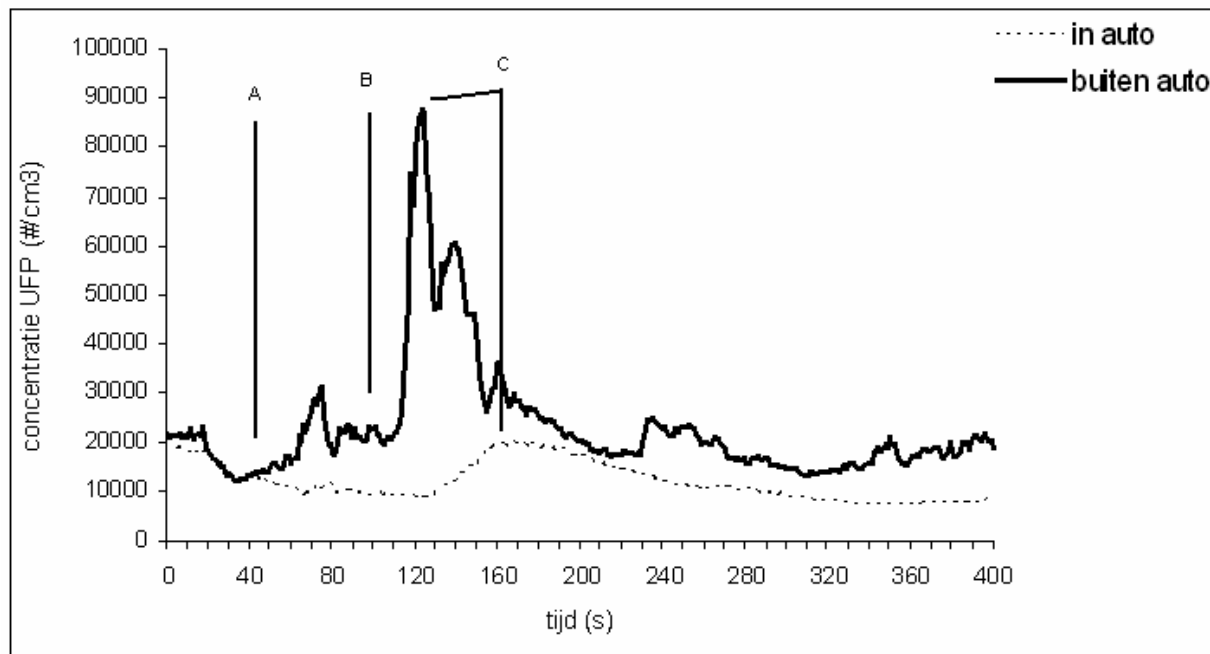
**Figuur 4.5** Invloed van zomerse ventilatiestanden op de metingen van UFP en PM<sub>2,5</sub> in de auto

#### 4.1.5 Verhouding binnen – buiten

Figuur 4.6 toont van één van de metingen de resultaten voor UFP. Op tijdstip A is het portier gesloten. Beide apparaten geven tot dat tijdstip ongeveer dezelfde waarden. Op tijdstip B is de meting begonnen. Deze

duurde tot het eind van de figuur (tijdstip  $t = 400$ ). De twee belangrijkste effecten zijn in het plaatje te zien: meetwaarden in de auto zijn lager en pieken hebben vertraging en afvlakking. Bij punt C zijn beide te zien.

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de verhouding tussen de metingen in de auto en daarbuiten. Op 6 locaties, die in tabel 3.2 zijn genoemd zijn metingen van 5 minuten verricht voor zowel UFP als  $PM_{2,5}$ .



**Figuur 4.6** Resultaten van een gelijktijdige meting binnen en buiten de auto

Op tijdstip A is het portier gesloten. Voor analyse zijn alleen de data vanaf punt B tot het einde van de grafiek gebruikt. Punt C toont de effecten van vertraging en afvlakking.

**Tabel 4.2** Gepaarde metingen in en buiten de auto

Verhouding is de meting buiten de auto gedeeld door de meting in de auto.

stof	Meting in auto ( $\#/cm^3$ )	Meting buiten auto ( $\mu g/m^3$ )	Verhouding (-)
UFP	$8333 \pm 2654$	$17345 \pm 4705$	$2,20 \pm 0,31$
$PM_{2,5}$	$7,80 \pm 5,18$	$17,82 \pm 9,76$	$2,22 \pm 0,42$

## 4.2 Testmetingen voor de Fietsbalans

In totaal zijn de vier trajecten 13 keer gereden en is iedere keer zowel UFP als  $PM_{2,5}$  gemeten in de auto. Totaal zijn er dus  $13 \times 4 \times 2 \times 2 = 208$  metingen gedaan. Van deze metingen zijn er twee mislukt. Bij de metingen van UFP ontstond af en toe een korte onderbreking vanwege een TILT-melding. Vaak kwam de TILT-melding op momenten dat de fietser over een hobbel of door een kuil reed. Korte storingen duurden ca. 15 seconden. In deze gevallen zijn deze seconden ingevuld met het gemiddelde van de laatste 5 seconden voor en de eerste 5 seconden na de storing. Eenmaal stopte de meting geheel door een TILT-melding. Deze meting is daarom weggelaten. Eén meting van  $PM_{2,5}$  is mislukt omdat het apparaat niet in de goede stand gelogd heeft. Een overzicht van alle geslaagde metingen staat in bijlage 6.

#### 4.2.1 Voorbeeld van meetresultaten

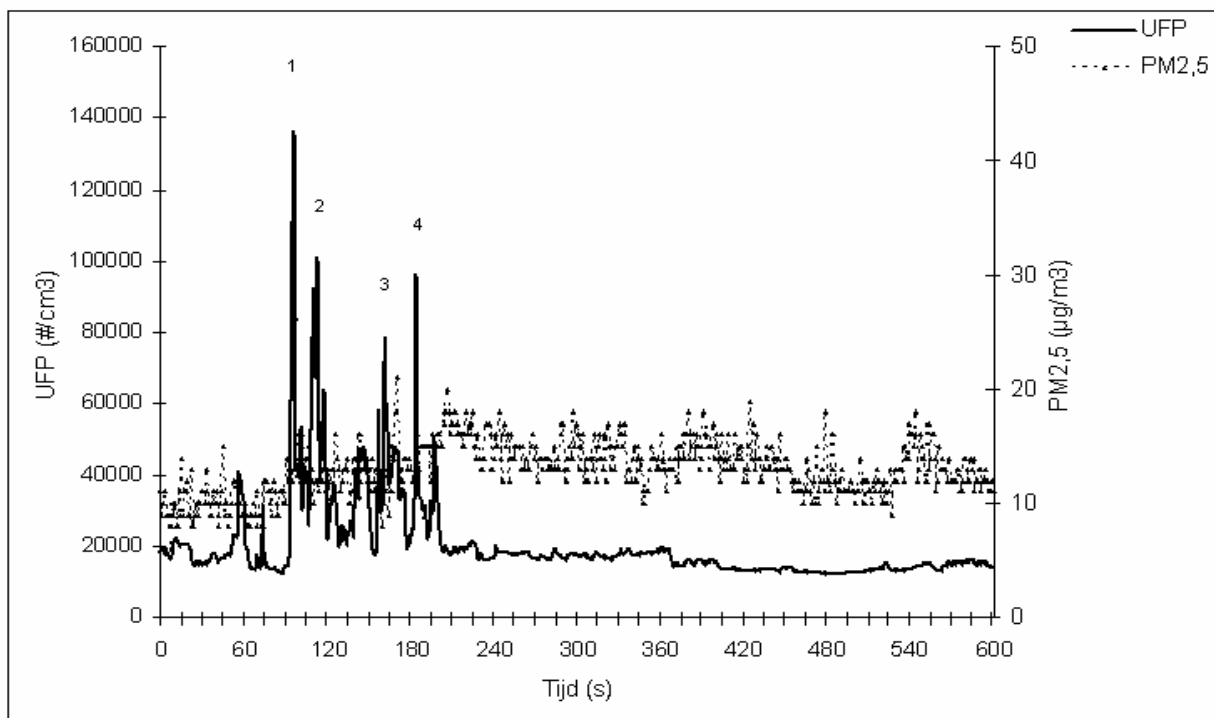
De ritten duren zowel per fiets als per auto tussen de 5 en 25 minuten. Iedere seconde wordt een meetwaarde opgeslagen. Per rit krijgen we daardoor 300 tot 1500 meetwaarden. Het effect van bepaalde verkeersinvloeden is voor UFP goed herkenbaar, voor  $PM_{2,5}$  wat minder.

Figuur 4.7 toont het resultaat van één van de metingen op de fiets, voor zowel UFP als  $PM_{2,5}$ . Langs de horizontale as staat de tijd. De meting betreft route 1 en is van begin tot einde weergegeven.

Tijdens deze route komt de fietser aan het begin nog over een paar drukke wegen, daarna wordt het rustig. Deze rit was de Kanaalstraat rustig en in de Damstraat worden twee auto's gepasseerd. De Leidseweg was echter veel drukker dan tijdens eerdere metingen en een aantal auto's en vrachtauto's worden gepasseerd. Dit is terug te zien in de metingen UFP, waar veel pieken te zien zijn tussen 90 en 210 seconden. Dit effect wordt mede versterkt doordat de bronnen dicht bij het fietsverkeer rijden en ventilatie door de wind wordt belemmerd door bebouwing aan één kant.

De stippelijijn geeft  $PM_{2,5}$  concentraties weer. Deze staan tegen op rechteras uitgezet. Metingen met de DustTrak geven op de seconde trillende waarden. Op langere termijn middelen deze waarden uit. Grote verschillen in concentraties zijn echter niet zichtbaar en de huidige verschillen niet verklaarbaar aan de hand van videobeelden.

De vetgedrukte lijn geeft de concentraties UFP weer. Deze staan op de linker as uitgezet. Er zijn een aantal pieken te zien. De hoogste vier pieken zijn voorzien van een nummer. Aan de hand van deze pieken en de camerabeelden van de meetfiets zijn een aantal verantwoordelijke emissiebronnen achterhaald. De pieken en bronnen zijn uitgewerkt aan de hand van figuren 4.8a tot en met 4.8d.



**Figuur 4.7** Voorbeeld meetresultaat tijdens een rit

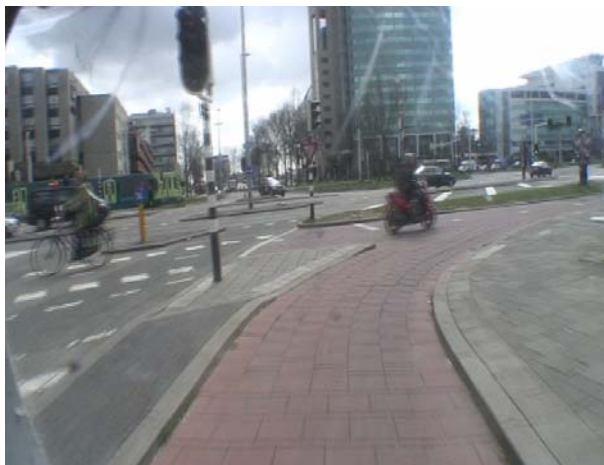
De vier genummerde pieken in concentratie UFP worden in deze paragraaf uitgewerkt.

Piek 1 is meteen de hoogste piek. De scooter rijdt hier rechtsaf. De meetfietser zal over een seconde volgen. De tweede piek kan worden toegeschreven aan tegemoetkomende auto's. Deze piek bestaat uit een aantal pieken vlak achter elkaar. De individuele bijdrage van iedere auto afzonderlijk is niet terug te herkennen. Piek 3



wordt veroorzaakt door een dieselbusje. Piek 4 tenslotte komt door een bijzonder voertuig. Veel bijzondere voertuigen zijn ouder en hun uitstoot is vaak hoger.

Twee andere oorzaken van hoge waarden zijn vrachtauto's en optrekkend verkeer. In de grafiek is een tiental seconden na piek 4 nog een klein piekje te zien, dat deels door optrekkend verkeer werd veroorzaakt. In dit geval betrof het een personenauto. Bij een aantal drukke kruisingen betreft het meerdere voertuigen, waaronder ook zwaar verkeer. Een kruising waar dit verschijnsel vaker optreedt wordt uitgewerkt in paragraaf 4.3.1.



**Figuur 4.8a**



**Figuur 4.8b**



**Figuur 4.8c**



**Figuur 4.8d**

**Figuur 4.8a t/m 4.8d** Pieken in concentraties UFP worden veroorzaakt door scooters en brommers (a), veel personenauto's (b), dieselbusjes (c) en bijzondere voertuigen (d)

#### **4.2.2 Totaal overzicht van de meetresultaten**

Tabel 4.3 geeft een overzicht van de meetresultaten voor UFP. Op een rij staan het aantal geslaagde metingen, het geometrische gemiddelde, het aritmetische gemiddelde, de standaarddeviatie, de laagste en hoogste waarde en het 95% betrouwbaarheidsinterval (BI).

Verschillen per vervoermiddel zijn er niet. Wel is de spreiding van meetwaarden in de auto groter dan op de fiets. De hoogste en de laagste waarde zijn in de auto gemeten en de standaarddeviatie van de metingen in de auto is groter. In de auto zijn drie extreme uitschieters gemeten. Twee keer betrof dit een meting op route 3, één keer een meting op route 1. Op route 3 reed de automobilist twee keer direct achter een voertuig met hoge uitstoot.

Omdat de routes alle uit slechts enkele wegen bestaan, wordt relatief lang achter hetzelfde voertuig gereden. De ene keer werd het hoge gemiddelde door een klassieke brandweerauto veroorzaakt, de andere keer door een soort bouwkraan. Op route 1 is een extreem hoog gemiddelde gemeten toen in een file erg dicht achter een andere auto werd gereden. Dit is uitgewerkt in bijlage 8.

Bepaalde routes verschillen significant van elkaar. Dit is in tabel 4.3 met letters aangegeven. Gelijke letters betekenen dat er geen verschil is. Metingen op route 4 zijn zowel op de fiets als in de auto lager dan op de andere routes. De overige routes verschillen onderling niet significant: voor zowel fiets als auto komen op routes 1 t/m 3 de letters A en B voor. Verschillen tussen fietser en automobilist zijn er alleen op traject 4. De automobilist heeft hier een significant lagere blootstelling dan op alle andere trajecten.

**Tabel 4.3 Metingen van UFP met geometrisch gemiddelde (GG), het aritmetisch gemiddelde (AG), standaarddeviatie (St.dev.), variatiecoëfficiënt, minimum en maximum en 95% betrouwbaarheidsintervallen**  
Gelijke significantie letters betekenen hierbij dat er geen verschil is tussen betreffende blootstellingen.

	N	GG (#/cm3)	AG (#/cm3)	St.dev. (#/cm3)	CV (-)	Min (#/cm3)	Max (#/cm3)	95% BI (#/cm <sup>3</sup> )		Sig.	
								Ondergrens	Bovengrens		
Alle metingen	103		22470	10441	0,465	6770	58934	20430	24511		
<b>Vervoerswijze</b>											
<b>Fiets</b>	51	19662	22823	8021	0,351	10499	44894	20567	25079	-	
<b>auto</b>	52		22125	12437	0,562	6770	58934	18662	25587	-	
<b>Route</b>											
<b>1</b>	Fiets	12	19019	22141	8386	0,379	11433	44894	16813	27469	AC
	Auto	13		26749	11383	0,426	13704	54080	19517	33982	A
<b>2</b>	Fiets	13	24621	28352	7586	0,268	17738	42896	23768	32937	A
	Auto	13		23039	10231	0,444	9252	44278	16857	29222	AC
<b>3</b>	Fiets	13	21148	24856	6344	0,255	15223	33941	21022	24886	A
	Auto	13		28706	14562	0,507	14434	58934	19906	37506	A
<b>4</b>	Fiets	13	13810	15891	3958	0,249	10499	24010	13499	18283	AC
	Auto	13		10625	2905	0,273	6770	16791	8869	12381	B
<b>Tijd</b>											
<b>Middag</b>	Fiets	35	19085	22148	7667	0,346	10499	42896	19515	24782	-
	Auto	36		19569	11203	0,572	6770	58934	15721	23418	-
<b>Ochtend</b>	Fiets	16	20923	24299	8821	0,363	13423	44894	19598	28999	-
	Auto	16		27930	13765	0,493	7377	53102	20596	35265	-

Het weer heeft een grote invloed op de metingen, wat ook later in deze paragraaf zal blijken. De grote spreiding van meetgegevens zou analyse onmogelijk maken. Daarom is per rit de verhouding geanalyseerd.

Van de 52 verrichte gepaarde metingen zijn er 51 gelukt. De enige meting die niet gelukt is, kwam door het niet goed instellen van de DustTrak. Tabel 4.4 geeft een overzicht van de metingen van PM<sub>2,5</sub>. Hiervoor zijn dezelfde statistische maten gebruikt als in tabel 4.3 met uitzondering van het geometrisch gemiddelde. Voor PM<sub>2,5</sub> was het vanwege de manier van meten niet mogelijk per rit het geometrisch gemiddelde uit te rekenen.

Er is een verschil in verhouding tussen de trajecten 1 en 4. Dit is deels te danken aan een hoge uitschieter vanwege een stortbui. Tussen de ochtendmetingen en de middagmetingen verschilt de verhouding niet significant.

**Tabel 4.4 Verhouding van gepaarde metingen van PM<sub>2,5</sub> met aritmetisch gemiddelde (AG), standaarddeviatie (St.dev.), variatiecoëfficiënt, minimum en maximum en 95% betrouwbaarheidsintervallen**  
 Gelijke significantie letters betekenen hierbij dat er geen verschil is tussen betreffende blootstellingen.

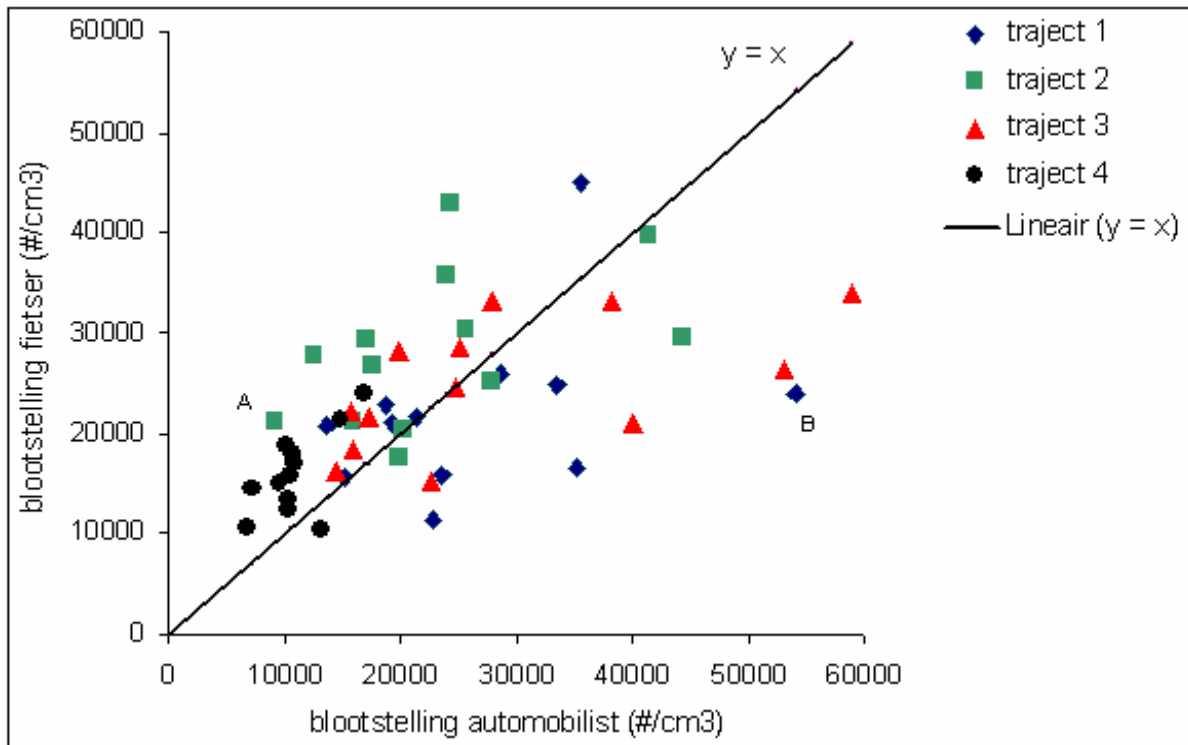
	N	AG	St.dev.	CV	Min	Max	95% BI		Sig.
							Ondergrens	Bovengrens	
<b>Alle metingen</b>	51	1,315	0,260	0,198	0,783	2,662	1,242	1,397	-
<b>Traject</b>									
<b>1</b>	12	1,145	0,168	0,147	0,803	1,295	1,038	1,252	A
<b>2</b>	13	1,341	0,287	0,214	0,783	1,529	1,168	1,514	AB
<b>3</b>	13	1,350	0,270	0,200	0,891	1,457	1,186	1,513	AB
<b>4</b>	13	1,532	0,367	0,240	1,170	2,662	1,310	1,754	B
<b>Tijd</b>									
<b>Middag</b>	35	1,332	0,352	0,264	0,783	2,662	1,211	1,453	-
<b>Ochtend</b>	16	1,274	0,081	0,068	1,11	1,38	1,231	1,317	-

#### 4.2.3 Verhouding tussen fietser en automobilist

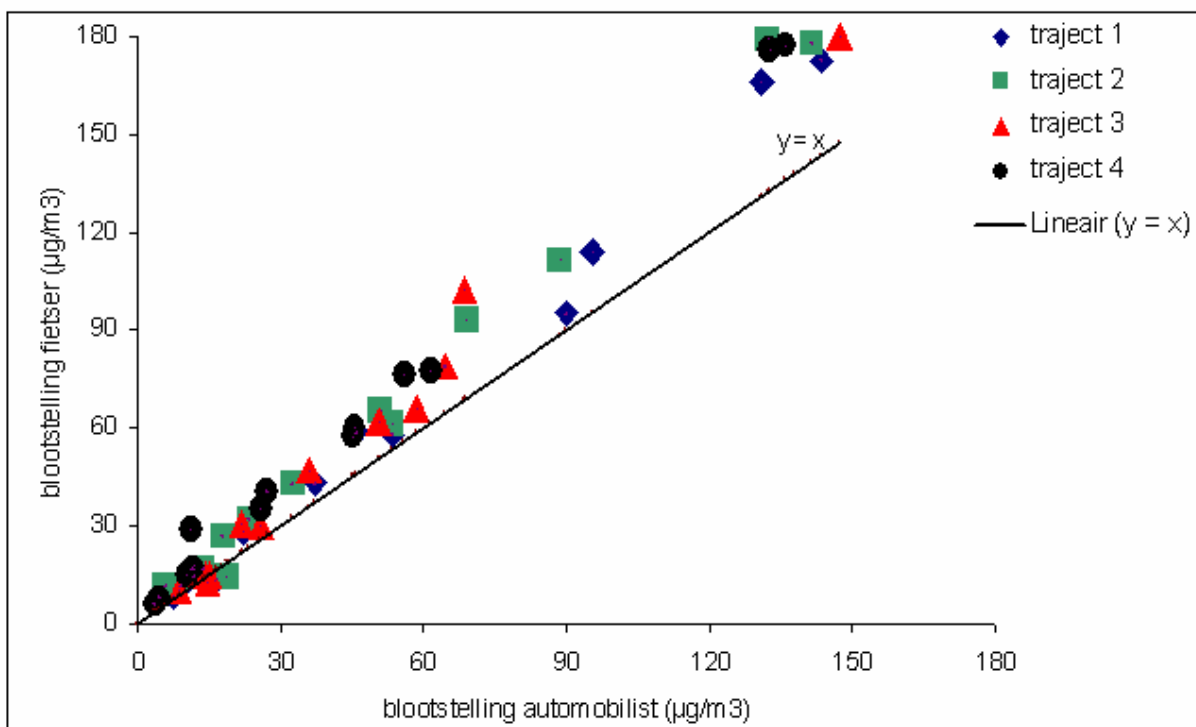
In figuur 4.9 is de gemiddelde blootstelling aan UFP voor de fietser uitgezet tegen de gemiddelde blootstelling voor de automobilist voor de vier trajecten. Langs de horizontale as staat de gemiddelde blootstelling per rit in de auto, langs de verticale as de blootstelling voor de fietser. Ook de diagonale as is getekend. Punten die op deze lijn liggen duiden aan dat automobilist en fietser evenveel blootstelling ondervinden. Wanneer de punten boven deze lijn liggen heeft de fietser meer blootstelling, punten onder de lijn betekenen dat de automobilist meer blootstelling ondervindt.

Van de 51 punten liggen er 25 minstens 20% boven de lijn. In deze situaties is de fietser wat betreft UFP slechter af dan de automobilist. Vooral op traject 4, waar auto en fiets dezelfde rustige route hebben gereden, is de verhouding in het voordeel van de automobilist. Het meest extreme geval was punt A. Dit is een meting op traject 2. De fietser ondervond hier 131% meer blootstelling dan de automobilist. Hoewel op route 2 zowel auto als fiets langs dezelfde route rijden ondervond de fietser meer blootstelling. De automobilist kon op een gunstig moment invoegen op de drukke weg, terwijl de fietser even later te maken kreeg met een aantal vrachtwagens en busjes.

Er liggen 11 punten minstens 20% onder de lijn. In deze situaties heeft de automobilist meer blootstelling dan de fietser. Dit komt relatief vaak voor op trajecten 1 en 3. Op deze twee trajecten neemt de fietser een alternatieve route. 9 van de 11 gevallen waar de fietser beter af is, kwamen voor op deze twee trajecten. Het meest extreme geval was punt B, waar de automobilist op traject 1 125% meer blootstelling ondervond dan de fietser. Belangrijke reden hiervoor was dat de auto in de file kwam te staan.



**Figuur 4.9** Scatterplot van de gepaarde blootstellingen van automobilist en fietser aan UFP  
 Punt A geeft de meest nadelige verhouding voor de fietser, punt B de meest gunstige verhouding voor de fietser.



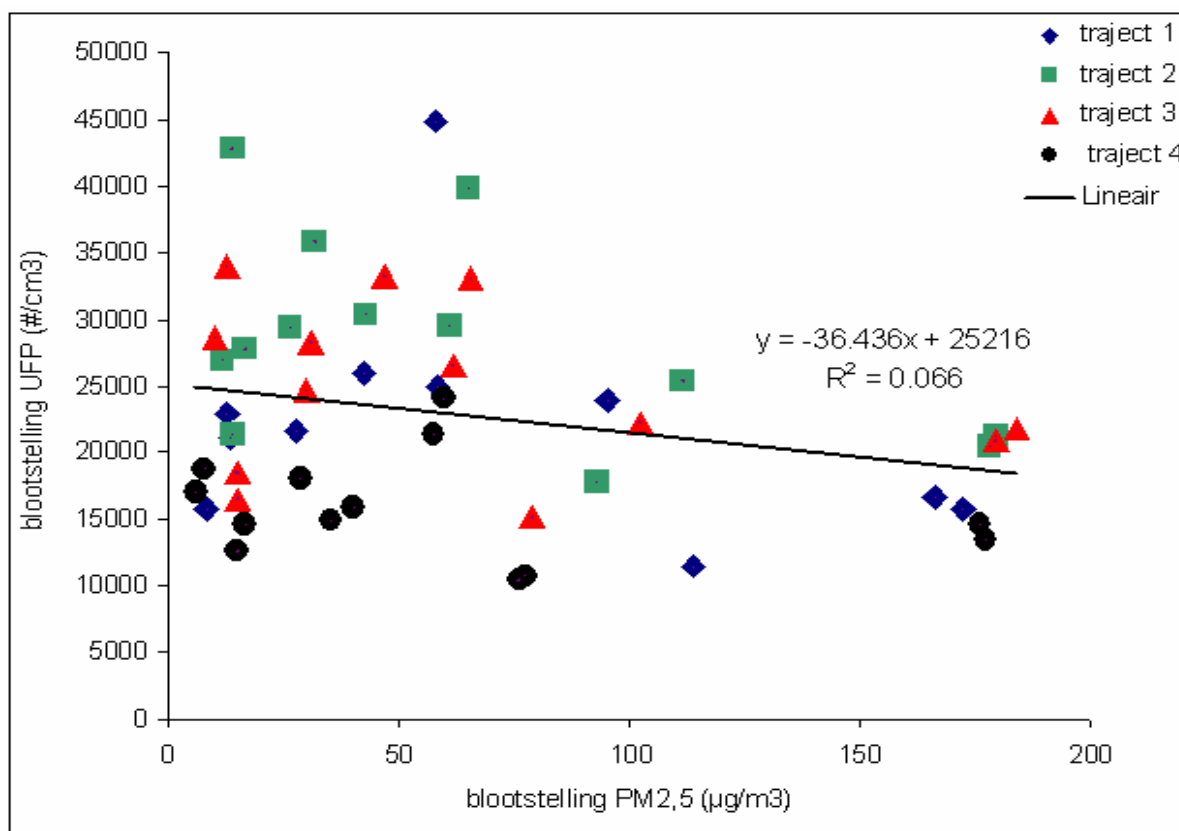
**Figuur 4.10** Scatterplot van de gepaarde blootstellingen van automobilist en fietser aan PM<sub>2,5</sub>  
 Punt C geeft de meest nadelige verhouding voor de fietser weer, punt D de meest gunstige verhouding voor de fietser.

In figuur 4.10 is de gemiddelde blootstelling op de fiets uitgezet tegen de gemiddelde blootstelling in de auto voor de vier trajecten. Dit is op dezelfde manier gedaan als voor UFP. De meetpunten liggen min of meer op

een rechte lijn en meestal boven de diagonaal. Gemiddeld ondervindt de fietser 29% meer blootstelling dan de automobilist. De minst gunstige verhouding is bij punt C. De fietser ondervindt hier 161% meer blootstelling dan de automobilist. Dit wordt vermoedelijk mede veroorzaakt vanwege een stortbui kort voor de meting. Veel vocht zal nog in de lucht zijn blijven hangen, waardoor voor de fietser een verkeerde meting is ontstaan. De automobilist zat in een droge omgeving. De gunstigste verhouding is bij punt D. De automobilist ondervindt hier 30% meer blootstelling dan de fietser. De verklaring hiervoor was dat tijdens de rit langs de koppelingsplaten werd geschuurd. Dit verschijnsel is uitgewerkt in bijlage 8.

### Correlaties tussen UFP en PM<sub>2,5</sub>

In figuur 4.11 staat de gemiddelde blootstelling aan UFP uitgezet tegen de gemiddelde blootstelling aan PM<sub>2,5</sub>. Alleen de ritgemiddelden voor de fietser zijn gebruikt. Per route is een andere vorm en kleur gebruikt. Voor alle punten samen is een trendlijn getekend. Deze geeft echter geen duidelijk verband aan.



**Figuur 4.11** Scatterplot van de blootstelling van de fietser aan UFP en PM<sub>2,5</sub>, uitgesplitst per route

### Weersinvloeden

De weersinvloeden zijn per dag vergeleken. Hiervoor zijn de meetdata gebruikt van de vier dagen waarop 's middags alle routes in beide richtingen zijn gereden. Alleen voor route 1 is een meting niet gelukt. De gemiddelde waarden van iedere meting zijn gedeeld door de gemiddelde waarden van de betreffende route. Zo wordt spreiding van meetgegevens door routekeuze teniet gedaan. Tabel 4.5 geeft een overzicht van deze resultaten. De significantie is door middel van letters aangegeven, waarbij gelijke letters betekenen dat er geen significant verschil is voor betreffende variabele op een andere dag.

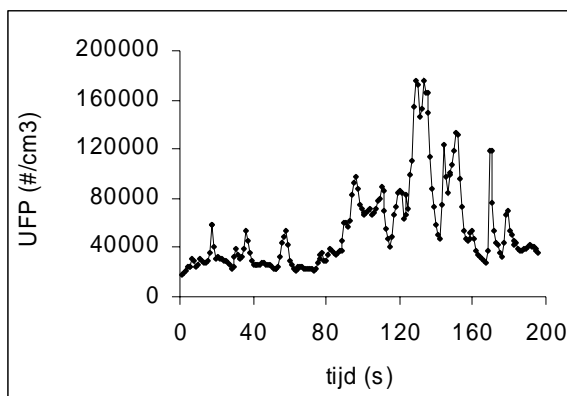
**Tabel 4.5 Verhouding van meetwaarden per dag ten opzichte van de gemiddelde waarden**  
 Gelijke significantie letters betekenen hierbij dat er geen verschil is tussen betreffende blootstellingen.

variabele	datum	Ratio (-)	95% BI (-)		Sig
			Ondergrens	Bovengrens	
<b>UFP</b>					
	28 maart	0,903	0,770	1,036	AB
	4 april	1,186	0,948	1,424	ABC
	18 april	1,150	1,040	1,261	BC
	24 april	0,785	0,615	0,785	A
<b>PM<sub>2,5</sub></b>					
	28 maart	0,385	0,338	0,433	
	4 april	0,262	0,206	0,318	
	18 april	0,961	0,796	1,126	
	24 april	2,389	2,165	2,612	
<b>Verhouding UFP</b>					
	28 maart	1,241	1,049	1,434	A
	4 april	1,034	0,824	1,243	AB
	18 april	1,003	0,906	1,100	AB
	24 april	0,727	0,467	0,987	B
<b>Verhouding PM<sub>2,5</sub></b>					
	28 maart	0,882	0,802	0,963	A
	4 april	1,038	0,749	1,328	AB
	18 april	1,041	0,982	1,101	B
	24 april	1,023	0,915	1,132	AB

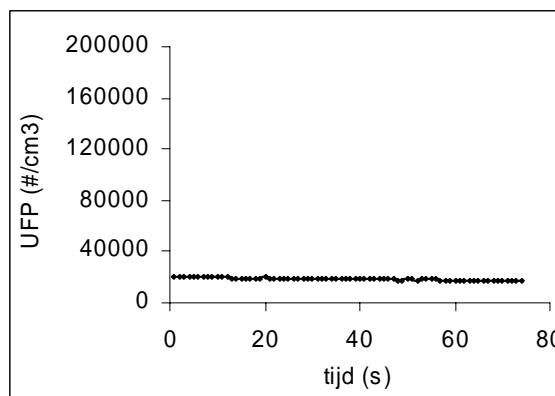
## 4.3 Bijzondere metingen

### 4.3.1 Spreiding op kruispunten

Figuren 4.12a en 4.12b laten voor de fietser de verschillen in blootstelling aan UFP zien tussen een druk weggedeelte en een rustig weggedeelte. Links staat een grafiek weergegeven van een meting op de Vleutenseweg. De fietser heeft twee keer voor een stoplicht moeten stoppen, terwijl het gemotoriseerd verkeer voorbij raasde. Hierdoor zijn veel pieken ontstaan. Rechts staat een grafiek van de fietsmeting door de woonwijk Oog in Al. De blootstelling is, vergeleken met de Vleutenseweg, constant. De afgelegde afstand is in beide routes ongeveer gelijk: 250 m. Op de Vleutenseweg doet de fietser daar langer over dan in Oog in Al.



Figuur 4.12a



Figuur 4.12b

Metingen op de drukke Vleutenseweg (4.12a) en het rustige Oog in AI (4.12b)

### 4.3.2 Parkeergarages

In vier parkeergarages is de auto geparkeerd. Zowel in de auto als op de route naar de betaalautomaat in de garage zijn UFP en PM<sub>2,5</sub> gemeten. Tabel 4.6 geeft een overzicht van de resultaten van deze metingen.

Tabel 4.6: Metingen van UFP en PM<sub>2,5</sub> in parkeergarages, zowel in de auto als daarbuiten

Verhouding is bepaald als 'in garage' / 'in auto'.

Garage	type garage	drukke	UFP (#/cm <sup>3</sup> )			PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		
			In auto	In garage	Verhouding	In auto	In garage	Verhouding
Spoorstraat	flat, weinig ventilatie	vol, maar rustig	28713	29370	1,02	33,1	39,4	1,19
Vredeburg	kelder	rustig, halfvol	29644	59075	1,99	36,9	63,2	1,71
Paardenveld	flat, enige ventilatie	rustig, halfvol	15768	21928	1,39	22,5	26,7	1,87
AZU	flat, nagenoeg open	tamelijk vol, ook rijdend	9432	20327	2,16	15,3	24,4	1,59
<b>Referentiemeting</b>			<b>Meting in buitenlucht</b>			<b>Meting in buitenlucht</b>		
Balistraat		rustig		12595			24,0	

### 4.3.3 Regio Utrecht

Om een indicatie te geven van concentraties UFP en PM<sub>2,5</sub> buiten Utrecht, is een tocht door de omgeving van Utrecht gemaakt. Elf delen van het gereden traject zijn uitgewerkt, die ieder hun karakteristieken hebben wat betreft verschil in routes en te verwachte blootstelling. Tabel 4.7 geeft een overzicht van deze trajecten en voor zowel UFP als PM<sub>2,5</sub> de gemiddelde blootstelling (AG) voor fietser en automobilist en de verhoudingen in blootstelling tussen beide. De exacte route van de fietser met blootstelling per plek voor zowel UFP als PM<sub>2,5</sub> is uitgewerkt in bijlage 1. Wegens het ontbreken van GPS-apparatuur in de auto tijdens deze meting was het niet mogelijk ook hiervoor dergelijke kaarten te maken.

Ten opzichte van andere metingen zijn de metingen in de regio laag. Alleen de trajecten De Bilt – NS Bilthoven, Lage Vuursche – Hilversum Sportpark, Hilversum Sportpark – Hilversum NS en Hilversum ziekenhuis – Kerkenlande hebben wat hogere meetwaarden UFP. De routes van de fietser betroffen in deze gevallen drukkere wegen. De overige wegen waren niet al te druk tot erg rustig. De blootstelling van de fietser aan PM<sub>2,5</sub> wordt gedurende de dag alsmaar hoger.

**Tabel 4.7 Meetwaarden UFP en PM<sub>2,5</sub> tijdens een tocht door de regio Utrecht**

Verhouding is bepaald als Fiets / Auto

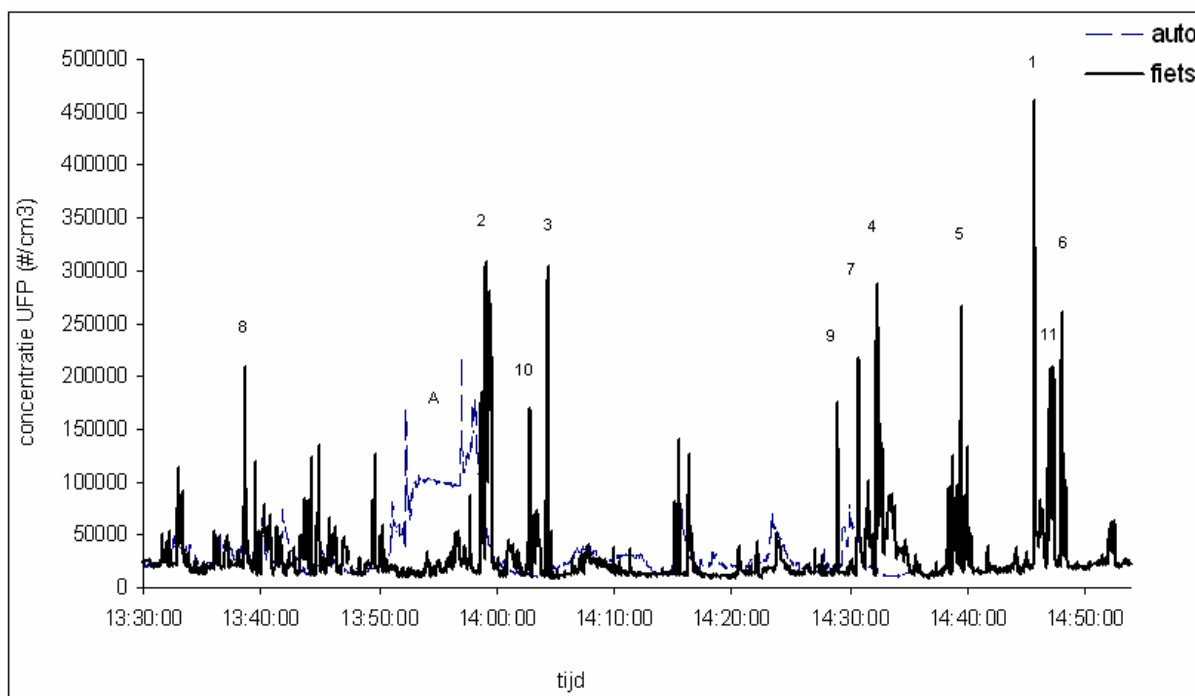
Traject	Parallele routes	UFP			PM <sub>2,5</sub>		
		AG (#/cm <sup>3</sup> )		verhouding	AG (µg/m <sup>3</sup> )		verhouding
		fiets	auto		fiets	auto	
Balistraat - Krommerijn	Nee	26508	23494	1,13	17,6	15,3	1,15
<i>Verbindingsroute</i>	<i>niet gemeten</i>						
Olympus – De Bilt	nee	12050	16644	0,72	12,8	18,0	0,71
De Bilt – Bilthoven NS	Ja	11271	25249	0,45	12,6	21,1	0,60
Bilthoven NS - Maartensdijkseweg	Nee	9769	15670	0,62	11,5	17,9	0,64
Maartensdijkseweg – Lage Vuursche	Ja	9520	7590	1,25	11,7	21,0	0,56
Lage Vuursche – Hilversum Sportpark	Nee	16543 <sup>5</sup>	8768	1,89	13,5	17,9	0,75
Hilversum Sportpark – Hilversum NS	Ja	35928	36942	0,97	28,3	21,0	1,35
Hilversum NS – Hilversum ziekenhuis	Nee	14900	12931	1,15	21,0	17,9	1,17
Hilversum ziekenhuis – Kerkenlande	Ja	22660	20561	1,10	24,4	21,0	1,16
<i>Verbindingsroute</i>	<i>niet gemeten</i>						
Nieuw-Loosdrecht – Tienhoven	ja	11615	6952	1,67	28,4	17,9	1,59
Tienhoven - Bethuneweg	Nee	10687	8270	1,29	30,8	21,0	1,46

#### 4.3.4 Industrie

Figuur 4.13 geeft het resultaat van de meting op industrieterrein Lageweide. De elf pieken op de fiets groter dan 150.000 #/cm<sup>3</sup> zijn voorzien van een nummer. Deze pieken zijn geanalyseerd in tabel 4.8. Verder staat in de grafiek de 'A'. Dit is een opvallend hoge waarde voor de meting in de auto. Deze lange piek is waarschijnlijk te wijten een pauze om de weg te zoeken op de kaart. De auto stond toen geparkeerd nabij een schip waar enige activiteiten gaande waren. Bovendien was het portier tijdelijk geopend.

<sup>5</sup> Deze route kan worden gesplitst in een erg rustig eerste deel en een erg druk tweede deel. Blootstelling tijdens het eerste gedeelte is 7637 #/cm<sup>3</sup>, blootstelling tijdens het tweede gedeelte is 33365 #/cm<sup>3</sup>.





**Figuur 4.13 Meetresultaten voor UFP voor fietser en automobilist van de rondrit op het industrieterrein**  
De 11 hoogste pieken voor de fietser zijn genummerd en worden in tabel 4.8 toegelicht. De hoogste piek voor de automobilist is met een 'A' aangegeven.

**Tabel 4.8 Pieken in meetwaarden UFP**

Nummers (voor fiets) en letter (voor auto) komen uit Figuur 4.13.

Nummer	tijd	plaats	Waarde	oorzaak
1	14:45:46	fregatstraat	460468	graafmachine
2	13:59:03	atoomweg	308227	dieselbusje
3	14:04:21	Savannahweg	304704	vrachtauto's
4	14:32:15	Tractieweg	287287	dieselbusjes
5	14:39:25	havenweg	266563	parkeermanoeuvre bedrijfsauto
6	14:48:04	langs spoor	260594	brommers
7	14:30:45	havenweg	216919	stilstaande vrachtauto of personenauto's
8	13:38:36	Vleutenseweg	208753	optrekkend verkeer, scooter of bus
9	14:29:01	spoorbrug	175522	trein
10	14:02:52	atoomweg	169310	vrachtauto's + vuilniswagen
11	14:46:58	Cartesiusweg	168103	file
A	13:51-13:59	Kernkade	Gemiddeld 98646	Schip + busje

## Tussenconclusie

Per proef zijn in dit hoofdstuk de resultaten uitgelegd. Wat deze resultaten betekenen, of ze vergelijkbaar zijn met andere metingen en hoe ze dienen te worden geïnterpreteerd wordt in het volgende hoofdstuk verteld. Ook zullen hun sterke punten en nog opengelaten punten ter sprake komen.

## Hoofdstuk 5

# Discussie

In het vorige hoofdstuk zijn de resultaten van dit onderzoek gepresenteerd. In dit hoofdstuk wordt eerst behandeld hoe betrouwbaar deze resultaten zijn. Per proef worden resultaten en onzekerheden behandeld, in overeenstemming met de volgorde van de vorige hoofdstukken. Vervolgens zal worden besproken hoe dit onderzoek de Fietsbalans ondersteunt en hoe het daarin moet worden toegepast. Daarna zal worden besproken wat de mogelijke toepassing van de meetresultaten is. Tot slot worden aanbevelingen voor vervolgonderzoek gegeven.

## 5.1 De ijking van de apparatuur en gevoeligheid van de meetmethode

### 5.1.1 De ijking van de apparatuur

De CPC's verschillen onderling slechts enkele procenten. Dit verschil valt ruim binnen het betrouwbaarheidsinterval van de apparatuur van 20% [TSI, 2004] en is in dit onderzoek daarom verder verwaarloosd. De massameters daarentegen verschillen 22%. Hiervoor is gecorrigeerd door de meetwaarden van apparaat 'auto' met 1,22 te vermenigvuldigen. Omdat in dit onderzoek de gemeten waarden met elkaar worden vergeleken en de absolute waarden niet gebruikt worden geeft dit geen problemen.

De meetpunten van de CPC's liggen meer op één lijn dan de meetpunten van de DustTraks. Dit ligt grotendeels aan het karakter van de metingen. Waar de CPC's per seconde nagenoeg gelijke waarden aangeven, vertonen de DustTraks een trillende grafiek met uitschieters van enkele  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Deze uitschieters middelen na verloop van tijd uit en hebben op langere termijn dus geen invloed. Deze uitschieters worden veroorzaakt door enkele deeltjes, die relatief veel licht weerkaatsen en daardoor zwaar worden meegewogen in de metingen [Sijffers, 2006].

De onderlinge afwijking tussen de DustTraks is in een eerder stadium ook getest. Meetwaarden van beide apparaten verschilden toen ongeveer 38%. Naar aanleiding daarvan zijn de apparaten opnieuw door TSI gecalibreerd. De huidige meetgegevens zijn allen na deze hercalibratie verzameld. Om de afwijking te verkleinen zou nog een hercalibratie kunnen worden gedaan. Een dergelijke ijking kost echter ca. 3 weken terwijl er de mogelijkheid betaamt dat de apparaten na afloop nog steeds geen gelijke meetwaarden geven. Deze ijking is daarom niet gedaan.

Daarnaast is de DustTrak gecalibreerd voor woestijnzand. Er wordt echter hoofdzakelijk in een stedelijke omgeving gemeten. Stedelijke luchtvervuiling bevat veel verkeersuitstoot. Deze luchtvervuiling reflecteert per massa meer licht dan woestijnzand. Metingen met de DustTrak geven daarom een overschatting. De meetresultaten in dit onderzoek geven dus niet de absolute waarde aan, maar slechts een indicatie van de concentratie  $\text{PM}_{2,5}$ . Een mogelijke optie is een ijking aan een gravimetrische methode. Ook dit kost echter een aantal dagen meten en dient na iedere hercalibratie opnieuw te gebeuren. Bovendien richt dit onderzoek zich

vooral op verhoudingen van meetwaarden en niet op de absolute waarden. Een (lineaire) calibratie is dan overbodig. Wanneer alle waarden met een constante worden vermenigvuldigd blijft de verhouding immers gelijk.

Een andere optie om te calibreren is het gebruik van data van anderen. Chan en Chung [2002] hebben in Hongkong een DustTrak gecalibreerd voor stedelijke luchtvervuiling. Zij komen tot de formule:

$$DustTrak = 2,34 * Partisol + 2,9 \quad (5.1)$$

Yanosky et al. [2002] hebben dit binnenshuis gedaan en kregen als formule:

$$DustTrak = 2,57 * FRM - 1,73 \quad (5.2)$$

In deze formules zijn Partisol en FRM gravimetrische methoden. Wanneer met één van deze methoden een normale waarde van  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wordt gemeten, geeft de DustTrak  $49,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dit is een overschatting van bijna een factor 2,5.

### 5.1.2 Effect van de inlaatslangen

In tabel 4.1 is te zien dat het rendement voor UFP lager ligt dan voor  $\text{PM}_{2,5}$ . Waar het verlies aan massa 0% tot 3% is, is het verlies aan aantal deeltjes 10 tot 15%. Dit komt overeen met procesbeschrijvingen van Seinfeld en Pandis [2000]. In laminaire stromingen, zoals in de inlaatslangen, wordt het coagulatieproces versneld, waardoor een aantal deeltjes al is samengeklonterd voordat ze geteld worden.

Er is zowel met slangen van het inlaatsysteem uit de auto als met slangen van het inlaatsysteem van de fiets gemeten. Beide slangen hebben een vergelijkbaar rendement. Omdat zowel in de auto als op de fiets met inlaatslang wordt gemeten hoeft voor het verlies aan deeltjes en massa niet te worden gecorrigeerd.

Ook het vertragingseffect is in de orde van grootte wat verwacht kan worden. De slangen hebben (zonder koker) een volume van  $18,3 \text{ cm}^3$ . De stroomsnelheid van de CPC is  $700 \text{ cm}^3/\text{minuut}$  ( $= 11,7 \text{ cm}^3/\text{s}$ ) [TSI, 2004]. Als deze getallen op elkaar worden gedeeld is de vertraging 1,6 seconde.

### 5.1.3 Fietsnelheid

De meetresultaten bij alle geteste snelheden zijn ongeveer even hoog. Daarom wordt geconcludeerd dat de snelheden waarmee redelijkerwijs gefietst kan worden geen invloed hebben op de meetresultaten. Het effect van lucht dat de inlaat wordt ingestuwd of de kans dat de inlaat wordt afgesneden is voor metingen in dit domein verwaarloosbaar.

De referentiemetingen geven lagere waarden dan de metingen op de fiets. Vermoedelijk komt dit door de plaats van het referentiepunt. De fietsroute komt dichterbij de snelwegen dan het referentiepunt. Nabij deze snelwegen worden de hoogste concentraties gemeten.

### 5.1.4 Ventilatiestand

De eerste meting (figuur 4.4) geeft de indruk dat er verschillen per ventilatiestand zijn. Het aantal metingen is ten opzichte van de tweede test echter klein. Daarom zullen de resultaten van de tweede meting (figuur 4.5) voor analyse worden gebruikt.

De betrouwbaarheidsintervallen in figuur 4.5 overlappen elkaar. Daarom kan niet met zekerheid worden gezegd in welke mate de ventilatiestand van invloed is op metingen van UFP. Voor  $\text{PM}_{2,5}$  zijn wel significante verschillen gevonden tussen de meting met pollenfilter in ventilatiestand 2 en de metingen in andere ventilatiestanden. Om een kleiner betrouwbaarheidsinterval te krijgen en meer verschillen te kunnen aantonen,

zouden meer metingen moeten worden gedaan. Het aantal metingen dat kan worden gedaan is echter beperkt. De drukte op de weg wordt door het tijdstip beïnvloed en de achtergrondconcentratie is weersafhankelijk. Bovendien zijn de omstandigheden per meting iedere keer anders. Ook dit beperkt de nauwkeurigheid van het onderzoek.

De invloed van de verwarming en airco in de auto is niet onderzocht. Aangenomen wordt dat deze tijdens de Fietsbalans niet nodig zal zijn, omdat bij koud weer en vochtig weer niet wordt gemeten.

### **5.1.5 Verhouding binnen - buiten**

De metingen buiten de auto zijn voor UFP en PM<sub>2,5</sub> gemiddeld 2,20, respectievelijk 2,22 keer zo hoog als in de auto. Deze verhouding komt redelijk overeen met metingen van Chan et al. [2002]. Zij bepaalden de verhouding binnen/buiten voor het aan ultrafijn stof gerelateerde NO als  $0,567 \pm 0,332$ . Wanneer de resultaten van dit onderzoek andersom worden genoteerd zijn de verhoudingen 0,455, respectievelijk 0,450

De verhouding verschilt echter nogal tussen stilstaande metingen en rijdende metingen. Op trajecten 2 en 4 rijden auto en fiets dezelfde route, maar is de gemiddelde blootstelling van de auto voor UFP 23% respectievelijk 50% hoger in plaats van 120%. Voor PM<sub>2,5</sub> heeft de fietser 32% respectievelijk 39% hogere blootstelling in plaats de te verwachten 122%. Dit verschil heeft waarschijnlijk twee oorzaken. Ten eerste zit een automobilist bij deelname aan het verkeer dicht bij de bronnen dan een fietser. Hierdoor wordt de blootstelling in de auto ten opzichte van de geparkeerde situatie verhoogd. Voor de meting buiten de auto maakt het niet uit of wordt stilgestaan of gereden. Daarnaast wordt bij het rijden vanwege de snelheid mogelijk meer lucht in de auto geventileerd dan in de parkeerstand. Dit zou kunnen worden onderzocht door de snelheidstest uit paragraaf 3.1.3 met de auto uit te voeren, hoewel in verband met hogere snelheden en verkeersveiligheid een ander parkoers wordt aanbevolen.

De verhouding in blootstelling verschilt nogal per emissie. Leung en Harrison [1998] laten zien dat concentraties benzeen en toluen in de auto groter zijn dan daarbuiten. Ook Rank et al. [2001] hebben deze stoffen gemeten en kregen dezelfde resultaten. Ook bepaalden zij de verhouding in blootstelling aan ethylbenzeen, xylenen en fijn stof tussen fietsers en automobilisten. In twee auto's uit de jaren '90 maten zij 2 tot 4 keer hogere concentraties dan daarbuiten.

De resultaten van dit onderzoek geven alleen aan wat de verhouding tussen binnen en buiten is wat betreft PM<sub>2,5</sub> en UFP. Deze stoffen worden in en buiten de auto als dezelfde beschouwd, wat misschien onterecht is. Het is mogelijk dat bepaalde deeltjes beter uit de auto worden gefilterd dan andere. Het was echter niet mogelijk dit te meten. Ook in de literatuur is op dit gebied niets gevonden over verschil in samenstelling van fijn stof.

## **5.2 Testmetingen voor de Fietsbalans**

Ieder traject is 13 keer gelijktijdig gereden. Vanwege de tijd en praktische redenen zijn de ritten eerst in de ene richting gereden en daarna terug in de andere richting. Voor traject 4 betreft dit exact dezelfde route. Voor de overige trajecten wijken vanwege de weginrichting de trajecten in de ene richting iets af van die in de andere richting. De belangrijkste reden daarbij is éénrichtingverkeer.

Verder is geprobeerd te meten bij zo verschillend mogelijke weersomstandigheden, maar bij een zo gelijk mogelijk verkeersbeeld. Tijdens de ritten is echter gebleken dat individuele voertuigen een grote invloed kunnen hebben op de metingen in de auto. Dit wordt veroorzaakt doordat de auto tijdens een aantal ritten een groot deel achter hetzelfde voertuig heeft gereden. Hoewel een aantal ritten dus door enkele voertuigen sterk is beïnvloed worden deze metingen niet weggelaten.

De emissiebronnen die verantwoordelijk zijn voor de pieken luchtvervuiling zijn aan de hand van videobeelden vastgesteld. Deze camera op de meetfiets is niet bij alle metingen gebruikt. Het synchroniseren van de meetapparatuur en de videobeelden kan op ongeveer twee seconden nauwkeurig. De hoogste pieken zijn toegeschreven aan brommers en scooters, fileverkeer, dieselbusjes en bijzondere voertuigen. Brommers en scooters bevinden zich relatief dicht bij de fietsers. Ze delen samen de fietspaden en passeren elkaar op minder dan een meter afstand. Ook hebben brommers minder efficiënte verbranding dan personenauto's. Bij fileverkeer hoopt de uitstoot van verschillende motorvoertuigen zich op en is er minder verdunning dan op plaatsen met doorstroming. Effecten van dieselbusjes zijn een aantal maal gemeten toen deze accelereerden. Daarnaast veroorzaakt diesel bij verbranding meer roet dan benzine. Bijzondere voertuigen tot slot betreffen vaak oudere voertuigen. Deze zijn niet van moderne filtertechnieken voorzien en stoten daardoor meer uit.

Ontbrekend of minder prominent aanwezig in de lijst van vervuilingbronnen zijn vrachtauto's, bussen en hoofdwegen. Mogelijke verklaringen zijn dat op de meetroutes niet vaak vrachtauto's en bussen zijn tegengekomen. Op plaatsen waar dit wel het geval was, reed de fietser op een parallel liggend fietspad, zodat er enige afstand tussen deze voertuigen en de fietser bleef. Ook hoofdwegen zijn van aparte fietspaden voorzien of voor fietsers ontoegankelijk. Een fietser komt dan niet dusdanig dicht in de buurt dat de hoogste pieken worden gemeten, omdat er tussen uitstoot en meting verdunning zal optreden.

De gemeten blootstelling aan UFP verschilt zowel voor de fietser als voor de automobilist per route. Vooral route 4 geeft afwijkend lage waarden. Dit traject is echter buiten de stad gelegen en zal in een stedelijke meting niet zo vaak worden aangetroffen.

PM<sub>2,5</sub> verschilt erg veel per dag en dientengevolge was het niet nuttig met de gemeten blootstellingen te werken zonder referentiemeting. Daarom is de verhouding in blootstelling tussen fietser en automobilist gebruikt. Deze verschilt significant per traject, maar de verschillen zijn klein. Dat verschillen kunnen worden aangetoond wordt deels veroorzaakt door de kleine spreiding van de data. De variatiecoëfficiënten in tabel 4.4 zijn ongeveer 0,2, terwijl bij de metingen van UFP in tabel 4.3 de variatiecoëfficiënten ongeveer 0,35 zijn.

Het vergelijken van meetresultaten voor UFP met ander onderzoek is moeilijk. Ieder type CPC heeft namelijk een eigen bereik. Vooral de kleinste deeltjes die kunnen worden geteld zijn belangrijk. Hämeri et al. [2002] laten bijvoorbeeld zien dat een TSI 3022, die deeltjes tot 3 nm kan tellen, ca. 20% hogere waarden geeft dan een TSI 3007. Deze telt deeltjes tot 7 nm. Ook Molnár et al. [2002] vergelijken hun onderzoek met een aantal andere onderzoeken. Zij laten zien dat het meetbereik één van de factoren is die de orde van grootte van de meetresultaten bepaalt. Bovendien is ook onderzoek met gelijke apparaten moeilijk te vergelijken. Vanwege de inlaatconstructie worden ongeveer 13% lagere waarden gemeten dan wanneer zonder deze constructie had kunnen worden gemeten. Tot slot vinden veel metingen niet mobiel in de stad plaats, maar stationair op drukke plaatsen. Veel stationaire metingen zijn verricht langs autowegen [bijvoorbeeld Hitchins et al., 2000 en Zhu et al., 2002]. Er zijn echter wel een aantal studies gedaan die fietser en automobilist vergelijken [Rank, 2001; Kaur et al., 2005a en 2005b]. Het type auto, vooral het bouwjaar, is echter van grote invloed.

De apparatuur die Kaur et al. [2005a en 2005b] gebruikt hebben om UFP op de fiets en in de auto te meten heeft dezelfde specificaties als de apparatuur in dit onderzoek. Zij geven echter niet de benodigde informatie over het inlaatsysteem dat zij gebruikten. Zij hebben gemeten op twee trajecten in het centrum van Londen. De resultaten die zij verkregen zijn een stuk hoger dan de waarden die werden gemeten in dit onderzoek. Waarschijnlijk hebben zij op erg drukke wegen gemeten. Opvallend is dat de fietser in hun onderzoek een gemiddeld lagere blootstelling ondervindt dan de automobilist. Data over de door hen gebruikte auto('s) vermelden zij echter niet.

De resultaten voor  $PM_{2,5}$  zeggen minder over de lokale luchtkwaliteit en de blootstelling aan de verkeersdeelnemers dan die voor UFP. Individuele bijdragen van voertuigen zijn namelijk niet terug te herkennen. Verschillen tussen de gereden trajecten zijn klein en niet significant. Janssen et al. [1996] maten daarentegen op straatniveau 30% hogere concentraties  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$  dan op achtergrondlocaties. De verschillen die in dit onderzoek naar voren kwamen tussen de drukste route (2) en de rustigste route (4) zijn kleiner. Waarschijnlijk komt dit omdat de afgelegde locaties van Janssen et al [1996] rustiger waren dan de rustige wegen uit dit onderzoek. Ook de manier van meten kan voor verschillen zorgen.

De verhouding in blootstelling aan zowel UFP als  $PM_{2,5}$  kan per traject verschillen. Voor UFP zijn de verschillen per traject groter dan voor  $PM_{2,5}$ . De spreiding van meetpunten is ook groter, waardoor de betrouwbaarheid van een meting minder wordt. In figuur 4.9 en 4.10 is dit goed te zien. De punten in figuur 4.9 liggen verspreid door het diagram, waar de punten van het ene traject zich vaker links boven bevinden en de punten van het andere traject zich vaker rechts onder bevinden. In figuur 4.10 lijken de punten zich op een lijn te bevinden. Toch zijn er verschillen per route gevonden. Dat de punten niettemin op één lijn lijken te liggen duidt er op dat de verschillen in verhouding niet groot zijn. De significantie is deels te verklaren omdat de verschillen in verhouding voor  $PM_{2,5}$  constanter zijn dan de metingen van UFP. Dit is te zien aan de variatiecoëfficiënten, die voor UFP ongeveer 0,35 zijn en voor de verhouding  $PM_{2,5}$  ongeveer 0,2.

### Weersinvloeden

Om een globaal beeld te geven van verschillen die per meetdag kunnen ontstaan zijn vier meetdagen met elkaar vergeleken. De absolute waarden verschillen significant per dag. UFP is op 24 april lager dan op alle andere dagen. Waarschijnlijk komt dit door de oostenwind. Terwijl op de andere dagen de drukke snelweg A2 windopwaarts ligt, blies de wind op deze dag de vervuiling de andere kant op. Per plaats zal het effect van de windrichting anders zijn. De metingen in dit onderzoek zijn ten oosten van de A2 gedaan, waardoor bij westenwind hogere concentraties zijn gemeten. Echter, in Den Bosch bijvoorbeeld zullen bij oostenwind hogere achtergrondconcentraties worden gemeten vanwege de ligging van de snelweg.  $PM_{2,5}$  verschilt nog meer per windrichting. Metingen van de vier meetdagen verschillen allen onderling significant van elkaar. Deze verschillen zijn bovendien groter dan voor UFP. De grootste waarde UFP is 1,5 keer zo groot als de kleinste gemeten waarde. Voor  $PM_{2,5}$  scheelt dit ruim een factor 9. Het vergelijken van luchtkwaliteit in verschillende steden, op basis van de absolute waarden van 1 dag meten, is dus weersafhankelijk. Wanneer niet de absolute waarde van de metingen wordt gebruikt maar de verhouding dan worden de weerseffecten teniet gedaan. Toch blijven er significante verschillen. De minst gunstige verhouding voor de fietser is op 28 maart en de gunstigste verhouding is op 24 april. Op deze datum is de verhouding 1,7 keer zo klein. Dit kan deels worden verklaard door de windsnelheid. De auto reed tijdens de metingen veel over drukke wegen. Als het hard waait worden de concentraties UFP op deze wegen beter verdund dan op dagen waarop er nauwelijks wind is. De automobilist zal bij hogere windsnelheden daardoor een relatief lagere blootstelling ondervinden dan bij lage windsnelheden. Wat betreft de verhouding  $PM_{2,5}$  zijn er ook verschillen per meetdag. Het grootste verschil is een factor 1,18. Een logische verklaring hiervoor ontbreekt. De verhouding in blootstelling aan UFP en  $PM_{2,5}$  tussen fietser en automobilist is dus niet alleen routeafhankelijk. Ook andere factoren, mogelijk het weer, kunnen deze verhouding beïnvloeden.

Zoals in hoofdstuk 2 al is beschreven veroorzaakt regen een afname van de concentratie  $PM_{2,5}$  in de lucht. Tijdens de testmetingen is slechts incidenteel bij regen gemeten. De meetapparatuur kan echter slecht tegen vochtigheid en geeft storingen en daardoor een onbetrouwbaar resultaat. Alleen op 27 maart werden metingen tijdens regen verricht. Op de betreffende dag ontbrak echter de camera, zodat niet kan worden geschat hoe druk de trajecten die dag waren. De metingen tijdens de stortbui (traject 3) geven echter verrassend hogere waarden dan de metingen van die dag op andere trajecten. Wat betreft de toepassing van deze resultaten in de Fietsbalans:

in de Fietsbalans wordt niet tijdens regen gemeten. Wanneer wolken wel dreigend boven de stad hangen (en de luchtvervuiling minder wordt verdund), maar het ogenschijnlijk droog blijft, gaan metingen wel door. Een aantal verkennende en monitorende metingen nabij het hoofdkantoor van de Fietsersbond laten bij zulke omstandigheden echter twee tot drie keer hogere gemiddelde waarden zien.

### **Correlatie tussen PM<sub>2,5</sub> en UFP**

Hoewel zowel PM<sub>2,5</sub> als UFP door verkeer worden veroorzaakt, is er geen correlatie tussen PM<sub>2,5</sub> en UFP gevonden. Dit komt overeen met resultaten van Wählin et al. [2003], Molnár et al. [2003] en het RIVM [1998]. Bovendien vermelden Wählin et al. [2003] dat UFP meer verkeersgevoelig is dan PM<sub>2,5</sub>. Ook dit komt overeen met de in dit onderzoek verkregen resultaten. Wählin et al. [2003] maten een afname in gemiddelde concentraties UFP van 47% op dagen dat het verkeer 54% minder dan normaal was. PM<sub>2,5</sub> daarentegen nam af met slechts 5%.

## **5.3 Bijzondere metingen**

### **Verschillen tussen een druk en een rustig punt**

Figuren 4.12a en 4.12b geven een illustratie van wat voor grafieken kunnen worden verwacht als gemeten wordt op plaatsen met veel motorverkeer en plaatsen met weinig motorverkeer. Waar op een rustige route een constante, lage waarde wordt gemeten, heeft de route op een drukke kruising veel pieken. Mogelijk kan hier een strategie uit worden gehaald voor beoordeling op fietsrouteluchtkwaliteit. Te denken valt aan het tellen van pieken of een aantal spreidingsmaten, zoals scheefheid of standaarddeviatie. Deze en een aantal andere ideeën zijn verder uitgewerkt in bijlage 10.

### **Parkeergarages**

De concentraties UFP en PM<sub>2,5</sub> in de parkeergarages zijn hoger dan de referentiemeting buiten. Dit effect wordt versterkt wanneer parkeergarages slecht worden geventileerd. Afhankelijk van de parkeermogelijkheden bevindt de automobilist zich langer of korter in de parkeergarage. De concentraties buiten de auto zijn groter dan in de auto. Daardoor wordt de blootstelling van de automobilist in de garage onderschat, terwijl de concentraties hoger zijn dan buiten de garage. Om tot een betere benadering te komen zou de meting in de auto kunnen worden gebruikt, welke wordt vermenigvuldigd met een nader te bepalen correctiefactor, eventueel uitgesplitst naar type garage.

### **Regio Utrecht**

De concentraties UFP zijn het laagst in de buurt van Bilthoven en Lage Vuursche. Dit is deels te verklaren door de afwezigheid van een achtergrondconcentratie afkomstig van de stad. Een gelijktijdige referentiemeting is niet verricht, dus is dit niet met zekerheid te stellen.

Bij de eerste ritten zijn de metingen PM<sub>2,5</sub> het laagst en gedurende de dag worden de concentraties steeds hoger. Enkele trajecten vormen vanwege het verkeersbeeld een uitzondering. Waarschijnlijk komt dit door het weer, hoewel de weersveranderingen tijdens de dag niet zijn bijgehouden.

### **Industrie**

De hoogste waarden die zijn gemeten op het industrieterrein waren te wijten aan verkeer. Deels komt dit omdat alleen op de wegen is gemeten en niet in de werkplaatsen zelf. Industriële activiteiten verstoren de metingen in de Fietsbalans niet. Een mogelijke bron die toch voor verstoring zorgt zijn schepen. Tijdens de metingen op het industrieterrein was de afstand tot een schip nooit kleiner dan 25 m. Dit veroorzaakte bij de automobilist, die daar

geparkeerd stond, een verhoogde blootstelling aan UFP. Tijdens de Fietsbalans is de kans om vlak langs een schip te rijden echter klein.

Er zijn geen pieken in blootstelling gemeten die aan industrie te wijten zijn. Dat wil nog niet zeggen dat industrie geen luchtvervuiling veroorzaakt. Mechanische activiteiten veroorzaken namelijk grover stof, wat in de gebruikte meetapparatuur wordt weggefilterd. Ook gassen worden door deze apparatuur niet waargenomen.

## 5.4 Toepassing in Fietsbalans

De in dit onderzoek verrichte metingen simuleren enerzijds metingen zoals die plaatsvinden in het Fietsbalansproject, anderzijds werden op zichzelf staande situaties gemeten. In deze paragraaf wordt ingegaan op ritten met tijdsverschillen, het elders parkeren - eventueel in een garage - en het communiceren van meetresultaten.

### Tijdsverschillen

Tijdens de Fietsbalans leggen fiets en auto dezelfde verbinding af. Hun reistijd kan echter verschillen. Blootstelling zou eigenlijk over een vaste tijd moeten worden gemeten. Wanneer de ene mobilist is aangekomen op de plaats van bestemming, ondervindt hij nog steeds een blootstelling aan UFP en PM<sub>2,5</sub>. Bij grote verschillen in reistijd is het mogelijk dat een korte hoge blootstelling tijdens de reistijd en een lage blootstelling op de plek van aankomst uiteindelijk netto lager uitkomt dan een lange redelijk hoge blootstelling tijdens een lange reistijd.

De tijd die de ene mobilist sneller is, wordt normaal thuis of op de plaats van bestemming doorgebracht. De blootstelling op deze plaatsen is meestal lager dan tijdens de reistijd. UFP en PM<sub>2,5</sub> zijn namelijk deels gekozen omdat ze door motorverkeer worden veroorzaakt. Het is tijdens de Fietsbalans echter niet gebruikelijk en vaak ook niet mogelijk op de plaatsen van bestemming luchtvervuiling te meten. Men wacht buiten bij de ingang en niet in de gebouwen zelf, waar men normaal zou verblijven. Hier is het –zeker voor de fietser- wel mogelijk om een inschatting te krijgen van deze extra blootstelling te meten tijdens het moment van wachten. Wanneer de automobilist eerder op de plaats van bestemming is, kan dit niet. Niet alleen meet de apparatuur namelijk de blootstelling in de auto (niet buiten), ook staat de auto bij veel metingen niet op de plaats van bestemming. De blootstelling van de automobilist op de plaats van bestemming zou echter geschat kunnen worden door de blootstelling van de fietser te meten gedurende de korte pauze na afloop van een rit.

### Aanvullende verplaatsingen

De testmetingen voor de Fietsbalans zijn op dezelfde manier uitgevoerd zoals in de Fietsbalans zal worden gemeten. Tijdens de testmetingen was het echter altijd mogelijk te parkeren op de plaats van bestemming. In de Fietsbalans zal dit – zeker wat betreft de auto – niet altijd mogelijk zijn.

Wanneer de fietser zijn rijwiel ergens anders moet stallen, kan hij tijdens het laatste dan wel eerste stuk zijn rugzak ophouden. De meting gaat dan gewoon door. Voor de automobilist is dit niet mogelijk. De meetapparatuur hangt aan de rugleuning van de stoel en is niet draagbaar. Wanneer de automobilist elders moet parkeren en het laatste of eerste stuk lopen moet, kan zijn blootstelling gedurende die tijd worden geschat door de gemiddelde blootstelling van de fietser te nemen op de plaats van bestemming. Een uitzondering zijn situaties waar het aannemelijk is dat deze benadering afwijkt van persoonlijk gemeten blootstelling. Voorlopig is het idee dat dit alleen in parkeergarages voorkomt. Hiervoor zou, zoals eerder genoemd, de meting in de auto kunnen worden gebruikt, waarbij met een nog nader te bepalen factor gecorrigeerd wordt.



### **Ventilatie**

Als standaard ventilatiestand is gekozen voor stand 2. Tijdens het meetseizoen is hiermee zonder verkeerskundige problemen (zoals beslagen ramen) gemeten. Mogelijk nadeel van deze ventilatiestand is echter een stralende zon. Tijdens één van de metingen liep de temperatuur op tot 36°C, wat de automobilist en indirect zijn veiligheid niet ten goede komt. Hoewel dit niet aan de meetresultaten te zien is, kan de vochtigheid in de auto door zweet oplopen. In de Fietsbalans wordt geen eis aan de maximumtemperatuur gesteld, hoewel deze het verkeersbeeld mogelijk zou kunnen beïnvloeden.

### **Communicatie van resultaten naar groter publiek**

De meetresultaten van dit onderzoek geven een indicatie van de gemiddelde concentraties UFP en PM<sub>2,5</sub> in de lucht die fietsers en automobilisten inademen. Om deze resultaten aan een groter publiek over te brengen zijn ze nog niet geschikt. De gemeten concentraties per dag zeggen het publiek niet veel. Een lijst met vervuilende voertuigen zoals in bijlage 9 maakt bij het grote publiek echter meteen duidelijk wat als vieze lucht moet worden beschouwd. Daarnaast is visualisatie een geschikt communicatiemiddel [Kaur et al., 2006]. Zowel voor wetenschappelijk als niet-wetenschappelijk publiek gaan verschillen in blootstelling middels deze presentatie van resultaten goed leven.

Iets over het gezondheidseffect van fietsers te zeggen blijft met deze resultaten lastig. Gedurende de reistijd ondervindt een fietser, zeker na een ademhalingscorrectie, een hogere blootstelling aan UFP en PM<sub>2,5</sub>. Deze hogere blootstelling kan echter niet zomaar naar individuele gezondheidsschade worden vertaald. Ook bewegen fietsers meer dan automobilisten. Deze lichaamsbeweging voorkomt mogelijke andere gezondheidsschade. De positieve gezondheidseffecten van fietsen worden uitgewerkt door Heim en Schuit [2006].

## **5.5 Gebruik resultaten**

Dit onderzoek heeft een overzicht opgeleverd van de blootstelling van fietsers en automobilisten aan UFP en PM<sub>2,5</sub> op verschillende plaatsen. Hoe deze kennis in de praktijk kan worden ingezet wordt in deze paragraaf uitgelegd.

### **Vergelijken blootstelling**

De meetresultaten geven een vergelijking in blootstelling tussen fietser en automobilist op verschillende trajecten. Deze verschillen willen nog niet zeggen dat de gemeten resultaten de verhouding in exacte blootstelling zijn. Er moet nog worden gecorrigeerd voor de ademhaling. Omdat een fietser zich meer inspannt dan een automobilist, ademt hij meer lucht in en kan hij meer luchtvervuiling binnenkrijgen. De verhouding in ademhalingsvolume die Rank et al. [2001] gebruiken is 2,3. Luchtvervuiling heeft daardoor meer consequenties voor fietsers dan voor automobilisten. Dit volume varieert echter per persoon. Ook de te rijden route en het weer hebben invloed. Een route waar men zonder onderbrekingen kan doorrijden is minder vermoeiend dan een route waar men voortdurend moet stoppen. Vlakke routes zijn minder vermoeiend dan routes met hellingen. Ook het weer kan een rol spelen. Tegenwind is immers vermoeiender dan wind mee.

Iemand die zich inspannt ademt bovendien dieper in. Daardoor wordt meer luchtvervuiling opgenomen. Daigle et al. [2003] geven aan dat hierdoor efficiëntere opname van de luchtvervuiling plaatsvindt. Dit maakt de situatie voor fietsers nog minder gunstig. Omdat een eventuele ademhalingscorrectie door zoveel aspecten wordt beïnvloedt, is een gedetailleerde analyse af te raden.

### Gezondheidseffecten

In paragraaf 2.4 zijn de gezondheidseffecten van UFP en PM<sub>2,5</sub> reeds besproken. De relatie tussen blootstelling aan PM<sub>2,5</sub> en gezondheid is gekwantificeerd in de vorm van een verhoogd risico. De gezondheidseffecten door verhoogde blootstelling aan fijn stof treffen niet elk individu en kunnen niet 1 op 1 vertaald worden. Een andere reden waarom luchtmetingen op zich niet direct naar gezondheidsschade kunnen worden vertaald is het gebrek aan informatie over de samenstelling van fijn stof tijdens metingen in de Fietsbalans. Het ene deeltje is schadelijker dan het andere. Mage [2002] schreef een artikel met de titel "A particle is not a PARTICLE". Hierin doelde hij erop dat fijn stof vaak als gelijk wordt beschouwd, terwijl sommige delen van fijn stof, zoals dieseluitstoot veel schadelijker zijn dan andere delen, zoals zeezout [RIVM, 2002]. De schadelijkheid tussen deeltjes kan meer dan een factor 100 verschillen [Mage, 2002].

### Toetsen wettelijke normen

Een veelgestelde vraag is of de luchtmetingen in de Fietsbalans kunnen worden toegepast voor de toetsing van wettelijke normen. De metingen in de Fietsbalans zijn hiervoor niet geschikt. Voor UFP is er geen wettelijke normering. Er is echter wel een correlatie tussen UFP en NO<sub>x</sub> [Noble et al., 2003; Seaton en Dennekamp, 2003; Westerdahl et al., 2005]. Wanneer voor UFP op een plaats veel hoge waarden worden gemeten, is dit een indicatie dat de concentratie NO<sub>x</sub> waarschijnlijk ook hoog is.

Ook de PM<sub>2,5</sub> meting biedt geen mogelijkheden tot het toetsen van de normen. Ten eerste is de norm niet op PM<sub>2,5</sub> gericht, maar op PM<sub>10</sub>. PM<sub>2,5</sub> geeft slechts een indicatie. Daarnaast zijn PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> erg weersgevoelig en zegt een dag meten dus niet zo veel. Tot slot berusten normen voor PM<sub>10</sub> op dag- en jaargemiddelden. Hiervoor wordt te kort gemeten en ook niet op een vaste plaats. Bovendien dient voor dergelijke metingen een gravimetrische methode te worden gebruikt, terwijl de DustTrak werkt op basis van een optische methode.

## 5.6 Vervolgonderzoek

In Nederland is nog maar weinig onderzoek gedaan naar UFP. Veel metingen van ultrafijn stof komen uit het buitenland, waar het klimaat anders is dan in Nederland. Vanwege het Nederlandse klimaat kunnen verschillen ontstaan. Nederland is tamelijk nat, waardoor druppeltjes als valse tellingen kunnen worden meegeteld. Ook metingen bij fietsers zijn vanwege de Nederlandse weginrichting anders vanwege de vele vrijliggende fietspaden. Deze fietspaden vergroten de afstand tussen fietser en gemotoriseerd verkeer. Hierdoor is de situatie minder ongunstig dan wanneer de fietser zich op de hoofdrijbaan zou bevinden, wat in buitenlands onderzoek [bijvoorbeeld Kaur 2005a] voorkomt. De metingen uit dit onderzoek en de Fietsbalans leveren daarom veel kennis op over de specifieke situatie in Nederland en individuele steden. Toch blijven er veel onzekerheden rondom de blootstelling van fietsers aan fijn stof en UFP.

Veel onderzoek naar UFP is langs drukke wegen, met name snelwegen, gedaan [bijvoorbeeld Hitchins et al., 2000, Zhu et al., 2002]. Hoewel de drukste wegen buiten de steden liggen en niet in de Fietsbalans voorkomen, gebeurt het soms toch dat tijdens de Fietsbalans langs deze drukke wegen wordt gereden. Vooral in steden met barrières zoals bijvoorbeeld bruggen, rijdt men met de meetfiets vlak langs deze drukke wegen. Voorbeelden zijn de Merwedeburg bij Gorinchem en de Rijnbruggen bij Arnhem. De meeste van deze bruggen hebben geen geluidsschermen, zodat fietsers een hoge blootstelling hebben. Zeker wanneer de brug open staat en er daardoor een file op de brug ontstaat kan de gemiddelde blootstelling oplopen. Bovendien moeten fietsers zich op de hellingen van de brug meer inspannen.

Ook wegwerkzaamheden kunnen de concentraties PM<sub>2,5</sub> en UFP behoorlijk beïnvloeden. Hoewel het meeste stof te groot is, kan de blootstelling tijdelijk sterk worden verhoogd.

De samenstelling van het fijn stof kan verschillen. In dit onderzoek is aangetoond dat wanneer automobilist en fietser dezelfde route afleggen, de automobilist een lagere blootstelling heeft. Dit komt vermoedelijk door de ventilatie. Interessant zou zijn om te weten of specifiek bepaalde delen van het fijn stof worden weggefilterd.

Daarnaast is uitgebreid gekeken naar de blootstelling van de fietser. Wanneer de blootstelling van de automobilist als referentie wordt gebruikt, zal ook deze nader onderzocht moeten worden. Ventilatiestand en plaats van meten zijn hiervoor erg belangrijk. Zo hebben Westerdahl et al. [2005] een inlaatsysteem gebruikt, waardoor lucht van buiten de auto wordt gemeten. Weyers et al. [2004] hebben in Nederland diverse situaties gemeten. Zij hebben echter slechts drie dagen in de auto gemeten, waarbij deeltjes vanaf 7 nm kunnen worden gedetecteerd. Het meest betrouwbaar is eigen onderzoek met behulp van de Fietzersbond meetauto. Voor knelpuntenanalyse is een camera in de auto dan onmisbaar.

Een van de manieren waarop de Fietsbalans resultaten presenteert is het vergelijken van steden. In dit onderzoek is aangetoond dat de absolute meetwaarden per meetdag kunnen verschillen. Ook de verhouding in blootstelling van fietser en automobilist kan per meetdag verschillen. De mogelijke invloed van het weer, en dan vooral van de windsnelheid, op de metingen zou onderzocht moeten worden. Bovendien zegt deze verhouding meer over de blootstelling van de automobilist dan over de blootstelling van de fietser. Er moet dus nog een manier worden gevonden, waarop metingen van verschillende meetdagen met elkaar kunnen worden vergeleken.

## Tussenconclusie

In dit hoofdstuk zijn alle meetresultaten behandeld. Samenvattend komt het erop neer dat:

- De betrouwbaarheid van de apparatuur en de meetuitrusting zijn onderzocht. De DustTraks verschillen structureel in meetwaarden, zodat een correctiefactor moet worden gebruikt. De CPC's verschillen niet in meetwaarden. Er zijn invloeden geconstateerd van de inlaatslangen en de ventilatiestand in de auto. Er zijn geen effecten van de snelheid op de fiets geconstateerd.
- De absolute waarden van UFP verschillen per traject, die van  $PM_{2,5}$  niet. Beide worden door het weer beïnvloed. De verhouding in blootstelling aan zowel UFP als  $PM_{2,5}$  tussen fietser en automobilist verschilt per traject. Ook hier zijn echter verschillen per meetdag, hoewel deze niet door het weer alleen kunnen worden verklaard.
- Er zijn verschillen te zien tussen de meetwaarden op drukke en rustige trajecten. Meetwaarden in de regio zijn lager dan metingen in de stad. Industriële activiteiten hebben geen invloed op de metingen in de Fietsbalans.
- Voor toepassing in de Fietsbalans kan de methodiek uit dit onderzoek worden gebruikt met aanvullende adviezen voor verschillen in reistijd en aanvullende verplaatsingen. Daarnaast wordt de ventilatiestand heroverwogen en wordt voorbeeld van communicatie over luchtvervuiling aangereikt.
- Om de blootstelling van fietser en automobilist te vergelijken dient op de meetresultaten een ademhalingscorrectie te worden toegepast. Individuele gezondheidseffecten zijn niet aan te geven op basis van de metingen. Ook wettelijke normeringen kunnen niet worden getoetst op basis van de metingen in de Fietsbalans.
- Tot slot wordt nader onderzoek aanbevolen naar nog niet onderzochte situaties met hoge concentraties UFP en fijn stof, zoals drukke wegen en wegwerkzaamheden. Ook de samenstelling van fijn stof per persoon zou nader moeten worden onderzocht. Voor integratie van luchtkwaliteit als meetfactor in de Fietsbalans moet nog verder worden gezocht naar een manier om steden te vergelijken op luchtvervuiling.

## Hoofdstuk 6

# Conclusie

In hoofdstuk 1 zijn een aantal vragen gesteld. In hoofdstuk 2 is achtergrondinformatie over deze vragen gegeven. In hoofdstuk 3 is weergegeven hoe de vragen zijn onderzocht. De uitkomsten van deze onderzoeken zijn uitgewerkt in hoofdstuk 4. Hoe deze resultaten dienen te worden geïnterpreteerd en hoe betrouwbaar de resultaten zijn is in het vorige hoofdstuk uitgelegd. In dit hoofdstuk worden tot slot de vragen beantwoord.

### 6.1 De hoofdvragen

In de inleiding zijn de volgende vragen gesteld:

Met betrekking tot het verkrijgen van een goede, betrouwbare meting:

1. Wat zijn de onzekerheden en gevoeligheden van de gebruikte meetapparatuur?
2. Wat voor effect heeft het luchtinlaatsysteem op deze metingen?
3. Wat voor invloed heeft de snelheid van de fietser op de metingen?
4. Wat voor invloed heeft de ventilatiestand in de auto op de metingen?
5. Hoe beïnvloedt het weer de meetresultaten?

Met betrekking tot het analyseren van knelpunten:

6. Wat voor verkeerssituaties zorgen voor hoge pieken in blootstelling?
7. Hoe beïnvloeden toevallige verkeerssituaties de gemiddelde blootstelling?

Met betrekking tot vergelijking en beoordeling van de gegevens:

8. Hoe kunnen de blootstelling van fietser en automobilist met elkaar worden vergeleken?

Met betrekking tot interpretatie van de gegevens:

9. Wat voor gezondheidsschade veroorzaken fijn stof en hieraan gerelateerde stoffen?

### 6.2 De conclusies

1. De deeltjestellers (CPC's) geven nagenoeg dezelfde waarden aan. De onzekerheid is volgens fabrieksspecificaties 20%. De hoogste gemeten waarden zijn bijna 80 keer zo hoog als de laagst gemeten waarden. De massameters (DustTraks) verschillen echter gemiddeld 22%. De secundemetingen trillen sterk, maar dempen uit op langere termijn. Ten opzichte van een gravimetrische methode wordt in stedelijke omgeving een systematische overschatting gemaakt.
2. Het inlaatsysteem zorgt voor een extra vertraging van de metingen van het aantal deeltjes ultrafijn stof (UFP) en  $PM_{2,5}$  van bijna 2 seconden. Daarnaast worden de pieken gedempt en afgevlakt. De metingen

- van UFP worden bovendien verlaagd. Met inlaatconstructie wordt 85 tot 90% gemeten van de waarden die zonder inlaat zouden zijn gemeten. De metingen van  $PM_{2,5}$  worden niet of nauwelijks (<2%) verlaagd.
3. De snelheid waarmee wordt gefietst heeft geen invloed op de metingen UFP en  $PM_{2,5}$ .
  4. Hoe meer ventilatie in de auto, hoe hoger de blootstelling van de automobilist aan UFP en hoe minder aan  $PM_{2,5}$ . Metingen in ventilatiestand 2 met en zonder het pollenfilter of met het open raam geven geen significante verschillen voor UFP, maar wel voor  $PM_{2,5}$ . Tijdens de Fietsbalans komt er een standaardventilatie. Dit is doorventilatie op stand 2.
  5. Het weer kan voor verschillen zorgen in concentraties UFP en  $PM_{2,5}$ . Voor UFP zijn per dag verschillen tot 50% gemeten, voor  $PM_{2,5}$  kunnen meetdata een factor 9 per meetdag variëren. Metingen van UFP worden vooral beïnvloed door de bronnen windopwaarts. Voor  $PM_{2,5}$  worden bij oostenwind hogere concentraties gemeten dan bij westenwind. Ook de verhouding in blootstelling tussen fietser en automobilist kan per meetdag verschillen. Voor UFP speelt de windsnelheid een mogelijke rol, voor  $PM_{2,5}$  is de reden niet bekend.
  6. Hoge piekwaarden in UFP worden veroorzaakt door scooters en brommers, optrekkend verkeer en fileverkeer, vrachtauto's en dieselbusjes en bijzondere voertuigen.
  7. Hoge gemiddelden UFP worden behalve door het weer veroorzaakt door de hoeveelheid verkeer en de hoogte van de pieken. In de auto hebben individuele voertuigen grote invloed, omdat de auto hiermee gelijk opgaat in het verkeer.  $PM_{2,5}$  toont ten opzichte van UFP weinig variatie per plaats of per situatie. Alleen het weer heeft een merkbare invloed op de blootstelling  $PM_{2,5}$ .
  8. Hoewel de verhouding in blootstelling aan UFP en  $PM_{2,5}$  per meetdag kan verschillen is dit niet door het weer alleen te verklaren. Daarom kunnen deze blootstellingen door de metingen van de Fietsbalans worden vergeleken.
  9. Aan fijn stof wordt een aantal negatieve gezondheidseffecten toegeschreven. Kortdurende hoge blootstelling veroorzaakt in Nederland 1700 tot 3000 doden per jaar. Aan langdurige blootstelling worden in Nederland 10.000 tot 15.000 doden toegeschreven. Behalve sterfte worden een aantal ziekten en aandoeningen aan fijn stof gerelateerd: respiratoire aandoeningen, verergering van astma, acute ademhalingsproblemen, en chronische bronchitis, hart- en vaatziekten. UFP is een deel van fijn stof. Er zijn vermoedens dat dit deel extra schadelijk is, maar dit is niet wetenschappelijk aangetoond.

### 6.3 Aanbevelingen voor de Fietsbalans

- UFP is een zeer geschikte stof om in de Fietsbalans te meten. De apparatuur komt goed met elkaar overeen en geeft een zichtbare uitslag bij de meeste passerende motorvoertuigen.
- $PM_{2,5}$  is minder geschikt om tijdens de Fietsbalans te meten. De praktijkervaringen leren dat betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de DustTraks minder zijn dan die van de CPC's. Daarnaast zijn variaties in concentratie  $PM_{2,5}$  kleiner.
- De draagconstructie heeft een constant effect op de meting. De apparatuur blijft bovendien goed functioneren tijdens het meten. Slecht wegdek verhoogt de kans op TILT-meldingen en dus op storingen.
- De effecten van de ventilatiestand in de auto zijn meetbaar. Daarom zal een bepaalde ventilatiestand in het meetprotocol moeten worden opgenomen.
- Industriële activiteiten langs de route hebben geen invloed.
- Het effect van parkeergarages kan relevant zijn. Nader onderzoek hiernaar en vooral het verwerken hiervan in de Fietsbalans wordt aanbevolen.

- Er zijn voor wat betreft UFP verschillen aangetoond tussen routes met een hoge en met een lage blootstelling. Een onderzoek naar een weersonafhankelijke variabele en een heldere vertaling van de metingen voor communicatiedoeleinden ontbreekt nog. Een nadere studie die zich hier op richt wordt aanbevolen.

## Woordenlijst

<b>Coagulatie</b>	Samenklontering van deeltjes fijn stof. Uit meerdere, kleinere deeltjes ontstaat 1 groter deeltje.
<b>CPC =</b>	Apparaat dat het aantal deeltjes in de lucht telt. In oudere literatuur vaak nog CNC (Condensation
<b>Condensation</b>	<u>Nucleus</u> Counter) genoemd.
<b>Particle Counter</b>	
<b>CV =</b>	Standaarddeviatie / aritmetisch gemiddelde; De variantiecoëfficiënt relateert de
<b>variantiecoëfficiënt</b>	standaarddeviatie en het gemiddelde.
<b>Diameter</b>	In dit verslag wordt met diameter de aërodynamische diameter bedoeld. Deeltjes met een bepaalde aërodynamische diameter gedragen zich in een luchtstroming zoals een rond bolletje met deze diameter. Verkeersuitstoot is op het niveau van nanometers behoorlijk pluizig met een open structuur, waardoor de aërodynamische diameter een stuk kleiner is dan de eigenlijke diameter.
<b>Fietsbalans</b>	vergelijkingsprogramma van het fietsklimaat tussen steden > 20.000 inwoners in Nederland
<b>Gemiddelde</b>	Aritmetisch en geometrisch. Het aritmetisch gemiddelde is de som/aantal getallen. Het geometrisch gemiddelde is het totale product tot 1/n-de macht. Voorbeeld: 4 getallen: 2, 3, 5 en 6.  Aritmetisch gemiddelde: $\frac{2 + 3 + 5 + 6}{4} = \frac{16}{4} = 4$  Geometrisch gemiddelde: $\sqrt[4]{2 * 3 * 5 * 6} = \sqrt[4]{180} = 3,66$
<b>Mobilist</b>	iemand die zich verplaatst, ongeacht vervoermiddel.
<b>PM<sub>x</sub></b>	Massa per m <sup>3</sup> van de deeltjes met een aërodynamische diameter kleiner dan x µm (10 <sup>-6</sup> m). Meest gebruikelijke maten zijn PM <sub>10</sub> en PM <sub>2,5</sub> .
<b>Rit</b>	Enkele reis op een traject
<b>Route</b>	Verplaatsing tussen twee punten volgens de voor dat voertuig meest logische route.
<b>Scheefheid</b>	Verdelingsmaat voor een groep getallen (minstens 3). Een positieve scheefheid betekent dat de meeste getallen kleiner zijn dan het gemiddelde; een negatieve scheefheid dat de meeste getallen groter zijn dan het gemiddelde.
<b>Standaarddeviatie</b>	Gemiddelde (absolute) afwijking van het (aritmetisch) gemiddelde. Hoe dichter de getallen bij elkaar zitten, des te kleiner de standaarddeviatie. Voorbeeld: twee getallen: 4 en 6.  Het gemiddelde is $\frac{4 + 6}{2} = 5$ . De standaarddeviatie wordt: $\frac{ 4 - 5  +  6 - 5 }{2} = \frac{1 + 1}{2} = 1$
<b>Traject</b>	Verplaatsing tussen twee punten
<b>UFP = ultra fine particles (ultrafijn stof)</b>	in dit verslag wordt hiermee het tellen van deeltjes bedoeld.

## Literatuurlijst

**Centraal Bureau voor de Statistiek (2006)**

<http://www.cbs.nl>, februari - mei 2006

**Chan, A.T. and M.W. Chung (2002)**

Indoor-outdoor air quality relationships in vehicle: effect of driving environment and ventilation modes. *Atmospheric Environment* 37: 3795-3808.

**Charron, A. and R.M. Harrison (2005)**

Fine (PM<sub>2,5</sub>) and Coarse (PM<sub>2,5-10</sub>) Particulate Matter on a Heavily Trafficked London Highway: Sources and Processes. *Environmental Sciences Technology* (39): 7768-7776.

**Daigle, C.C., D.C. Chalupa, F.R. Gibb, P.E. Morrow, G. Oberdörster, M.J. Utell and M.W. Frampton (2003)**

Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise. *Inhalation Toxicology* (15): 539-552.

**Dockery, D.W., C.A. Pope III, and X. Xu (1993)**

An association between air pollution and mortality in six US cities. *N Engl J Med* 329: 1753-1759.

**Donaldson, K., X.Y. Li and W. MacNee (1998)**

Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury. *Journal of aerosol science*. (29): 553-560.

**Fietsersbond (2006)**

Fietsbalans <http://www.Fietsbalans.nl>, februari - mei 2006

**Gulliver, J. and D.J. Briggs (2004)**

Personal exposure to particulate air pollution in transport microenvironments. *Atmospheric Environment* (38): 1-8.

**Hämeri, K., I.K.Koponen, P.P. Aalto and M. Kulmala (2002)**

The particle detection efficiency of the TSI-3007 condensation particle counter. *Aerosol Science* (33): 1463-1469.

**Heim, N. en A.J. Schuit (2006)**

Fietsen en Gezondheid (in ontwikkeling)



**Hitchins, J., L. Morawska, R. Wolff and D. Gilbert (2000)**

Concentrations of sub-micrometer particles from vehicle emissions near a major road. *Atmospheric Environment* (34): 51-59.

**Hoek, G., J.D. Schwartz, B. Groot and P. Eilers (1997)**

Effects of Ambient Particulate Matter and Ozone on Daily Mortality in Rotterdam, the Netherlands. *Archives of Environmental Health* 52(6): 455-463.

**Hoek, G., B. Brunekreef, S. Goldbohm, P. Fischer and P.A. van den Brandt (2002)**

Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *The Lancet* 360: 1203-1209.

**Janssen, I., P.T. Katzmarzyk, T.S. Church, and S.N. Blair (2005)**

The Cooper Clinic Mortality Risk Index. *American Journal of Preventive Medicine* 29(3): 194-203

**Janssen, N.A.H., D.F.M. van Mansom, K. van der Jagt, H. Harssema and G. Hoek (1996)**

Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations. *Atmospheric Environment* (31): 1185-1193.

**Kaur, S., M.J. Nieuwenhuijsen and R.N. Colvile (2005a)**

Personal exposure of street canyon intersection users to PM<sub>2.5</sub>, ultra fine particle counts & carbon monoxide in Central London, UK. *Atmospheric Environment* 39: 3629-3641.

**Kaur, S., M.J. Nieuwenhuijsen and R.N. Colvile (2005b)**

Pedestrian exposure to air pollution along a major road in Central London, UK. *Atmospheric Environment* 39: 7307-7320.

**Kaur, S., R.D.R. Clark, P.T. Walsh, S.J. Arnold, R.N. Colvile and M.J. Nieuwenhuijsen, (2006)**

Exposure visualization of ultrafine particle counts in a transport microenvironment. *Atmospheric Environment* 40: 386-398.

**KNMI (2006)**

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut <http://ww.knmi.nl>, februari - mei 2006

**Künzli N., R. Kaiser and S. Medina (2000)**

Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet* (356): 795-801.

**Leung, P. and R.M. Harrison (1999)**

Roadside and in-vehicle concentrations of monoaromatic hydrocarbons. *Atmospheric Environment* 33: 191-204.

**Mage, D.T. (2002)**

A particle is not a *particle* is not a PARTICLE. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 12: 93-95.

**Maynard, A.D. and L.C. Kenny (1995)**

Performance assessment of three personal cyclone models, using an aerodynamic particle sizer. *Journal of Aerosol Science* (26): 671-684.

**Molnár, P., S. Janhäll and M. Hallquist (2002)**

Roadside measurements of fine and ultrafine particles at a major road north of Gothenborg. *Atmospheric Environment* (36): 4115-4123.

**Noble, C.A., S. Mkerjee, M. Gonzales, C.E. Rodes, P.A. Lawless, S. Natarajan, E.A. Myers, G.A. Norris, L. Smith, H. Özkaynak and L.M. Neas (2003)**

Continuous measurements of fine and ultrafine particulate matter, criteria pollutants and meteorological conditions in urban El Paso, Texas. *Atmospheric Environment* (37): 827-840.

**Pitz, M., W.G. Kreyling, B. Hölscher, J. Cyrys, H.E. Wichmann and J. Heinrich, (2001)**

Change of the ambient particle size distribution in East Germany between 1993 and 1999. *Atmospheric Environment* 35: 4357-4366.

**Pope, C.A. III (2000)**

Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanisms and who's at risk? *Environmental Health Perspectives* 108 (suppl 4): 713-723

**Queensland Government (2006)**

Environmental Protection Agency Queensland / Queensland Parks and Wildlife Service  
[http://www.epa.qld.gov.au/environmental\\_management/air/air\\_quality\\_monitoring/air\\_pollutants/airborne\\_particulates/](http://www.epa.qld.gov.au/environmental_management/air/air_quality_monitoring/air_pollutants/airborne_particulates/), februari - mei 2006

**Rank, J., J. Folke and P.H. Jespersen, (2001)**

Differences in cyclists and car drivers exposure to air pollution from traffic in the city of Copenhagen. *The Science of the Total Environment* 279: 131-136.

**RIVM (1998)**

On health risks of ambient PM in the Netherlands. Executive summary. RIVM Rapport 650010033, Bilthoven.

**RIVM (2001)**

Composition and origin of Airborne Particulate Matter in the Netherlands. RIVM report 650010029, Bilthoven.

**RIVM (2002)**

On health risks of ambient PM in the Netherlands. RIVM report 650010033, Bilthoven.

**RIVM (2006a)**

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. <http://www.rivm.nl>, februari - mei 2006

**RIVM (2006b)**

Actuele smogsituatie. <http://www.lml.rivm.nl>, februari - mei 2006

**Sardar, S.B., P.M. Fine, P.R. Mayo and C. Sioutas (2005)**

Size-Fractionated Measurements of Ambient Ultrafine Particle Chemical Composition in Los Angeles Using the NanoMoudi. *Environmental Sciences Technology* 39: 932-944.

**Seaton, A. and M. Dennekamp (2003)**

Hypothesis: Ill health associated with low concentrations of nitrogen dioxide – an effect of ultrafine particles? *Thorax* 58: 1012-1015.

**Seinfeld, J.H., and S.N. Pandis, (1998)**

Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. Wiley, New York. pp. 653-663 + p. 998.

**Sijffers, R. (2006)**

Persoonlijke mededeling.

**Sioutas, C., R.J. Delfino and M. Singh, (2005)**

Exposure Assessment for Atmospheric Ultrafine Particles (UFPs) and Implications in Epidemiologic Research. *Environmental Health Perspectives*. 113(8): 947-955.

**Sitzmann, B., M. Kendall, J. Watt and I. Williams (1999)**

Characterisation of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy. *The Science of the Total Environment* (241): 63-73.

**TSI (2004)**

Model 3007 Condensation Particle Counter. TSI Incorporated, Shoreview, MN, USA.

**TSI (2005)**

Model 8520 DustTrak Aerosol Monitor. TSI Incorporated, Shoreview, MN, USA.

**Vinzents, P.S., P. Møller, M. Sørensen, L.E. Knudsen, O. Hertel, F.P. Jensen, B. Schibye and S. Loft, (2005)**

Personal exposure to ultrafine particles and Oxidative DNA damage. *Environmental Health Perspectives* (113): 1485-1490.

**Wählin, P., F. Palmgren and R. van Dingenen, (2001)**

Experimental studies of ultrafine particles in streets and the relationship to traffic. *Atmospheric Environment* 35 supplement 1. S63-69.

**Westerdahl, D., Fruin, S., Sax, T., Fine, P.M., Sioutas, C. (2005)**

Mobile platform measurements of ultrafine particles and associated pollutant concentrations on freeways and residential streets in Los Angeles. *Atmospheric Environment* 39: 3597-3610.

**Weyers, E.P., A.Y. Khlystov, G.P.A. Kos and J.W. Erisman (2004)**

Variability of particulate matter along roads and motorways determined by a moving measurement unit. *Atmospheric Environment* (38): 2993-3002.

**WHO (2000)**

Air quality guidelines for Europe, 2nd ed. Copenhagen: World Health Organization Regional Publications, European series 91

**Xiong, C and S.K. Friedlander (2001)**

Morphological properties of atmospheric aerosol aggregates. PNAS (98): 11851-11856.

**Yanosky, J.D., P.L. Williams and D.L. MacIntosh, (2002)**

A comparison of two direct-reading aerosol monitors with the federal reference method for PM<sub>2.5</sub> in indoor air. Atmospheric Environment (36): 107-113.

**Zhang, K.M., A.S. Wexler, Y. Zhu, W.C. Hinds and C. Sioutas (2004)**

Evolution of particle number distributions near roadways. Part II: The "road-to-ambient process". Atmospheric Environment (38): 6655-6665.

**Zee, S.C., G. van der Hoek, H. Harssema and B. Brunekreef (1998)**

Characterisation of particulate air pollution in urban and non-urban areas in the Netherlands. Atmospheric Environment (32): 3717-3729.

**Zhu, Y., W.C. Hinds, S. Kim, S. Shen and C. Sioutas (2002)**

Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. Atmospheric Environment (36): 4323-4335.

## Bijlagen

# Bijlage 1

## Testtrajecten

Er zijn vier trajecten gereden, die in het verslag met een nummer worden aangeduid. In deze bijlage worden de routes beschreven en met een kaart aangevuld<sup>6</sup>. Soms verschilt de heenroute iets van de terugroute. In de kaart is een afwijkende terugroute met een stippellijn ingetekend.

### Route 1: Balistraat - Uytdehaageplantsoen

Route 1 is geselecteerd omdat auto en fiets zich via een verschillende route verplaatsen. De route van de auto is redelijk druk, die van de fietser vrij rustig. De automobilist zal daardoor een relatief hoge blootstelling ondervinden, de fietser een relatief lage.

**fiets:** la Kanaalstraat – ra Damstraat – ra Leidseweg – ra Mozartlaan - la Wagnerlaan – ra Debussystraat - la langs plantsoen.

**auto:** la Kanaalstraat – la Damstraat – ra Vleutenseweg – rd Westplein – rd Graadt van Roggeweg – rd Weg der VN - ra Pijperlaan – rd Haydnlaan – ra Händelstraat, plantsoen aan de rechterkant. (Terugweg vanaf het Westplein meteen de Damstraat in)



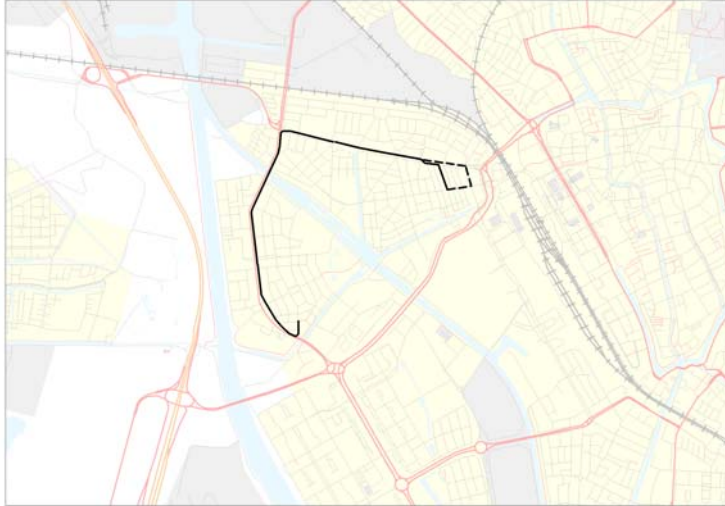
**Figuur B1.1 Route 1**

<sup>6</sup> In de digitale versie van dit document zijn de kaarten in kleur opgenomen. De routes die per fiets zijn afgelegd zijn daarin met rood ingetekend. De routes per auto of zowel per auto als per fiets zijn met zwart ingetekend. Deze digitale versie is gratis als pdf beschikbaar via [www.bio.uu.nl/wetenschapswinkel](http://www.bio.uu.nl/wetenschapswinkel)

*Route 2: Uytdehaageplantsoen - Balistraat*

Route 2 is geselecteerd omdat auto en fiets zich over dezelfde, drukke weg verplaatsen. Beide zullen daardoor een relatief hoge blootstelling ondervinden.

**fiets en auto:** Händelstraat, ra Haydnlaan – rd Lessinglaan – rd Spinozaweg – ra Vleutenseweg – ra Balistraat.



**Figuur B1.2 Route 2**

*Route 3: Balistraat – Zwembad Krommerijn*

Route 3 is geselecteerd omdat auto en fiets zich over een verschillende weg verplaatsen. Beide wegen zijn echter behoorlijk druk. Beide zullen daardoor een relatief hoge blootstelling ondervinden.

**fiets:** Balistraat - la Kanaalstraat – rd Sijpesteijnkade/tunnel (terugweg via Daalsetunnel) – rd Smakkelaarsveld – rd Vredenburg – rd Viestraat – rd potterstraat – rd Jansstraat/kerkhof – rd Nobelstraat – rd nachtegaalstraat – rd burg. Reigerstraat – rotonde rechts en na 30 m links fietspad door het park – rd pr Hendriklaan – ra Platolaan – rd weg naar Rhijnauwen – ra parkeerplaats.

**auto:** Balistraat – la Kanaalstraat – la Damstraat – ra Westplein - la Croeselaan – la vondellaan – weg volgen, einde la Albatrosstraat – einde ra Venuslaan – rd Rubenslaan – rd Herculesplein – la Weg tot de Wetenschap – la weg naar rhijnauwen

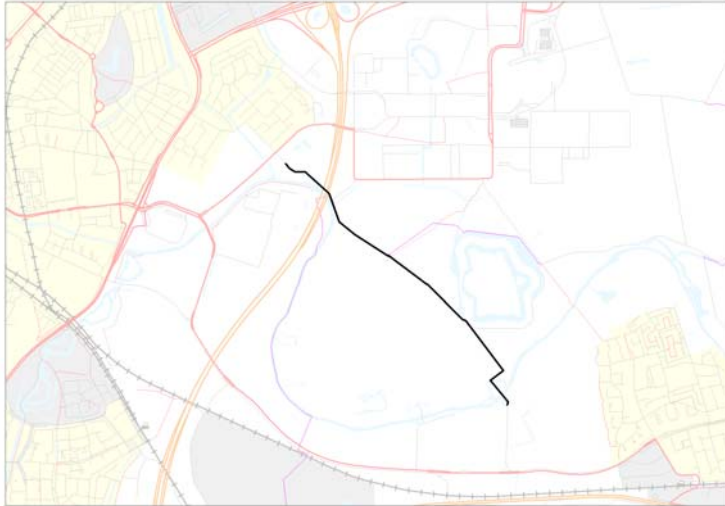


**Figuur B1.3 Route 3**

*Route 4: Zwembad Krommerijn - Rhijnauwenselaan*

Route 4 is geselecteerd omdat auto en fiets zich over dezelfde, rustige weg verplaatsen. Beide zullen daardoor een relatief lage blootstelling ondervinden.

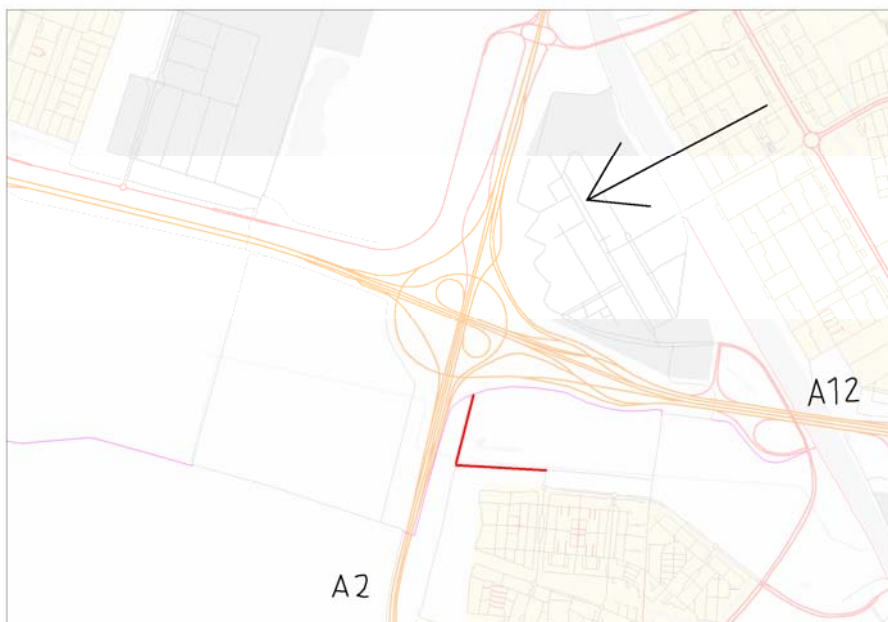
**fiets en auto:** Vossegatsedijk – rd Rhijnauwenselaan (met bochten mee) – door de poort en over het brugje tot de parkeerplaats.



**Figuur B1.4 Route 4**

**Snelheidstest**

De snelheidstest is alleen met de fiets uitgevoerd op een rustige weg met een hoge achtergrondconcentratie. Een geschikt traject hiervoor zijn de Reijnesteijnseweg (doodlopende eind met keerlus) en de Galecopperwetering. Deze route is ingetekend in figuur B1.5. Tijdens de test kwam de wind uit het noordoosten (pijl), zodat het verkeer van de A12 de belangrijkste bron van achtergrondconcentratie zal zijn geweest. Het traject is in totaal ruim 1,5 km lang. Een meting duurde daardoor 5 minuten bij 21 km/h tot 8,5 minuten bij 12 km/h.



**Figuur B1.5 route voor snelheidstest**

De pijl geeft de overheersende windrichting tijdens de meting weer.

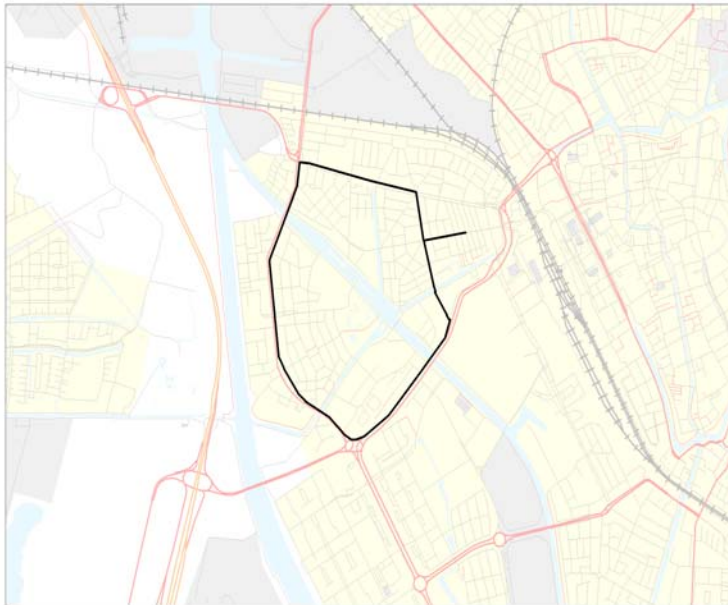


### Ventilatie tests

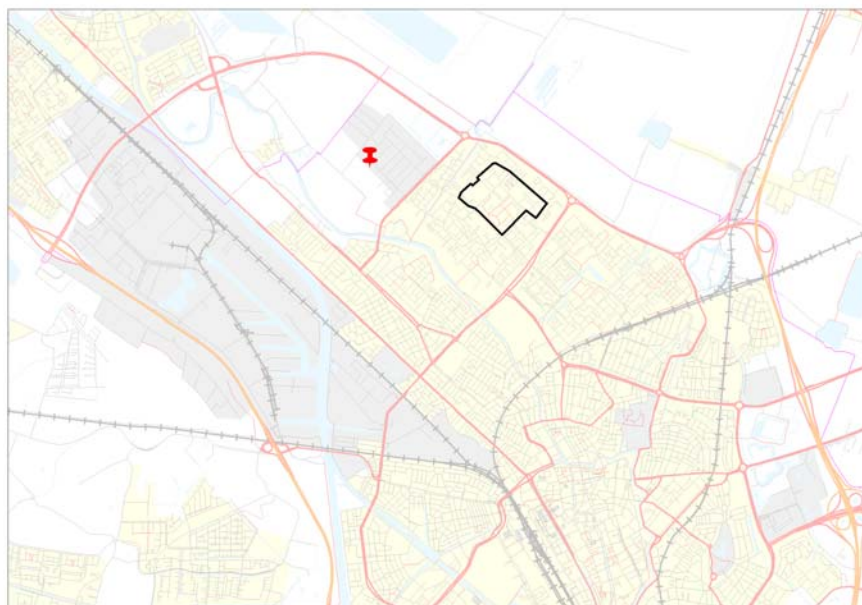
Met de auto is tweemaal een traject herhaaldelijk gereden op een middag. Het eerste traject dat gereden is (figuur B1.6) is nabij het kantoor van de Fietsersbond. Toen naderhand bleek dat individuele voertuigen grote invloed op een meting kunnen hebben, is later een ander (figuur B1.7) traject gereden. Omdat bovendien het pollenfilter tijdelijk diende te worden verwijderd is dit traject nabij de autogarage opgesteld. Dit is de punaise in figuur B1.7.

**Traject 1:** Balistraat – ra kanaalstraat – la JP Coenstraat – rd koningsbergerstraat – ra Graadt van Roggweg – ra Pijperlaan – rd Haydnlaan – rd Lessinglaan – rd Spinozaweg – ra Vleutenseweg – ra JP Coenstraat – la Kanaalstraat – la Riouwstraat – ra Vleutenseweg – ra Balistraat

**Traject 2:** Ammandreef – la Indusdreef – ra Tigrisdreef – ra Zambesidreef – ra Nigerdreef – la Gambiadreef – ra Carnegiedreef – rd Rio Brancodreef – ra Tigrisdreef – ra Ammandreef.



**Figuur B1.6 testtraject 1**



**Figuur B1.7 testtraject 2**

De punaise geeft de locatie aan van de garage, waar het pollenfilter is verwijderd.

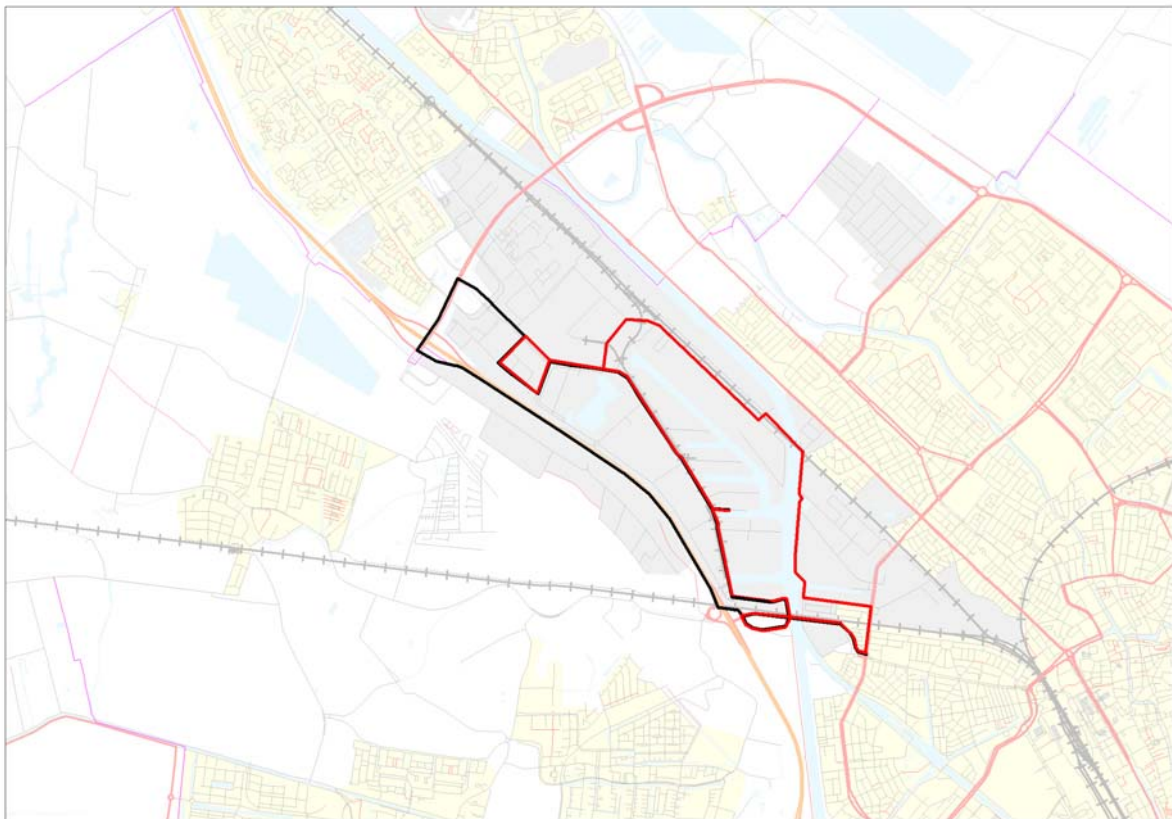


### Industrie

Om de invloed van industrie te verkennen is rondgereden op industrieterren Lageweide. Er is vertrokken vanaf de kruising Vleutenseweg - Cartesiusweg. De routes leidden onder andere langs een tankstation, een cementbedrijf en een haven. Daarnaast wordt veel vrachtverkeer ontmoet.

**Fiets:** Vleutenseweg – la oude Vleutenseweg – rd elektronweg -rd Atoomweg – ra kernkade – keren en ra atoomweg – la reactorweg – ra Savannahweg – 3<sup>e</sup> weg rechts en aan einde ra atoomweg – la O. Hahnweg – ra isotopenweg – la cyclotronweg – ra Spoorbrug – la Havenweg – rd Keulsekade – la Fregatweg – ra T A Kempisweg.

**Auto:** Vleutenseweg – la oude Vleutenseweg – rd elektronweg -rd Atoomweg – ra kernkade – keren en ra atoomweg – la reactorweg – ra Savannahweg – 3<sup>e</sup> weg rechts en aan einde la atoomweg – rd Lageweidseslag – la Zuilensering – la A2, bij Afrit 7 eraf en via Vleutenseweg terug.



**Figuur B1.8 Routes van fiets (rood) en auto (zwart) over het industrieterrein**

### **Fietsroute door de regio Utrecht**

Balistraat:

Balistraat - la Kanaalstraat – rd Sijpesteijnkade/tunnel (terugweg via Daalsetunnel) – rd Smakkelaarsveld – rd Vredenburg – rd Viestraat – rd pottenstraat – rd Jansstraat/kerkhof – rd Nobelstraat – rd nachtegaalstraat – rd burg. Reigerstraat – rotonde rechts en na 30 m links fietspad door het park – rd pr Hendriklaan – ra Platolaan – Krommerijn.

Krommerijn:

Keren en ra Weg tot de Wetenschap – rd Heidelberglaan – la Universiteitsweg – rd Uppsalalaan – rd fietspad (onder A28 door) – la/ra Oude Bunnikseweg – rd Kapelweg – De Bilt.

De Bilt:

ra Burg. De Withstraat – la Soestdijkseweg Zuid – Bilthoven

Bilthoven:

rd Soestdijkseweg Noord – la Vuurscheweg – Maartensdijkseweg

Maartensdijkseweg:

rd Vuursche steeg – Lage Vuursche

Lage Vuursche:

rd Dorpsstraat – rd Kloosterlaan – rd Lage vuursche weg – ra Huidecopersweg – la Soestdijkerstraatweg – Hilversum Sportpark

Hilversum Sportpark:

Rd Soestdijkerstraatweg – rd Emmastraat – ra Achterom – ra Schapenkamp – ra Station

Station:

Wilhelminastraat – rd pad langs spoor – la oude Amersfoortseweg – ra compagnieweg – la van Riebeeckweg – Ziekenhuis

Ziekenhuis:

Keren en terug van Riebeeckweg – ra Soestdijkerstraatweg – la Laapersweg – rd Gijsbrecht van Amstelstraat – la Zevenrijnstraat – rd Kerkenlandenlaan – kerkenlande.

Kerkenlande:

La Oscar Romerolaan – ra Loosdrechtsedijk – rd Molenmeent – ra Nieuw loosdrechtsedijk – la Tjalk.

Tjalk:

Keren en la Nieuw Loosdrechtsedijk – la Herenweg, einde links – ra laan van Nifterlake – Tienhoven.

Tienhoven:

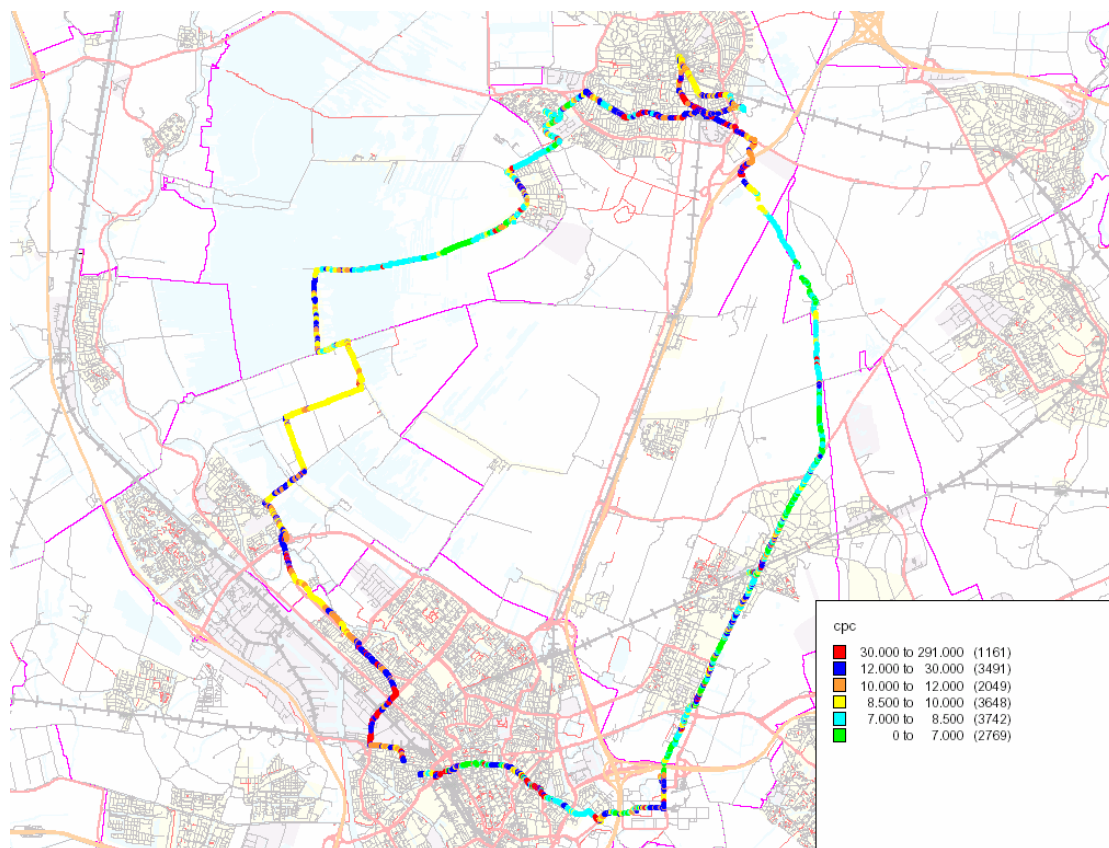
Laan van Nifterlake – ra Middenweg – la Bethuneweg

Bethuneweg:

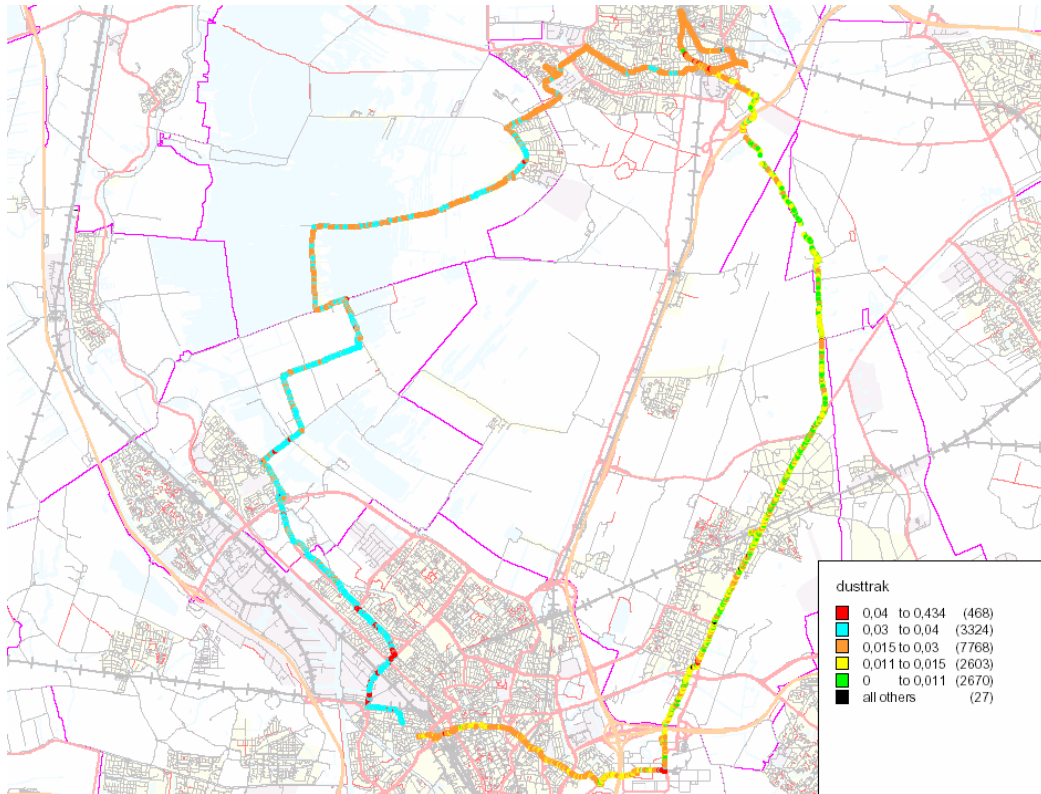
Ra Maarsseveensevaart – la Sweserengseweg, verder de kortste weg naar de Balistraat

De auto was niet van GPS voorzien. Deze data zijn daarom niet beschikbaar.

De gemeten concentraties zijn gekoppeld aan de GPS-data van de meetfiets. Daardoor kan per plaats de concentratie worden ingetekend. De data worden in categorieën ingedeeld, waarbij iedere categorie een eigen kleur krijgt. De categorieën zijn zó gekozen dat alle ongeveer een gelijk aantal data bevatten.



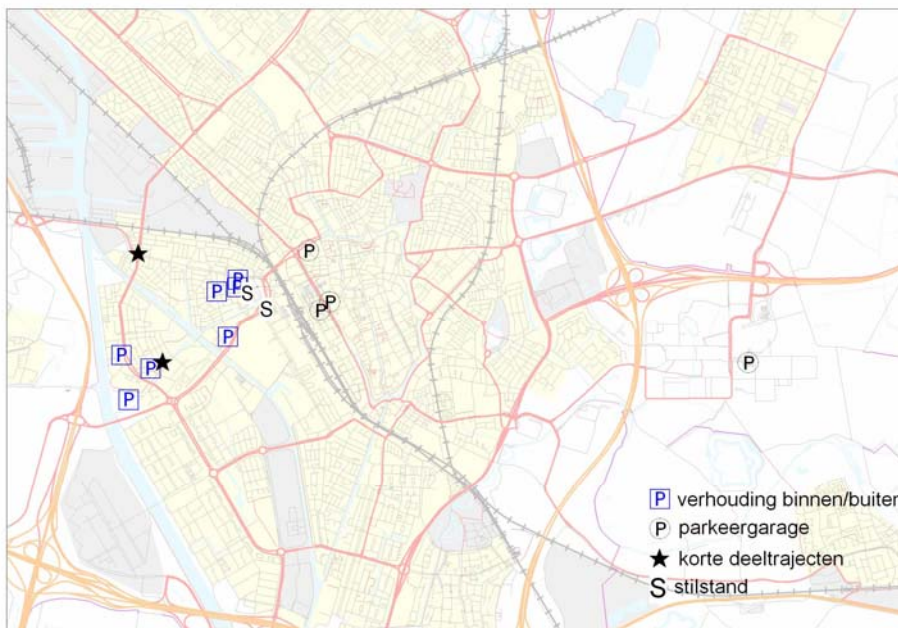
Figuur B1.9 Meetresultaten in kaart voor UFP



**Figuur B1.10** Meetresultaten in kaart voor UFP

**Locaties**

Tot slot zijn een aantal metingen op een vaste plek uitgevoerd. Deze zijn in figuur B1.9 ingetekend. Een aantal testmetingen zijn binnen of op het Westplein zijn gehouden. Beide plaatsen zijn met een 'S' aangegeven. Daarnaast is op 7 plaatsen langs de weg de verhouding bepaald tussen concentraties UFP en PM<sub>2,5</sub> binnen en buiten. Deze zijn aangegeven in een vierkantje met een 'P' erin. De cirkels met een 'P' erin geven de parkeergarages aan, waar gemeten is. De sterretjes zijn de vier korte deeltrajecten.



**Figuur B1.11** Locaties waar stilstaande metingen zijn uitgevoerd

## Bijlagen

# Bijlage 2

## Gezondheidseffecten PM<sub>2,5</sub> en UFP

Er is veel onderzoek gedaan naar de gezondheidsklachten van fijn stof. Vooral relaties tussen concentraties in massa per volume en gezondheidsschade zijn vaak onderzocht. Er kunnen effecten optreden door korte blootstelling aan een heel hoge concentratie, maar ook door langdurige blootstelling aan een minder hoge concentratie. Het gaat in beide gevallen om zowel sterfgevallen, als om ziektes en misselijkheid. Daarnaast is sinds kort meer aandacht voor de effecten van ultrafijn stof. Effecten hiervan zijn alleen nog in laboratoria bestudeerd.

### Kortdurige hoge blootstelling

Het RIVM [2002] heeft een inschatting gemaakt van het relatieve risico van fijn stof. Tijdens een smogperiode zijn de sterftcijfers hoger. Schattingen variëren tussen de 1700 en 3000 extra doden in Nederland per jaar. De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn een verhoging van ademhalingsproblemen, pneumonia (ontstekingen longblaasjes), COPD en hart- en vaatziekten.

Ook andere studies geven een verhoogd risico voor korte blootstelling aan fijn stof. Hoek et al. [1997] hebben de dagelijkse sterftcijfers in Rotterdam vergeleken met de concentraties van TSP, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, Fe en CO. Voor al deze stoffen werd een relatief risico geschat van enkele procenten.

Ook Pope III [2000] heeft een aantal studies vergeleken. Hij concludeert dat tijdens smogperiodes in de VS de sterfte toeneemt, in het bijzonder respiratoire oorzaken (25% per 50 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2,5</sub>) en cardiovasculaire sterfte (11% per 50 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>2,5</sub>).

Daarnaast zijn er nog tal van andere effecten, die tijdens een smogperiode optreden of verergeren. Pope III [2000] heeft ook hiervoor een aantal studies samengevat, die globaal neerkomen op meer ziekenhuisopnames en een verminderd longfunctioneren:

- Meer medische (spoed)opnames. Het betreft vooral verhoogde aantallen opnames voor respiratoire en hart- en vaatziekten. Deze effecten blijven ook na correcties voor het seizoen en het weer bestaan.
- Uit cohortstudies blijkt dat op dagen met verhoogde concentraties fijn stof vaker hoesten en verergering van astma voorkomen. Ook het blaasvolume neemt op deze dagen iets af.

### Langetermijneffecten

Langdurige blootstelling aan  $PM_{2,5}$  wordt in verband gebracht met diverse aandoeningen, en grotere schade. Het RIVM [1998] noemt:

- Voortijdige sterfte
- Ziekenhuisopnames
- Afname in longfunctioneren
- Pneumonia
- COPD
- Hart- en vaatziekten

De impact van een aantal van deze effecten is gekwantificeerd in cohortstudies. Hierbij is voor een grote groep (1.000-120.000 individuen) de gemiddelde blootstelling over een aantal jaren geschat aan verschillende vormen van luchtvervuiling. Op basis van een statistische analyse is gezocht naar relaties tussen luchtvervuiling en sterfte of morbiditeit. De schade van langdurige blootstelling wordt geschat op een relatief verhoogd risico van enkele procenten.

Künzli [2000] heeft geprobeerd de effecten te kwantificeren voor Oostenrijk, Frankrijk en Zwitserland. Op basis van het verhoogde risico voor bepaalde aandoeningen en het relatieve risico bij verhoogde fijn stofconcentraties is een deel van de slachtoffers aan fijn stof toegeschreven. Hierbij is uitgegaan van het verhoogde risico op de betreffende aandoening bij een verhoging van  $10 \mu\text{g } PM_{10}$ . Een (relatieve) toeschrijving van de aandoening aan fijn stof is gedaan volgende de formule:

$$\left(1 - \frac{1}{RR}\right) * \text{aandoening} / 10^6 \text{ inwoners} \quad (2.1)$$

Tabel B2.1 geeft een kwantificatie wanneer deze methode voor Nederland wordt toegepast met data van het CBS.

Ter vergelijking is ook een schatting gemaakt voor roken. Janssen et al. [2005] geven een RR van 2,11 en in Nederland zijn ca. 5,1 miljoen rokers [CBS, data 2001] Dit geeft een vroegtijdig overlijden van 37.000 Nederlanders. Verkeersslachtoffers echter zijn duidelijk aan te wijzen. Totaal ligt dit aantal op ruim 800 per jaar [CBS, data 2004].

### Ultrafijn stof

Over ultrafijn stof zijn alleen literatuurstudies en laboratoriumexperimenten bekend. Ultrafijn stof wordt per massa-eenheid geassocieerd met een veel grotere toename in risico voor verschillende aandoeningen. Ultrafijn stof kan namelijk veel dieper in de longen komen en blijft hier ook gemakkelijker achter [Vinzents et al., 2005]. Daarnaast wordt het minder efficiënt verwijderd dan grover stof en kunnen er veel reacties plaatsvinden aan het relatief grote oppervlak dan de deeltjes. Ook kunnen de deeltjes doordringen in de bloedbanen [Donaldson, 2001]. De gezondheidseffecten betreffen ontstekingen in de longen, meer hartziektes en een verminderd longfunctioneren [RIVM, 2002]. Een kwantificatie is echter niet uitgevoerd.

Andere fracties van fijn stof, waarvan wordt vermoed en onderzocht dat ze relatief schadelijk zijn betreffen overgangsmetalen, zwavel en vliegassen, secundair inorganisch zuur (SIA) en organisch materiaal [RIVM, 2002].

Het aan ultrafijn stof gerelateerde  $NO_x$  [Seaton en Dennekamp, 2003; Sioutas et al., 2005] wordt niet in verband gebracht met sterfte, maar wel met een verminderd longfunctioneren [WHO, 2000]. Bovendien kan  $NO_x$  worden omgezet in ozon, wat al in lagere concentraties schade aan de longen kan veroorzaken.

**Tabel B2.1 Eigen kwantificatie van slachtoffers fijn stof in Nederland volgens methode van Künzli [2000]**

<b>Aandoening</b>	<b>RR (spreiding)<sup>7</sup></b>	<b>Totaal Nederland<sup>8</sup></b>	<b>Totaal aan fijn stof<sup>9</sup></b>	<b>Relatieve schatting Nederland<sup>3</sup></b>	<b>Relatieve schatting Frankrijk<sup>1</sup></b>
Totale natuurlijke sterfte onder volwassenen ouder dan 30 jaar	1,043 (1,026- 1,061)	137.000	5600	350	340
Respiratoire ziekenhuisopname (alle leeftijden);	1,013 (1,001- 1,025)	122.000	1600	100	150
Cardiovasculaire ziekenhuisopname (alle leeftijden);	1,013 (1,007- 1,019)	151.000	1900	120	210
Chronische bronchitis incidenten (volwassenen)	1,098 (1,009- 1,194)	Samen 950.000 verdeling <sup>10</sup>	2300	180	390
Astma aanvallen bij volwassenen vanaf 15 jaar	1,039 (1,019- 1,059)	ca. 26.000 en 924.000	35.000	2700	6190
Bronchitis episodes bij kinderen tot 15 jaar	1,306 (1,136- 1,502)	Samen 230.000; verdeling <sup>4</sup>	15.000	4900	4830
Astma aanvallen bij kinderen tot 15 jaar, persoon*dag/jaar	1,044 (1,027- 1,062)	ca. 63.000 en 167.000	7000	2300	2600

<sup>7</sup> Data Kunzli 2000

<sup>8</sup> Data CBS over 2004, 3 cijfers significant

<sup>9</sup> Data op 2 cijfers significant afgerond

<sup>10</sup> Volgens Franse verhouding opgesplitst

## Bijlagen

**Bijlage 3****Specificaties CPC TSI 3007**

Als deeltjesteller is een TSI 3007 gebruikt. Deze telt het aantal deeltjes per volume tussen 10 en 1000 nm. Figuur B1.1 toont de werking van dit apparaat: een volume van 700 cm<sup>3</sup>/minuut wordt aangezogen, waarvan 100 cm<sup>3</sup>/minuut wordt gebruikt voor de daadwerkelijke meting. Deze lucht wordt eerst door een ruimte met verzadigde alcohol damp geleid. Wanneer in de condenser de temperatuur afneemt blijft de alcohol aan deze deeltjes hechten. De deeltjes worden hierdoor groter, zodat ze optisch waarneembaar zijn. Dit gebeurt in de volgende ruimte.

Wanneer de deeltjes groot genoeg zijn, kunnen ze het licht weerkaatsen, dat van de laser komt. Dit licht valt dan niet op de detector. Deze detector vertaalt dit in een elektrisch pulssignaal. Dit aantal pulsen per tijdseenheid kan worden geteld. Wanneer dit aantal pulsen wordt gedeeld door de het debiet, is de concentratie berekend.

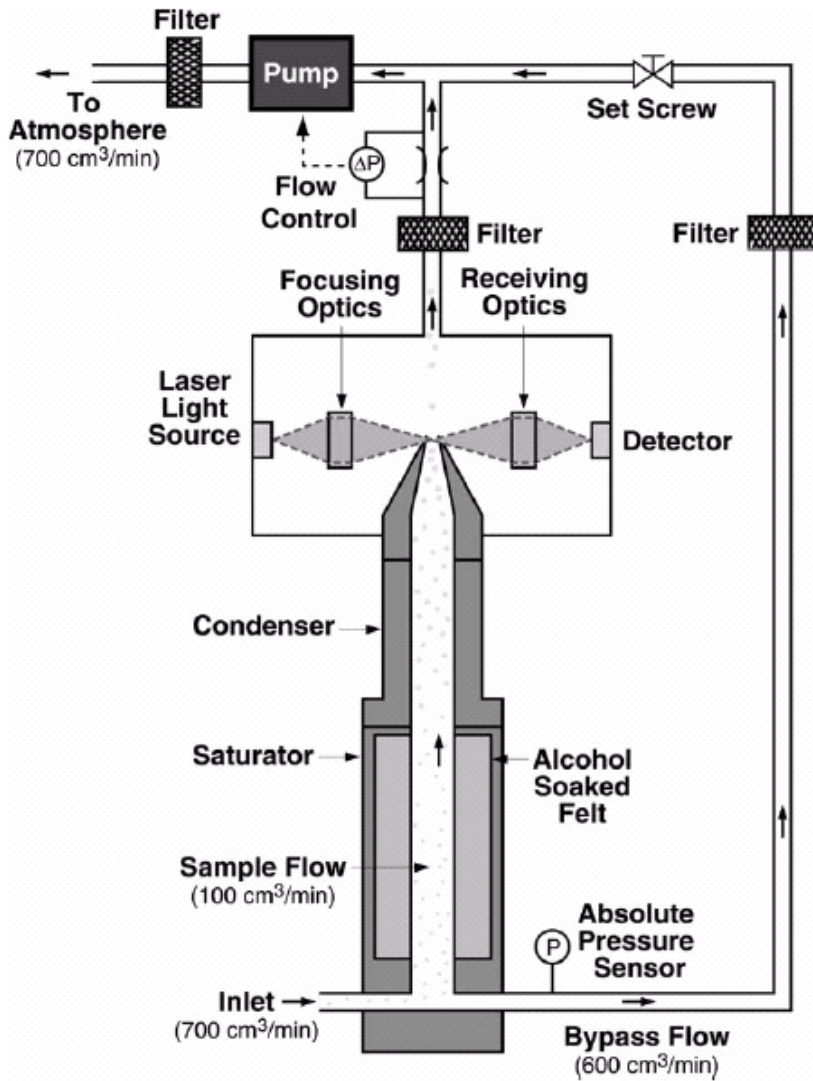
Deze manier van berekenen is efficiënt tot  $1 * 10^5$  deeltjes [Hämeri, 2002]. Wanneer het aantal deeltjes nog groter wordt, komen de deeltjes te snel achter elkaar. Het aantal pulsen kan niet meer worden onderscheiden. Hoe meer deeltjes er komen, des te vaker twee deeltjes voor één deeltje worden aangezien. Hierdoor wordt een onderschatting gemaakt.

Er is een verband tussen de concentratie UFP en de mate van onderschatting. Een correctie is dus binnen een bepaald domein mogelijk. Westerdahl et al. [2005] hebben deze relatie nader onderzocht door tegelijkertijd met een TSI 3007 en een TSI 3022A te meten. Deze heeft een maximum bereik van 10<sup>7</sup> #/cm<sup>3</sup>. Op basis van beide meetresultaten hebben zij een correctieformule gecalibreerd voor de onderschattingen van de TSI 3007:

$$y = 38456 * e^{0,00001*x} \quad \text{met: } x > 100.000 \text{ \#/cm}^3 \quad (\text{B3.1})$$

In deze formule is x de waarde die de TSI 3007 aangeeft en y de waarde die het andere apparaat aangeeft. Westerdahl et al. [2005] hebben verkeersemisies gemeten, waarbij de hoogst gemeten concentratie met de TSI 3007 300.000 #/cm<sup>3</sup> was. De betrouwbaarheid van de correctieformule in het domein 100.000 – 300.000 was groot ( $r^2 = 0,817$ ).





Figuur B3.1 Stroomschema TSI 3007 [TSI, 2004]

### Fabrieksspecificaties

Tabel B3.1 Fabrieksspecificaties TSI 3007

Eigenschap	Fabrieksspecificatie
Detectiegrootte	0,01-1 $\mu\text{m}$
Concentraties	Tot $10^5 \text{ \#/cm}^3$
Nauwkeurigheid	20%
Temperatuur	Werking: 10 tot 35 $^{\circ}\text{C}$ , Opslag: -40 tot 70 $^{\circ}\text{C}$
Stroomsnelheid	Inlaat: 700 $\text{cm}^3/\text{min}$ , detectie 100 $\text{cm}^3/\text{min}$
Levensuur batterijen (herlaadbaar)	5 uur
Grootte	29,2 * 14 * 14 cm.
Gewicht	1,7 kg
Condensatievloeistof	Isopropyl alcohol

### Eigen ervaringen

Een aantal eigenschappen is uitgetest op beide CPC's. De resultaten van deze tests staan in tabel B3.2. Met behulp van geometrie is vastgesteld bij welke hoek de TILT-melding verschijnt. De responsietijd is bepaald aan de hand van de tijd die het apparaat nodig heeft om  $5000 \text{ \#/cm}^3$ , een normale concentratie, te bereiken na het weghalen van het HEPA-filter. De levensduur van de batterijen is getest door het apparaat continu aan te laten staan.

**Tabel B3.2 Eigen ervaringen TSI 3007**

Eigenschap	Omvang
TILT-hoek	$35^0$ in lengterichting, $30^0$ in breedterichting
Responsietijd	3 tot 5 sec (HEPA-filter bij inlaat)
Levensduur batterijen	2500 mA: 6 tot 7,5 uur; <b>LET OP: 2300 mA slechts 2 uur</b>
stroomsnelheid	Inlaat: $850 \text{ cm}^3/\text{min}$
Kosten	Ca. € 10.000,-

### Tips voor onderhoud

- Voor iedere test moet worden gecontroleerd of het apparaat '0' aangeeft, wanneer de inlaat voorzien is van een HEPA ((high efficiency particulate air)-filter.
- De apparaten zouden iedere maand een keer aan elkaar moeten worden geijkt. Zo wordt getest of de onderlinge verhouding gelijk is gebleven. Daarnaast is dit een controle dat beide apparaten goed werken. Het Westplein in Utrecht is hiervoor een geschikte locatie in verband met het meten van hoge en lage waarden. Tests binnenshuis kunnen ook al redelijke resultaten opleveren.
- Eens per jaar moet de apparatuur voor hercalibratie naar de fabrikant. Wanneer de apparaten om beurten gaan, kan tussentijds worden onderzocht of de hercalibratie verschillen veroorzaakt heeft.

## Bijlagen

# Bijlage 4

## Specificaties massameter TSI Dust Trak

### Werkingsprincipe

Bij de DustTrak (Figuur B4.1) wordt de lucht door een filter binnengelaten, waarbij te grote deeltjes tegen een lijmlaag blijven steken. Het filter kan worden ingesteld op verschillende maximum groottes. De massa wordt vervolgens bepaald op basis van lichtreflectie: licht schijnt door het luchtmonster en valt op een detector. De elektrische geleiding van deze detector is afhankelijk van de hoeveelheid licht die erop valt. Deze stroom kan worden gemeten en vertaald naar een concentratie stof.

De fabriek heeft het meetapparaat geijkt op basis van woestijnzand [TSI, 2005b]. In zekere zin wordt zwarte rook gemeten, want dit deel van fijn stof bepaalt nagenoeg geheel de reflectie-eigenschappen van de lucht. Omdat stedelijk fijn stof meer zwarte rook bevat, wordt een overschatting gemaakt van de massa. Om de echte massa te bepalen dient daarom een correctieformule te worden toegepast. Aangezien in dit onderzoek fijn stof slechts gebruikt wordt als indicator voor luchtvervuiling, is het niet nodig de apparaten te calibreren. Bovendien kost dit enige dagen tijd en dient dit na iedere hercalibratie opnieuw te gebeuren.

### Meetspecificaties

Tabel B4.1 Fabrieksspecificaties TSI DustTrak [TSI, 2005]

Eigenschap	Fabrieksspecificatie
Sensor type:	90° light scattering, laser diode.
Resolutie:	±1 µg/m <sup>3</sup>
Meetbereik:	Concentraties van 1 tot 10.000 µg/m <sup>3</sup>
Domein:	Deeltjesgrootte: 0,1 tot ca. 10 µm (afhankelijk van flow rate).
Luchtstroomsnelheid:	1,7 L/minuut (aanpasbaar van 1,4 tot 2,4 L/minuut)
Temperatuurcoëfficiënt	1 µg/m <sup>3</sup> * °C
<b>Functioneert bij:</b>	
Temperatuur:	0 tot 50 °C
Windsnelheid:	0 tot 10 m/s
<b>Overig:</b>	
Omvang:	221 * 150 * 87 mm
Gewicht:	1,5 kg

## Bijlagen

# **Bijlage 5**

### **Specificaties inlaatsysteem**

Het inlaatsysteem bestaat uit een kokertje, dat met een slang naar het inlaattuitje van de meetinstrumenten is verbonden. Het kokertje heeft een diameter van 3 cm, een lengte van 5 cm en is voorzien van een roostertje met mazen van ca. 2 mm. Windeffecten worden hierdoor geminimaliseerd.

De slangen zijn speciale conductive silicon tubes (TSI product 3001788). Dit is geleidend materiaal, waardoor statische effecten geminimaliseerd worden. De slangen zijn allen 1 m lang, hebben een diameter van 5 mm (0,19 inch). Er zijn geen scherpe hoeken.

## Bijlagen

# Bijlage 6

### Gebruikte data

De vier trajecten zijn 13 keer gereden. Een overzicht van alle metingen per route staat in tabellen B6.1 t/m B6.4. Bij een aantal ritten staat een bijzonderheid vermeld.

**Tabel B6.1 Meetresultaten route 1**

Datum	UFP fiets (#/cm <sup>3</sup> )	UFP auto (#/cm <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> fiets (□g/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> auto (□g/m <sup>3</sup> )	Bijzonderheden
27-Mar	20752	13704	Niet gelogd		
28-Mar	22918	18696	13.2	16.4	
28-Mar	21081	19160	14.1	16.9	
4-Apr	15698	15053	8.6	7.4	
4-Apr		18678	11.9	9.4	
18-Apr	25925	28589	43.6	37.3	
18-Apr	21633	21388	28.7	22.4	Auto op Westplein in file
24-Apr	11433	22714	116.2	95.3	Auto groot deel achter taxibusjes
24-Apr	23996	54080	97.2	89.8	
18-Apr, ochtend	44894	35477	59.3	53.6	
18-Apr, ochtend	24908	33443	59.9	46.3	Auto achter touringcar
24-Apr, ochtend	15805	23597	176.2	143.5	Auto via JP Coenstraat i.v.m. afsluiting Damstraat
24-Apr, ochtend	16647	35090	169.6	131.1	
Gemiddelde	22141	26128	66.5	55.8	
St. deviatie	3342	11126	60.0	47.9	
CV	0.151	0.426	0.907	0.858	

Tabel B6.2 Meetresultaten route 2

Datum	UFP fiets (#/cm <sup>3</sup> )	UFP auto (#/cm <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> fiets (□g/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> auto (□g/m <sup>3</sup> )	Bijzonderheden
27-Mar	29386	17007	27.3	17.9	
28-Mar	21322	9252	14.4	11.6	
28-Mar	27813	12495	17.0	13.7	
4-Apr	26868	17537	12.3	5.8	
4-Apr	42896	24254	14.6	18.7	Schuren koppelingsplaten
18-Apr	30398	25537	44.1	32.5	
18-Apr	35801	23969	32.4	23.4	
24-Apr	25373	27897	113.9	88.9	
24-Apr	17738	19778	94.9	69.2	
18-Apr, ochtend	29470	44278	62.4	53.6	
18-Apr, ochtend	39801	41361	66.6	51.0	
24-Apr, ochtend	20484	20231	181.8	141.4	
24-Apr, ochtend	21232	15915	183.2	132.3	
Gemiddelde	28352	22938	66.5	50.8	
St. deviatie	7586	10679	60.5	45.4	
CV	0.268	0.466	0.910	0.895	

Tabel B6.3 Meetresultaten route 3

Datum	UFP fiets (#/cm <sup>3</sup> )	UFP auto (#/cm <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> fiets (□g/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2,5</sub> auto (□g/m <sup>3</sup> )	Bijzonderheden
27-Mar	28157	19844	31.5	21.6	stortbui
28-Mar	16455	14434	15.4	14.4	
28-Mar	18441	15923	15.3	15.2	
4-Apr	28600	25010	10.5	8.6	
4-Apr	33941	58934	12.9	14.5	Rubenslaan achter brandweerauto
18-Apr	33196	27884	47.9	36.1	
18-Apr	24694	24585	30.6	25.8	
24-Apr	22254	15617	104.4	68.7	
24-Apr	15223	22609	80.6	64.6	
18-Apr, ochtend	33047	38159	67.1	58.7	
18-Apr, ochtend	26440	53102	63.5	50.7	Auto achter bouwagentje
24-Apr, ochtend	21718	17116	187.8	138.2	
24-Apr, ochtend	20957	39964	183.4	147.4	Oude auto op Croeselaan
Gemiddelde	24856	28706	65.5	51.1	
St. deviatie	6960	14562	60.6	45.6	
CV	0.280	0.507	0.926	0.891	

**Tabel B6.4 Meetresultaten route 4**

<b>Datum</b>	<b>UFP (#/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>fiets UFP (#/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>auto PM<sub>2,5</sub> (□g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>fiets PM<sub>2,5</sub> (□g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>auto Bijzonderheden</b>
27-Mar	18024	10733	29.6	11.1	stortbui
28-Mar	14651	7045	17.1	11.7	
28-Mar	12600	10316	15.4	10.4	
4-Apr	18837	10026	8.3	4.7	
4-Apr	16998	10779	6.2	3.7	
18-Apr	15963	10554	41.2	27.4	
18-Apr	14946	9605	36.1	25.8	
24-Apr	10499	13145	77.8	56.2	
24-Apr	10685	6770	79.2	61.7	
18-Apr, ochtend	24010	16791	61.3	45.4	
18-Apr, ochtend	21396	14748	58.7	45.4	
24-Apr, ochtend	13423	10236	181.0	136.1	
24-Apr, ochtend	14544	7377	179.5	132.9	
Gemiddelde	15891	10625	60.9	44.0	
St. deviatie	2146	1311	58.3	44.6	
CV	0.135	0.123	0.958	1.013	

## Bijlagen

# Bijlage 7

### Extra tips / ervaren problemen

- Na een meting in de regen geeft de CPC de foutmelding **Low Alcohol**. Vaak betekent dit dat er vocht in de alcohol is gekomen. De wik moet een tijdje (paar uur) drogen en opnieuw in de alcohol. Daarna kan hij hergebruikt worden.
- De CPC kan na een TILT-melding stoppen met loggen. Daarom voor iedere rit de rugzak door een ander laten controleren. Als het goed is, is rechts onder te lezen:  $\hookrightarrow$  **TO STOP**. Zoniet staat het apparaat óf uit, óf op ABS PRESSURE (=startmenu). In dat geval met de pijltjes het menu LOG MODE selecteren en het  $\hookrightarrow$  teken intoetsen.
- De **DustTrak** kan in de stand van toetsblokkering staan. In dat geval is hij niet af te lezen tijdens het loggen en staat een pijltje omhoog.
- **Hercalibratie**: dit gebeurt ieder jaar (ergens in het winterseizoen). Om data van verschillende jaren met elkaar te vergelijken is het handig de instrumenten om beurten te laten hercalibreren met tussendoor een ijking aan elkaar.
- Excel heeft problemen bij het berekenen van het **geometrisch gemiddelde** over veel grote waardes. Het programma geeft aan dat dit mogelijk is bij 30 getallen. Voor CPC metingen lukt het tot circa 120 waardes. Wanneer de meetwaardes worden gedeeld door het gemiddelde of een getal in deze orde van grootte (zeg 20.000) kan het gemiddelde over meer getallen worden berekend (minstens 1100). Na deze bewerking dient weer te worden vermenigvuldigd met het getal waardoor gedeeld is.



## Bijlagen

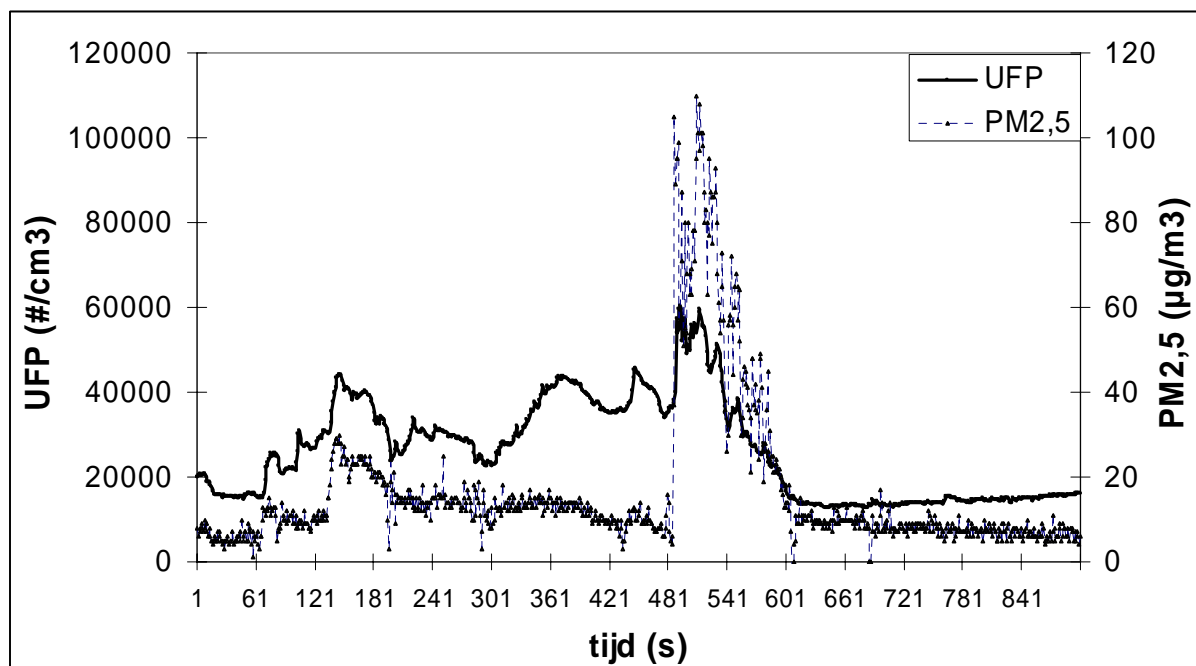
# Bijlage 8

### Opvallende metingen

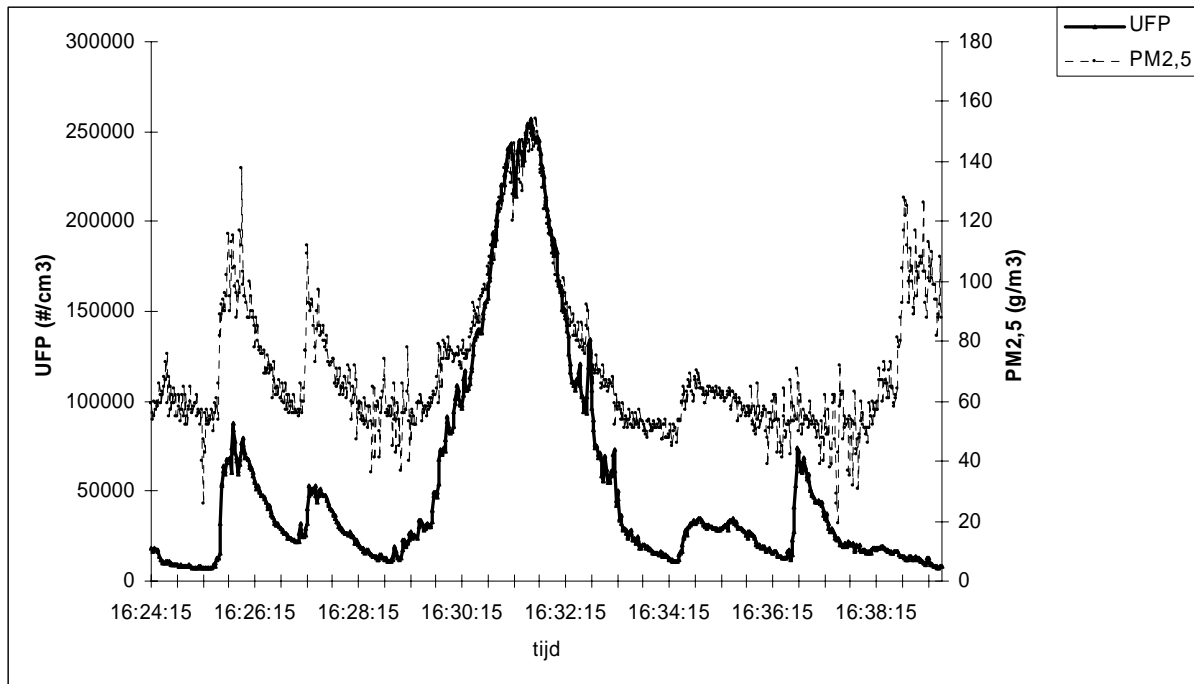
Tijdens de verkennende metingen zijn er een aantal opvallende situaties geweest. Deze situaties verstoren voor korte tijd de meting, maar zijn interessant om nader te onderzoeken.

Een van de opvallendste situaties wat betreft blootstelling was het schuren langs de koppelingsplaten tijdens een schakelfoutje. Figuur B8.1 laat zien wat daardoor gebeurde. De figuur toont van een deel van de betreffende rit de metingen UFP (doorgetrokken lijn, linker-as) en PM<sub>2,5</sub> (stippelijijn, rechter-as). Rond seconde 481 was het schakelfoutje. De lijn voor UFP schiet maar een klein stukje omhoog, de lijn voor PM<sub>2,5</sub> verveelvoudigt gedurende korte tijd. Na 2 minuten (120 s) is de concentratie PM<sub>2,5</sub> weer rond het oude niveau.

De deeltjes die tijdens het schakelfoutje ontstonden zijn waarschijnlijk relatief zwaar. Daardoor dragen zij veel bij aan de massa, maar weinig aan het aantal. Een aantal literatuurbronnen, waaronder het RIVM [2002], vermelden ook dat grotere deeltjes vooral door mechaniek in de lucht komen en de kleinste deeltjes door verbranding.



Figuur B8.1 Opvallende meting in de auto vanwege een schakelfout



**Figuur B8.2** Meting wanneer de auto in de file komt

Een andere opvallende meting was toen tijdens route 1 de auto in de file voor een stoplicht terechtkwam, waar zeer dicht achter een andere auto is stilgestaan. De weergave hiervan is te zien in figuur B8.2. De waarden UFP en in mindere mate PM<sub>2,5</sub> schieten omhoog gedurende de periode 16:29 tot 16:33.

## Bijlagen

# Bijlage 9

### Top 40 van meest vervuilende voertuigen

Op basis van de UFP metingen is een lijst samengesteld van de meest vervuilende voertuigen. Het gaat hierbij om de hoogst gemeten pieken tijdens metingen op de fiets. De oorzaak is toegeschreven aan de voertuigen en omstandigheden die met behulp van de camera waarneembaar zijn.

Tabel B9.1 Top 40 van meest vervuilende voertuigen

	datum	tijd	Straat	piek	Oorzaak
1	25 april	14:45:46	Fregatstraat	460468	graafmachine
2	4 april	14:38:37	Nachtegaallaan	447207	Optrekkend dieselbusje
3	11 april	17.19	Cartesiusweg	358328	2 scooters, brommer, autoverkeer
4	11 april	14:30	straatnaam onbekend	358159	dieselbusje
5	11 april	15.33	straatnaam onbekend	358151	fileverkeer
6	21 maart	13:46:09	Fentenerweg	356106	Brommertje/optrekkende auto's
7	4 april	13:51:51	Kanaalstraat	348469	Wegrijdende auto (oud)
8	11 april	17.23	Winkelcentrum overvecht	347011	scooters
9	18 april	13:58:32	Kanaalstraat	321303	vuilniswagen
10	4 april	14:45:22	busbaan centrum	310554	dieselbusje
11	24 april	14:46	Uytdehaageplantsoen	309540	brommertje
12	25 april	13:59:03	Atoomweg	308227	vrachtverkeer
13	21 maart	13:46:26	Fentenerweg	308192	Optrekkende vrachtauto
14	25 april	14:04:21	Atoomweg	304704	vrachtverkeer
15	11 april	17.12	straatnaam onbekend	301673	druk verkeer + scooter
16	11 april	14:24:48	Balistraat	291373	Parkerende auto
17	27 april	11.16.55	Station	290064	vrachtauto
18	11 april	17.49	straatnaam onbekend	289135	fileverkeer + scooter in tunnel
19	25 april	14:32:15	Tractieweg	287287	dieselbusjes
20	11 april	17.15	straatnaam onbekend	285387	druk verkeer
21	27 maart	14:28:35	Kanaalstraat	280407	onbekend
22	27 april	11.12.46	Kanaalstraat	279271	optrekkend, scooter + auto
23	11 april	15.09	straatnaam onbekend	279210	personenauto's
24	4 april	14:46:59	Lucasbrug	279123	Fileverkeer voor stoplicht
25	27 april	11.26.15	Wilhelminapark	273469	scooter

26	27 april	11.15.49	Sijpesteynsekade	267952	brommer bij stoplicht
27	25 april	14:39:25	Havenweg	266563	parkeer manoeuvre bedrijfsauto
28	25 april	14:48:04	Fietspad langs spoor	260594	brommers
29	27 april	16.00.43	Cartesiusweg	260072	brommer naast file
30	27 april	13:03:40	Hilversum, Soestdijkerweg	259540	optrekkende auto's incl diesel
31	27 april	13:36:24	Hilversum	259498	bus
32	27 april	14:47:22	Nw-Loosdrecht, Tjalk	254809	vrachtauto
33	27 april	15:58:04	Ventweg Cartesiusweg	254203	brommer
34	27 april	15:43:53	Maarssen, straatnaam onbekend	254001	vrachtauto
35	24 april	15:46:31	Nachtegaallaan	252913	bedrijfswagentje
36	18 april	14:01:36	Sijpesteynsetunnel	251321	Brommer
37	21 maart	13:45:14	Kanaalweg	248844	Auto
38	24 april	15:06	Nachtegaallaan	245953	optrekkende stadsbus
39	27 april	15:56:56	Ventweg Cartesiusweg	243765	scooter
40	24 april	16:27:50	Leidseweg	242577	optrekkend verkeer (incl scooter)

---

## Bijlagen

# Bijlage 10

## Verkenning vergelijking metingen Fietsbalans

Het is niet gelukt om een geschikte manier te vinden om steden te vergelijken op hun luchtkwaliteit. Dit valt buiten de doelen van dit onderzoek, maar het zou wel wenselijk zijn iets over stedelijke luchtkwaliteit te kunnen zeggen. Hiervoor zou een variabele moeten worden gevonden met de volgende eigenschappen:

- De variabele moet verschillen kunnen aangeven tussen een traject met een goede luchtkwaliteit en trajecten met een minder goede luchtkwaliteit. De variabele moet niet alleen per traject kunnen verschillen, maar trajecten met een goede luchtkwaliteit moeten altijd beter scoren dan trajecten met een mindere luchtkwaliteit. Wanneer een aantal trajecten vaak is gereden of bij gelijke weersomstandigheden, moet er daarom een correlatie bestaan tussen de variabele en de gemiddelde blootstelling.
- De variabele mag niet afhankelijk zijn van andere factoren dan het verkeer. De belangrijkste mogelijke factoren van invloed zijn weersomstandigheden. Wanneer deze voor een groot deel de uitslag bepalen, zijn metingen bij verschillende omstandigheden niet vergelijkbaar.

Uit dit verslag is gebleken dat UFP meer verkeersgevoelig is dan  $PM_{2,5}$ . Daarom zou bij de beoordeling meer nadruk op UFP moeten liggen en minder op  $PM_{2,5}$ . Een aantal variabelen van UFP die nader moeten worden onderzocht voor beoordeling zijn:

- Gemiddelde blootstelling fietser (zowel AG als GG). Er is een sterke correlatie met de blootstelling. Er zijn echter mogelijk weersinvloeden.
- Verhouding GG en AG. Pieken wegen in het GG namelijk minder zwaar mee dan in het AG. Op drukke punten zijn meer pieken te zien dan op rustige punten. Daarom is de verhouding op drukke punten kleiner. In paragraaf 4.3.1 is dit al getoond voor twee drukke punten en twee rustige punten.
- Verhouding auto en fietser. Omdat de metingen bij gelijke weersomstandigheden zijn gedaan, is er geen reden om aan te nemen dat het weer invloed heeft. Mogelijk nadeel is dat de variaties in blootstelling van de automobilist groter zijn dan die van de fietser. Daardoor zou deze variabele meer zeggen over de blootstelling in de auto dan op de fiets.
- Spreidingsmaten:
  - Scheefheid. Drukke plaatsen hebben een aantal hoge waarden, maar toch ook veel lage waarden. Daardoor liggen veel meetwaarden onder het gemiddelde en spreekt men van negatieve scheefheid. Op rustige plaatsen daarentegen liggen alle waarden rond dit gemiddelde en is de scheefheid 0 of mogelijk zelfs positief.

- Kurtosis (gewelddheid). Op rustige trajecten liggen alle meetwaarden rond het gemiddelde. Men spreekt dan van positieve kurtosis. Bij veel uitschieters zijn de data meer verspreid en neemt de kurtosis af en kan zelfs negatief worden.
- Aantal pieken ( $>x \text{ \#/cm}^3$ ). Deze manier telt het aantal sterk vervuilende bronnen. De  $x$  is een nog te bepalen concentratie, die het beste tussen  $60.000 \text{ \#/cm}^3$  en  $150.000 \text{ \#/cm}^3$  kan worden gekozen.
- Zelf een formule bedenken. In een eerder stadium is erover gedacht om de eerste 2 formules te combineren en tot een score te komen:

$$score = \frac{C * GG}{AG^2} \quad \text{(B10.1)}$$

waarin  $C$  een constante is om getallen tussen 0 en 10 te krijgen (ca.  $100.000 \text{ \#/cm}^3$ ).

- De GGD Amsterdam heeft 3 continue meetstations voor UFP. Hoewel deze apparaten andere meetspecificaties hebben dan de apparaten die in de Fietsbalans worden gebruikt, kunnen deze metingen wellicht als referentiemeting worden gebruikt. Variaties in UFP, gemeten met verschillende apparaten, zijn namelijk sterk gecorreleerd [Hämeri et al., 2002]. Met behulp van metingen  $\text{NO}_x$  door het landelijk meetnet [RIVM, 2006b] kan deze meting worden geëxtrapoleerd naar andere plaatsen.

Sommige variabelen zijn gebruikelijk in onderzoek, anderen komen zelden of helemaal niet voor. Daarom zouden deze variabelen goed onderbouwd moeten worden voor gebruik.

Tot slot zou het communicatief beter overkomen als men weet wat hoog en wat laag is. Daarvoor zou men kunnen omrekenen naar een schaal van 0 tot 10 of 0 tot 100. Dit kan echter ook misinterpretatie in de hand werken, zoals "6 is voldoende".

## Bijlagen

**Bijlage 11****Afwegingstabellen aan te schaffen apparatuur**

**Tabel B11.1 Afweging welke stoffen te meten in de fietsbalans**  
 Positieve scores op een criterium zijn in het vet aangegeven.

stof	Aandeel verkeer in productie	Schadelijkheid (literatuur)	Normen (l) + concentraties (r)		Beschikbaarheid landelijk meetnet	Draagbaar instrument beschikbaar	Conclusie
PM <sub>10</sub>	<b>PM<sub>10</sub> in steden 33% van wegverkeer afkomstig</b>	Stofafhankelijk, ook veel natuurlijke en nagenoeg schadeloze bronnen	<b>50 µg/m<sup>3</sup>, daggemiddelde, mag 35 keer p/j worden overschreden.</b>	<b>Geregeld overschreden</b>	Ja	Ja	Niet erg belangrijk, deels achterhaald, maar wel Europese normen
PM <sub>2.5</sub>	<b>[VROM, 2005]</b>	<b>Ja</b>	Op termijn		Nog niet	<b>Ja (zie PM<sub>10</sub>)</b>	Redelijk belangrijk; omvat gehele emissiespectrum verkeer
UFP (aantal deeltjes)	<b>Groot (in het bijzonder diesel)</b>	<b>Groter, maar onzeker: schattingen tot 400 doden per miljoen mensen [Palmgren, 2003]</b>	geen		Nee	<b>Ja, ook metingen met de fiets</b>	<b>Zeer belangrijk, gecorreleerd met CO en NO<sub>x</sub></b>
CO	<b>50-89% [Flachsbart, 1999]</b>	<b>Niet meer gezocht</b>	<b>6000 µg/m<sup>3</sup></b>	Gem.: 630, pieken tot 4000 µg/m <sup>3</sup>	Ja	Niet meer gezocht	Minder belangrijk, verder sterk gecorreleerd met UFP en NO <sub>x</sub>
NO	<b>Ca 58% (als NO<sub>x</sub> bepaald)</b>	Niet meer gezocht, vaak samen met NO <sub>2</sub> genomen.	Niet gevonden		Ja	Zie NO <sub>2</sub>	Minder geschikt alleen, verder behoorlijk gecorreleerd met UFP
NO <sub>2</sub>		<b>Redelijk, zeker in geval van Smogvorming. Acuut en langetermijn.</b>	<b>40 µg/m<sup>3</sup> (jaargemiddelde), piek (uur) 200</b>	<b>Jaarnorm af en toe overschreden, uurnorm zelden (mag 18 maal/jr)</b>	<b>Ja, ook met NO gecombineerd</b>	Ja, klein, maar niet nauwkeurig; weinig mobiele metingen	Sterke correlatie met UFP, dat beter te meten is. Daarom niet nodig om te meten.

Tabel B11.2 Afweging voor het kiezen van een deeltjesteller

Positieve scores op een randvoorwaarde of criterium zijn met vet aangegeven.

deeltjesteller	3010	3022A	3025A	3007	8525
Randvoorwaarde:					
Geheugen				<b>140 * 470 data (ruim voldoende), batterij 6 uur</b>	
Naar computer over te brengen				<b>Ja</b>	<b>ja</b>
Criterium:					
Volume (liter)	8	18	23	<b>6.5</b>	<b>5.5</b>
Gewicht	5,5 kg	11 kg	11 kg	<b>1,7 kg</b>	<b>1,7 kg</b>
Response time (sec for 95% response)	5	13 -> 2	1	<b>1 (instelbaar)</b>	<b>1 (instelbaar)</b>
Upper concentration limit (particles/cm <sup>3</sup> )	10 <sup>4</sup>	<b>10<sup>7</sup></b>	10 <sup>5</sup>	<b>10<sup>5</sup>, correctiefactor tot 3*10<sup>5</sup></b>	<b>5*10<sup>5</sup></b>
Minimum particle size (50% efficiency, nm)	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	20
Eenvoudig bedienbaar (aantal knoppen, taal)				Zie bijlage, vermeldingen alleen in het Engels	
minpunten				In geval van wonden loopt de alcohol cartridge over en overstroomt optica: tijdelijke beschadiging, stopt meting. Staat ook in handleiding: niet vervoeren met cartridge erin. Verder temperatuurgevoeligheid: 10-35 °C (TSI 3007), respectievelijk 0-38 °C (TSI 8525).	



