

RIVM rapport 680708004/2007

**Overzicht van onderzoek naar automatische
meetmethoden voor het vaststellen van fijn stof**

Stand der techniek PM_{2,5}-meetmethode

F.Th. van Arkel, P.J. Kummu¹, J.P.L. van Loon³,
A. van der Meulen, M. Severijnen⁴, J.H. Visser²

Contact:

Frits van Arkel

Laboratorium voor Milieumetingen (LVM)

frits.van.arkel@rivm.nl

Medeauteurs:

¹ DCMR Milieudienst Rijnmond

² GGD Amsterdam Medische Milieukunde, Luchtonderzoek

³ Provincie Noord-Brabant

⁴ Provincie Limburg



Onderzoek verricht in het kader van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit, onder projectnummer M/680708/07/AA.

Rapport in het kort

Overzicht van onderzoek naar automatische meetmethoden voor het vaststellen van fijn stof

Dit rapport beschrijft de ‘stand der techniek’ van meetmethoden voor het vaststellen van de concentratie zwevende deeltjes in de troposfeer, gericht op de fijne fractie, de zogenaamde PM_{2,5}-fractie.

De beschrijving van de prestaties van de meetmethoden volgens de huidige stand van de techniek is gebaseerd op een literatuurstudie en op eigen ervaringen van de deelnemende instituten. De studie richt zich op de vergelijkbaarheid van de automatische meetmethoden met de standaardmethode (referentie). Het is de wens van de betrokken meetinstanties om de ervaringen met PM_{2,5}-meetmethoden te inventariseren en om onderling de meetstrategie af te stemmen. Een zorgvuldige selectie van een PM_{2,5}-meetmethode is daarbij van belang.

Doel van het rapport is de betrokken meetinstanties te ondersteunen met een overzicht van de prestaties van verschillende meetmethoden. Daarnaast draagt het rapport bij tot het proces van normaliseren en/of harmoniseren van meetmethoden.

Trefwoorden: fijn stof PM_{2,5}, referentie, vergelijkbaarheid, kalibratie, prestaties

Abstract

Review of research on automatised monitoring techniques for the assessment of particulate matter

This report describes studies on current techniques for determining the concentration of the fine fraction (PM_{2,5}) of particulate matter in the troposphere.

The performance of the sampling technology for PM_{2,5} was investigated by means of a literature study based on a selection of publications (after 2000) comparing the automatic sampler method with the reference method. It was the express wish of the concerned authorities to investigate the performance of the PM_{2,5} methods and to harmonize measurement methodology. A careful selection of PM_{2,5}-samplers is important if the PM_{2,5} methodology is to be improved. This meant considering at least the method's principle, the range of application, the effect of different configurations, effects of varied ambient conditions and uncertainties.

The study's purpose was to facilitate the assessment of both the PM_{2,5} measurement method performance and the process of harmonization and/or normalization.

Key words: Particulate Matter PM_{2,5}, reference, performance, equivalence, calibration

Voorwoord

Binnen de Nederlandse context wordt wel gesproken over het 'fijnstofdossier'. Het fijnstofdossier bevat tal van onderwerpen gerelateerd aan de aanwezige fijne fractie van de zwevende stofdeeltjes in de buitenlucht. Enkele veel besproken onderwerpen hierbinnen zijn:

- het aantal bouwprojecten dat is vertraagd of geen doorgang heeft kunnen vinden;
- de koppeling tussen ruimtelijke ordening en milieu in de geldende wet- en regelgeving;
- het meten en berekenen van fijnstofconcentraties;
- wetenschappelijke onzekerheden.

De relevantie van het monitoren van de fijne stoffractie van zwevende deeltjes in de buitenlucht is in diverse commentaren en studies benadrukt. Gezien de gezondheidsrelevantie van de fijnere deeltjes is er de afgelopen tijd meer aandacht voor de PM_{2,5}-fractie.

Het implementeren van een fijnstofmeetmethode (PM_{2,5}) in het monitoringssystemen is nodig om te voldoen aan de binnen Europa geldende wet- en regelgeving. De voorliggende studie gaat in op de stand der techniek van PM_{2,5}-meetmethoden.

De studie is een gezamenlijk rapport van diverse meetinstanties, te weten:

- DCMR Milieudienst Rijnmond;
- GGD Amsterdam, Medische Milieukunde;
- Provincie Noord-Brabant;
- Provincie Limburg;
- RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Een ieder hartelijke dank voor de bijdragen bij het tot stand komen van de rapportage.

Inhoud

Samenvatting 7

1. Inleiding 9

1.1 Aanleiding 9

1.2 Doel 9

1.3 Context 10

1.4 Leeswijzer 11

2. Vergelijkende studies van meetmethoden 13

2.1 Inleiding 13

2.2 Meetcampagnes binnen Europa 14

2.3 Meetcampagnes buiten Europa 19

2.4 Recente ontwikkeling in routinematig monitoren 21

3. Eisen aan de prestatiekenmerken van een meetmethode 23

3.1 Inleiding 23

3.2 Inventarisatie van criteria 23

3.3 Reacties van de betrokken meetinstanties 24

3.4 Toepassing en reikwijdte 26

4. Onzekerheden/beïnvloedingsfactoren PM_{2,5} 29

5. Discussie 31

6. Aanbevelingen 33

Literatuur 35

Verklarende Woordenlijst 37

Bijlage I Beknopt overzicht meetprincipes 39

Bijlage II Resultaten automatische PM_{2,5}-metingen binnen Nederland 41

Samenvatting

Binnen de Nederlandse context wordt wel gesproken over het ‘fijnstofdossier’. Het fijnstofdossier bevat tal van onderwerpen gerelateerd aan de aanwezige fijne fractie van de zwevende stofdeeltjes in de buitenlucht. Enkele veel besproken onderwerpen hierbinnen zijn:

- het aantal bouwprojecten dat is vertraagd of geen doorgang heeft kunnen vinden;
- de koppeling tussen ruimtelijke ordening en milieu in de geldende wet- en regelgeving;
- het meten en berekenen van fijnstofconcentraties;
- wetenschappelijke onzekerheden.

Aanleiding van de voorliggende studie en rapportage is de wens van de betrokken meetinstanties om de ervaringen met PM_{2,5}-meetmethoden te inventariseren en om onderling de meetstrategie af te stemmen.

Het doel van het voorliggende onderzoek is om een overzicht te geven van de stand der techniek voor het vaststellen van de heersende concentraties van zwevend stof in de atmosfeer (PM_{2,5}-fractie), waarbij aandacht is besteed aan:

- diverse meetprincipes;
- vergelijkende metingen tussen de gestandaardiseerde meetmethode (referentie) en automatische meetmethoden;
- prestatiekenmerken van meetmethode;
- onzekerheden bij het vaststellen van fijn stof (PM_{2,5}-fractie).

Toelichtend kader ‘Reikwijdte van de rapportage’

Het voorliggende rapport kan bijvoorbeeld door de betrokken meetinstanties worden gebruikt om de keuze van een meetmethode te onderbouwen en het rapport beoogt ondermeer om te faciliteren in het traject van harmoniseren en/of normaliseren.

Monitoringssystemen hebben een prominente plaats bij het volgen van (de verbeteringen van) de luchtkwaliteit. Het implementeren van een fijnstofmeetmethode (PM_{2,5}) in monitoringssystemen is van belang, de overwegingen daarbij zijn ondermeer ten behoeve van:

- het voldoen aan de in Europa geldende wet- en regelgeving;
- het aanleveren van data voor het Generieke Concentratiebestand in Nederland;
- publieksvoorlichting;
- vergunningverlening en handhaving;
- het evalueren van effecten van maatregelen;
- bronherkenning, formuleren van (bron)beleid;
- het valideren en ontwikkelen van modellen;
- het karakteriseren van fijn stof;
- gezondheidskundig onderzoek ten behoeve van de Gemeentelijke Gezondheidsdienst (GGD).

Voorliggend rapport bevat een overzicht van een selectie van studies van de stand van de techniek bij het vaststellen van fijn stof (PM_{2,5}). Er is een overzicht gegeven van een aantal geselecteerde publicaties (ongeveer vanaf 2000). Verder is gebruikgemaakt van beschikbare meetresultaten van betrokken meetinstanties. De betrokken meetinstanties zijn DCMR Milieudienst Rijnmond, GGD Amsterdam, Provincie Noord-Brabant, Provincie Limburg en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).

Voor het vaststellen van de concentratie van de fijne fractie van zwevende deeltjes in de atmosfeer, heeft het in een monitoringssysteem de voorkeur om automatische metingen te verrichten, vanwege de Europese verplichting tot publieksvoorlichting. Binnen Europa wordt overigens veelvuldig gebruikgemaakt van automatische meetmethoden. De referentiemeetmethode als genoemd in de Europese standaard is hiervoor niet geschikt.

In de voorliggende studie zijn er conform de huidige stand der techniek drie meetprincipes nader onderzocht om de concentratie van fijn stof in de buitenlucht vast te stellen, te weten:

- Tapered Element of Oscillating Microbalance (TEOM);
- Bètastrafmethode;
- Optische meetmethode (scattering van licht).

Van de verschillende meetprincipes zijn verschillende types en diverse uitvoeringen beschikbaar.

Uit de geselecteerde publicaties volgt dat er (veelal) een systematische afwijking is vastgesteld tussen de automatische meetmethoden en de standaard meetmethode (referentie). Dit leidt tot een zogenaamde kalibratiefactor. In verschillende publicaties is de systematische afwijking gekwantificeerd. Afhankelijk van de studie zijn de verschillen in de systematische afwijking toegeschreven aan meetprincipe, configuratie van de meetmethode (type, ouderdom et cetera), omgevingscondities en meetprotocollen. De precisie en nauwkeurigheid waarmee de systematische afwijking is vastgesteld varieert. De bandbreedte van de systematische afwijking is voor de vergelijkbaarheid met de in Europa geldende standaard relevant. Naast de bandbreedte van de systematische afwijking is er aandacht voor de mate waarin is afgeweken.

Toelichtend kader 'toepassingsgebied'

Belangrijk is de reikwijdte van het monitoringssysteem aan gebruikers van meetresultaten zorgvuldig en helder te formuleren. Immers bij de selectie van een meetmethode is de reikwijdte (doel en toepassingsgebied) van het monitoringssysteem relevant.

De keuze voor een meetmethode en meetstrategie wordt onder meer bepaald door de omschrijving van de doelstelling van het onderzoek. Het verkrijgen van een landsdekkend beeld, het inzicht in concentraties bij blootstelling, brontoewijzing, voldoen aan rapportageverplichting en/of het informeren van burgers stelt zekere eisen aan prestaties van meetmethoden. Aanvullende eisen aan bijvoorbeeld tijdsresolutie, prestaties als precisie, juistheid zijn verder richtinggevend bij het formuleren van het pakket van eisen. Het verdient aanbeveling om één standaard te hanteren voor al de meetinstanties, waarbij procedures, protocollen en toepassingsgebied eenduidig zijn vastgelegd.

Geconcludeerd is dat bij de keuze van automatische monitoren in monitoringssystemen, rekening moet worden gehouden met:

- meetprincipe (afhankelijk van doel van het monitoringssysteem);
- doel van het monitoringssysteem (zie toelichtend kader);
- onzekerheden bij het vaststellen van de kalibratiefactor;
- omgevingscondities;
- configuratie van de meetmethode (inlaatverwarming, gehanteerde filtermateriaal).

Omdat de mate van systematische afwijking kan variëren (afhankelijk van beïnvloedingsfactoren) is het aan te bevelen om de (veranderingen in de) systematische afwijking, zowel omvang als spreiding, in de tijd te volgen.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Binnen de Nederlandse context wordt wel gesproken over het ‘fijnstofdossier’. Het fijnstofdossier bevat tal van onderwerpen gerelateerd aan de aanwezige fijne fractie van de zwevende stofdeeltjes in de buitenlucht. Enkele veel besproken onderwerpen hierbinnen zijn:

- het aantal bouwprojecten dat is vertraagd of geen doorgang heeft kunnen vinden;
- de koppeling tussen ruimtelijke ordening en milieu in de geldende wet- en regelgeving;
- het meten en berekenen van fijnstofconcentraties;
- wetenschappelijke onzekerheden.

De relevantie van het monitoren van de fijne stoffractie van zwevende deeltjes in de buitenlucht is in diverse commentaren en studies benadrukt. Gezien de gezondheidsrelevantie voor de fijnere deeltjes is er de afgelopen tijd meer aandacht voor de $PM_{2,5}$ -fractie. Het implementeren van een fijnstofmeetmethode ($PM_{2,5}$) in het monitoringssystemen is dan ook nodig om inzicht te krijgen in de heersende concentraties fijn stof binnen Nederland. Het inzicht in de heersende concentratie $PM_{2,5}$ is onmisbaar bij het toetsen aan de in Europa geldende wet- en regelgeving. Inzicht in de heersende concentraties is verder nodig om modellen te valideren en te ontwikkelen en om inzicht te krijgen in de effecten van de heersende concentraties van (de fijne fractie van) zwevende deeltjes.

De betrokken meetinstanties onderzoeken de mogelijkheden om met elkaar overeenstemming te bereiken over de aanschaf van de meetmethoden. Immers, gelet op het (maatschappelijke) belang van het verrichten van plantoetsingen is een eenvoudige en eenduidige meetprocedure gewenst. De afstemming is bovendien van belang omdat de Nederlandse geldende wet- en regelgeving een koppeling legt tussen de ruimtelijke ordening en het milieu.

Aanleiding van de voorliggende rapportage is de wens van de betrokken meetinstanties om de ervaringen met $PM_{2,5}$ -meetmethoden te inventariseren en om onderling de meetstrategie af te stemmen.

1.2 Doel

Voor het beheer van de luchtkwaliteit verrichten diverse bevoegde instanties metingen naar het voorkomen van zwevende deeltjes in de atmosfeer. In de Nederlandse geldende wet- en regelgeving, gebaseerd op Europese (kader)richtlijn, is aandacht besteed aan de wijze van metingen voor het vaststellen van de heersende concentraties fijn stof van zwevende deeltjes (PM_{10})¹ in de atmosfeer [1],[2],[3]. Voor de fractie $PM_{2,5}$ van zwevend stof is er binnen Europa aanscherping van wet- en regelgeving te verwachten. Omdat de fijnere fractie ($PM_{2,5}$) meer gezondheidsrelevant is, bestaat het voornemen om wetgeving hierover op te nemen.

¹ Zie verklarende woordenlijst

Het doel van het voorliggende onderzoek is om een overzicht te geven van de stand der techniek voor het vaststellen van de heersende concentraties van zwevend stof in de atmosfeer (PM_{2,5}-fractie), waarbij aandacht is besteed aan:

- diverse meetprincipes;
- vergelijkende metingen tussen de gestandaardiseerde meetmethode (referentie) en automatische meetmethoden;
- prestatiekenmerken van meetmethode;
- onzekerheden bij het vaststellen van fijn stof (PM_{2,5}-fractie).

Een goed beheer van de luchtkwaliteit is gebaat bij het monitoren door middel van metingen en vraagt om een onderbouwing van de keuzen bij het opstellen van de meetstrategie, waaronder de keuze van een meetmethode. Het rapport draagt bij tot de onderbouwing van de keuze voor de meetmethode en heeft tot doel om de beschikbare informatie over de prestaties van de meetmethode te presenteren. Een selectie van de beschikbare informatie over de prestaties van de meetapparatuur is beknopt samengevat en vervolgens vanuit diverse invalshoeken nader belicht.

1.3 Context

Om verbetering van de luchtkwaliteit vast te stellen (bijvoorbeeld het effect van maatregelen) is een adequaat monitoringsysteem nodig. Omdat de recente ontwikkelingen in de besluitvorming over fijn stof en voortschrijdende kennis van de gezondheidseffecten gericht is op de fijnere fractie (PM_{2,5}) van zwevende deeltjes, is inzicht in automatische monitoringmethoden van PM_{2,5}-fractie relevant. In voorliggend onderzoek is door middel van een literatuuronderzoek en een overzicht van de ervaringen de huidige inzichten beschreven. Het onderzoek hiernaar is niet volledig, maar is een beperkt overzicht van beschikbare literatuur en ervaringen van betrokken meetinstanties

De betrokken meetinstanties zijn:

- RIVM;
- GGD Amsterdam;
- DCMR Milieudienst Rijnmond;
- Provincie Noord-Brabant;
- Provincie Limburg.

Toelichtend kader 'persbericht'

Persbericht 19 september 2006. *Luchtkwaliteit*[4].

Voor de verbetering van de luchtkwaliteit is 2007 een cruciaal jaar. Alle wet- en regelgeving moet afgerond zijn en alle maatregelen voor de verbetering van de luchtkwaliteit moeten operationeel zijn. Voor de verbetering van de luchtkwaliteit was al 900 miljoen euro gereserveerd voor de periode 2005-2015. Het kabinet heeft het bedrag nu met 150 miljoen euro verhoogd, zodat ruim 1 miljard euro beschikbaar is. Met deze financiële middelen, de aangepaste en aan te passen regelgeving en de maatregelen van provinciën en gemeenten is concreet zicht op het realiseren van twee belangrijke doelen van het kabinet: aanzienlijke verbetering van de luchtkwaliteit en een ruimtelijke economische ontwikkeling die niet door problemen met luchtkwaliteit wordt gehinderd.

Voor het verkrijgen van een overzicht van de PM_{2,5}-fractie van de zwevende stofdeeltjes in de atmosfeer binnen Nederland is het opzetten (en/of uitbreiden) van het netwerk van

routinemetingen wenselijk. Bij het opzetten van het netwerk van automatische fijnstofmeetmethode ($PM_{2,5}$), is het relevant om in voldoende mate rekening te houden met de stand der techniek. De Europese genormaliseerde meetmethode voor het vaststellen van de $PM_{2,5}$ -concentratie is gebaseerd op een gravimetrische bepaling en vastgelegd in NEN-EN 14907 [5]. In de voorliggende studie is een beknopt overzicht gegeven van vergelijkende studies van beschikbare automatische meetmethoden met de standaard meetmethode (referentie).

Het is binnen het kader van het onderzoek niet haalbaar om een volledig overzicht te geven van de beschikbare vergelijkende metingen. Samenvattend beoogt de studie inzicht te geven in het huidige kennisniveau over het gebruik van automatische meetmethoden en beschrijft het rapport de leemtes in kennis.

Om in Nederland te voldoen aan de binnen Europa geldende wet- en regelgeving is het nodig om op korte termijn een fijnstofmeetmethode te implementeren binnen het netwerk (Landelijk Monitoring Luchtkwaliteit).

Om te faciliteren bij de keuze van een meetmethode is inzicht nodig in:

- de prestaties van de meetmethoden en de opgedane ervaringen met de meetmethoden,
- de te stellen eisen van de betrokken meetinstanties aan de prestaties van de meetmethoden. Dit hangt onder meer samen met het doel van het monitoringssysteem en de onzekerheden bij het monitoren van $PM_{2,5}$.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een beknopt overzicht gegeven van vergelijkende studies die zijn verricht – vergelijking tussen automatische meetmethoden en methoden gebaseerd op gravimetrie (in Bijlage I is het overzicht nader aangevuld met een korte toelichting op de diverse onderzocht meetprincipes en in appendix II zijn de resultaten die zijn aangeleverd door de betrokken meetinstanties verwerkt). In hoofdstuk 3 is ingegaan op de prestatiekenmerken van de meetmethode. In hoofdstuk 4 is tot slot ingegaan op de onzekerheden bij het vaststellen van de fijnstofconcentratie ($PM_{2,5}$).

2. Vergelijkende studies van meetmethoden

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van een aantal meetcampagnes en vergelijkende meetcampagnes die sinds 2000 binnen en buiten Europa hebben plaatsgevonden.

Paragraaf 2.2 gaat in op de volgende meetcampagnes/studies binnen Europa:

- Validatie in het kader van het selecteren van de standaardmethode PM_{2,5}, 2006;
- UK Equivalence Programm for Monitoring of Particulate Matter, 2006;
- Ervaringsgegevens over PM₁₀ en PM_{2,5} monitoring te Duitsland, 2000;
- Feinstaub und Schadgasbelastungen in der Göttinger Strasse, Hannover, 2003.

Daarnaast komt een aantal andere publicaties aan bod, waarin PM_{2,5} monitoren zijn vergeleken:

- Vergelijkende studie gedurende 1 jaar op vier sites te Oostenrijk van bètastofmonitor en TEOM met een gravimetrische meetmethode;
- Het monitoren van PM₁₀ en PM_{2,5} in industriegebied (keramische industrie) Spanje.

Ook eigen ervaringen van de instanties die aan dit onderzoek hebben bijgedragen worden beschreven.

Paragraaf 2.3 geeft een schatting van het aantal PM_{2,5}-meetlocaties buiten Europa. Ervaringen met automatische meetmethoden om de PM_{2,5}-fractie van zwevende deeltjes in de atmosfeer vast te stellen zijn niet alleen binnen Europa opgedaan. Er zijn ook buiten Europa al van publicaties verschenen. Deze paragraaf beschrijft onder meer vergelijkende studies en artefacten bij monitoren van de PM_{2,5}-concentratie.

Achtereenvolgens wordt ingegaan op onderzoek in:

- Australië, door CSIRO;
- Studie door Phil Lorang (et al.) van het Ambient Air Monitoring Group EPA Office en Tom Dann (et al.) in het kader van het National Air Pollution Surveillance netwerk Canada; beide gepresenteerd op de NESCAUM Monitoring Advisory Committee Meeting van 16/17 mei 2006 in Newport;
- Californië, supersite Fresno;
- Canada, landelijke meetnet '99.

In paragraaf 2.4 volgt ten slotte een beknopte beschrijving van de ontwikkeling en evaluatie van automatische PM_{2,5}-monitoren.

2.2 Meetcampagnes binnen Europa

Uit literatuuronderzoek (literatuur vanaf circa 2000) zijn vergelijkende metingen met automatische meetmethoden en de standaardmethode (equivalentiemethode) als genoemd in NEN-EN 14907 gepresenteerd. In voorliggende studie is volstaan met een beknopte beschrijving van de publicatie, verwijzing naar de literatuur en de rapportage van enkele kenmerkende gegevens over de regressievergelijking (waarbij verschillende automatische meetmethoden zijn vergeleken met meetmethoden gebaseerd op gravimetrie). Door het verschil in vastgestelde spreidingsparameters, datahandeling en statistische verwerking is een op-eenvergelijking van resultaten niet zonder meer mogelijk. Enkele resultaten zijn gegeven ten behoeve van een overzicht.

Toelichtend kader 'kalibratiefactor/omrekeningsfactor/correctiefactor'

Daarvoor bevoegde commissies binnen de Europese Unie dragen zorg voor standaard meetmethode en –procedures ten behoeve van het beheer van de luchtkwaliteit. Goed beheer van de luchtkwaliteit is een verantwoordelijkheid van de lidstaten. Het doel van de Europese standaard NEN-EN 14907 is om binnen de Europese Unie het monitoren van de 2,5 µm massafractie van zwevende deeltjes in de atmosfeer te harmoniseren. De meetmethode hoeft niet noodzakelijkerwijs te worden gebruikt bij automatische routinematige metingen ten behoeve van het landelijke monitoringnetwerk. De standaardmethode genoemd in NEN-EN 14907 is een handmatige meetmethode en bevat een procedure om vast te stellen of niet gestandaardiseerde meetmethoden 'gelijkwaardig' zijn aan de standaard meetmethode (referentie).

In voorliggende studie is gebruikgemaakt van de term 'kalibratiefactor', om aan te duiden dat er (altijd) een omrekening plaats heeft om een niet-gestandaardiseerde meetmethode om te rekenen naar een gestandaardiseerde meetmethode.

Validatie ten behoeve van CEN-standaard meetmethode PM_{2,5}

In juli 2006 is door de 'European Committee for standardization PM_{2,5}' CEN/TC 264/WG 15 gerapporteerd over de bevindingen bij de standaardisatie van een meetmethode voor het vaststellen van zwevende deeltjes in de buitenlucht, PM_{2,5} [6]. Op acht testlocaties in Zuid-, Centraal- en Noord-Europa is - met verschillende PM_{2,5}-meetmethoden - gedurende zes maanden de PM_{2,5}-concentratie vastgesteld.

De meetcampagne van september 2000 t/m oktober 2002 heeft geresulteerd in een selectie van een standaard meetmethode. Daarbij is benadrukt dat de werkgroep niet bevoegd is om equivalentie vast te stellen noch met de studie de bedoeling heeft om data te verzorgen om equivalentie aan te tonen.

Tijdens de meetcampagne zijn vier routinematige systemen om de PM_{2,5}-concentratie vast te stellen onderzocht, namelijk:

- TEOM uitgerust met Sample Equilibration System (SES);
- drie bètastofmonitoren (SM200/Opsis, FH62IR/ESM Anderson Company; BAM200/MetOne).

Vergelijkende resultaten tussen de standaard meetmethode en de automatische samplers zijn samengevat voor alle sites gegeven in Tabel 2.1.

Een maat om aan te geven in hoeverre de voorspelling met regressie ‘correct’ is, is het kwadraat van de proportie verklarende variantie (R^2). Uit een vergelijking per locatie volgt een hogere R^2 dan gepresenteerd in Tabel 2.1, omdat Tabel 2.1 betrekking heeft op een overzicht over meerdere locaties.

Tabel 2.1 Beknopt overzicht meetresultaten automatische monitoring

Identificatie	Aantal gepaarde metingen (24hr)	Richtingscoëfficiënt	Asafsnede	R^2
CM1	426	0,942	1,83	0,795
CM2	585	0,858	2,00	0,660
CM3	460	0,967	1,01	0,909
CM4	538	0,742	3,56	0,813

Uit de tabel volgt dat er een systematische afwijking is tussen de standaard meetmethode en automatische methoden. De benodigde omrekening van de automatische monitoring is vastgesteld tussen de 1,03 en de 1,35. Een maat om aan te geven in hoeverre de voorspelling met regressie ‘correct’ is, is het kwadraat van de proportie verklarende variantie (R^2). Uit een vergelijkende studie per site volgt een hogere R^2 dan gepresenteerd in Tabel 2.1. Dit is een indicatie dat de overeenkomst tussen automatische meetmethode en standaardmethode afhankelijk is van de omgevingsfactoren.

Voor het selecteren van een automatische meetmethode is het dan ook aan te bevelen rekening te houden met omgevingscondities die nationaal en/of regionaal voorkomen. De prestaties van meetmethoden geldt binnen een zekere reikwijdte. De reikwijdte waarbinnen prestaties van de automatische meetmethode conform de in Europa geldende standaard is in de studie niet nader onderzocht (dat ligt buiten de ‘scope’ van het onderzoek).

Vergelijkende meetcampagne fijn stof in het Verenigd Koninkrijk

In juni 2006 is het resultaat van een meetcampagne gerapporteerd, waarbij in het Verenigd Koninkrijk op vier locaties vergelijkende $PM_{2,5}$ -metingen zijn verricht [7]. Het doel van het rapport is om resultaten samen te vatten van de vergelijkende studies, maar de studie is niet bruikbaar om conclusies te trekken over het functioneren van het landelijke meetnet binnen het Verenigd Koninkrijk of om de oorzaken van een verschil tussen een resultaat van een automatische monitor met de standaard meetmethode te achterhalen.

De meetcampagne heeft plaatsgevonden in zomer- en winterperioden op een viertal locaties verspreid over het Verenigd Koninkrijk. De automatische meetmethoden die bij vergelijkende testen zijn betrokken, zijn:

1. TEOM, Thermo Electron Corporation;
2. TEOM FDMS, Thermo Electron Corporation;
3. Bètastofmonitor, SM200, OPSIS;
4. Bètastofmonitor BAM200, MetOne.

Een beknopt overzicht van de resultaten van de meetcampagne is gegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Overzicht conclusies equivalentietest Verenigd Koninkrijk

<i>Instrument</i>	<i>Deliverer</i>	<i>Outcome of Test</i>
TEOM PM_{10}	Thermo Electron Corporation	Fails the equivalence criteria
TEOM FDMS $PM_{2,5}$	Thermo Electron Corporation	Meets the equivalence criteria
OP SIS SM200 – Beta PM_{10}	Opsis	Meets the equivalence criteria
BAM (Beta) PM_{10}	MetOne	Meets the equivalence criteria with correction for slope

De conclusies als genoemd in Tabel 2.2 zijn gebaseerd op de totale dataset. Het is echter mogelijk dat na een differentiatie naar bijvoorbeeld plaats, tijd of omgevingscondities een deel van de dataset niet aan de gestelde criteria voor equivalentie voldoet.

Uit de studie volgt dat de TEOM met inlaatverwarming niet voldoet aan de geldende criteria. Bij het gebruik van de FDMS is de gevoeligheid voor temperatuur op de effectiviteit van de droger genoemd. De BAM (inclusief Smart BAM) is beschreven als bedrijfszeker. Een enkele keer is de lek- en/of flowtest bij de BAM niet doorstaan. Gebruik van de BAM heeft geresulteerd in een beperkte uitval van data in vergelijking tot andere meetinstrumenten. Bij het gebruik van de Opsis is bij de praktische uitvoering het selecteren van geschikt filtermateriaal problematisch.

Meetresultaten bij Bobigny (Parijs) in Frankrijk

In een meetcampagne te Bobigny is een equivalentietest uitgevoerd tussen de FDMS en de standaard meetmethode, zowel voor wat betreft de fractie $PM_{2,5}$ als de fractie PM_{10} [8]. Bij het vaststellen van de concentratie van de $PM_{2,5}$ -fractie is gebruikgemaakt van twee referentiesamplers (PartisolPlus) en twee automatische FDMS-monitoren. De monitoren van eenzelfde type komen onderling goed met elkaar overeen. De automatische samplers komen daarbij goed overeen met de referentie. Er is voldaan aan de gestelde eisen in de binnen Europa geldende standaard. In Frankrijk wordt, gebaseerd op de resultaten (equivalent en geen systematische afwijking), gebruikgemaakt van de TEOM en als ijkpunten wordt gebruikgemaakt van de FDMS. Er is in de studie geen directe verwijzing genoemd naar de equivalentie als genoemd in EN14907.

In een afzonderlijk rapport is een vergelijking opgenomen tussen een equivalentietest en bètastofmonitoren. De standaard meetmethode en routinematige meetmethode leiden tot vergelijkbare meetresultaten.

Meetresultaten bij Lodelinsart in België

In november 2006 zijn de resultaten gerapporteerd van een interlaboratoriumonderzoek naar PM_{10} en $PM_{2,5}$ [9]. ISSeP en VMM hebben gemeenschappelijk een onderzoek verricht. Er is gebruikgemaakt van de standaard meetmethode en een bètastofmonitor inclusief de inzet van een Grimm 107. Geconcludeerd is dat bij niet-gecorrigeerde data van zowel de bètastofmonitor als de Grimm 107, de as-afsnede significant verschilt en de hellingshoek niet significant afwijkt. Bij het hanteren van orthogonale lineaire regressie door de oorsprong is er geen significant verschil vastgesteld.

Ervaringsgegevens over metingen van PM_{10} en $PM_{2,5}$ in Duitsland

In opdracht van 'Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI)' is in februari 2000 een overzicht gepresenteerd van de ervaringen bij monitoring van $PM_{2,5}$ en PM_{10} in de buitenlucht [10]. De studie is voornamelijk gericht op ervaringen van PM_{10} -monitoring, waarbij in een voorstudie handmatige High Volume Sampler (HVS) en Low Volume Sampler (LVS) met elkaar zijn vergeleken. Voor het vaststellen van de $PM_{2,5}$ -fractie is bij de gravimetrische bepaling uitgegaan van de zogenaamde Digital DHA80. De meetcampagnes hebben plaatsgevonden van januari 1997 t/m januari 1999. In de studie wordt aangenomen dat de goede relatie voor PM_{10} tussen het Kleinfiltergerät (KFG) en de bètastofmonitor bij het toepassen van een geschikte $PM_{2,5}$ -inlaat eenzelfde resultaat zal geven.

De bètastofmonitoren die in de studie zijn gebruikt zijn zowel van het type IN als van het type IR. Het gebruik van het type inlaatverwarming en de instelling van de temperatuur kan mogelijk verschillen. Uit de studie volgt dat R^2 groter is dan 0,9 tussen de LVS en de bètastofmonitor (goede vergelijkbaarheid van de monitoren). Om voor de systematische

afwijking te corrigeren (te kalibreren), is een factor nodig tussen de 1,2 en de 1,4. De aanname in de rapportage is dat de factor geldt voor beide fracties (PM_{10} en $PM_{2,5}$).

Feinstaub und Schadgasbelastungen in der Göttinger Strasse, Hannover

Door ingenieurbureau Lohmeyer is in opdracht van Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ) en in samenwerking met NLÖ en Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart onderzoek verricht naar fijne stofdeeltjes binnen de invloedssfeer van verkeer [11].

De rapportage beschrijft de meetresultaten in een street canyon. De studie richt zich op het aandeel dat verkeer bijdraagt aan de heersende concentraties in een lokale situatie. Er zijn in de rapportage metingen naar de samenstelling van fijn stof verricht.

Equivalentietest te Oostenrijk

Een vergelijkende test in Oostenrijk [12] op vier plaatsen gedurende één jaar, toont dat het meetresultaat afhankelijk is van seizoen, plaats en chemische samenstelling van het fijn stof. De inlaatverwarming van de TEOM is ingesteld op 40°C. Geconcludeerd is dat de meetmethoden (TEOM en bètastofmonitor) in de zomer goed met elkaar overeenkomen bij geringe nitraatbelasting. Bij correctie voor nitraat is het volgens de studie mogelijk te komen tot een goede overeenstemming van meetmethoden.

Uit de studie volgt dat de concentratie nitraat lineair toeneemt met de PM-concentratie en dat voor de afwijking kan worden gecorrigeerd door het toepassen van een kalibratiefactor, waarbij rekening dient te worden gehouden met de seizoensinvloed. In de zomer is geen correctie nodig.

Verder volgt uit de studie dat de prestaties van de fijnstofmeetmethode (TEOM en bètastofmonitor) afhankelijk zijn van de temperatuur in de buitenlucht. Bij temperaturen boven de 20°C is er sprake van een onderschatting van de fijnstofconcentratie ten opzichte van de referentiemethode.

De publicatie beschrijft verder de resultaten van AUPHEP en gaat in op modelberekeningen, waarbij het belang van het beschrijven van de nitraatconcentratie (semi-vluchtige componenten) is onderstreept. Dit is een project van de Clean Air Commission of the Austrian Academy of Sciences in een samenwerkingsprogramma met meerdere instituten.

Het monitoren van PM_{10} en $PM_{2,5}$ in een industriegebied (keramische industrie) in Spanje

In het industriegebied van L'Alcora in het Noordoosten van Spanje is met behulp van de Grimm 1108 laserspectrofotometer en de High Volume Sampler (Digitel) de PM_{10} - en de $PM_{2,5}$ -concentratie vastgesteld [13].

Uit een vergelijking van de meetinstrumenten volgt dat er bij de $PM_{2,5}$ -concentratie een kalibratiefactor is vastgesteld van 1,2 voor de Grimm, op basis van 21 gevalideerde (paarsgewijze) etmaalgemiddelde concentraties. Bij de PM_{10} -fractie is er geen sprake van een correctie. De R^2 bij de $PM_{2,5}$ is gebaseerd op een beperkt aantal waarnemingen (21 dataparen) en bedraagt 0,68. Voor PM_{10} gebaseerd op 97 dataparen is de R^2 vastgesteld op 0,90.

In de studie is niet aangegeven door welke oorzaak de correctie bij $PM_{2,5}$ -meetmethode nodig is. Gedurende de meetcampagne hebben typisch zomerse meteorologische omstandigheden gedomineerd. De zomerse omstandigheden doen vermoeden dat de hypothese dat voornamelijk de bijdrage van vluchtige componenten ten grondslag liggen aan de

systematische afwijking (zoals genoemd in voorgenaamde publicatie) niet wordt onderschreven.

Gehanteerde PM_{2,5}-monitoringsystemen in de landelijke meetnetten binnen Europa [14]

In veel Europese landen is naast monitoring van de PM₁₀-concentratie het monitoren van de PM_{2,5}-concentratie in het monitoringsysteem opgenomen. Er is in 2004 met beschikbare informatie door de Clean Air for Europe (CAFE) Working Group on Particulate Matter een overzicht gegeven van het aantal meetpunten binnen Europa en de gehanteerde meetmethode. Er is niet aangegeven op welke wijze de monitoren zijn uitgerust en op welke wijze de gravimetrische bepaling is uitgevoerd.

De aanvullingen over 2005 en 2006 zijn niet in het overzicht verwerkt. In 2004 worden in tien lidstaten gebruikgemaakt van een TEOM met inlaatverwarming, in zeven lidstaten met de handmatige referentiemethode, in 2 lidstaten de bètastofmethode en in 1 lidstaat de optische techniek.

Eigen ervaringen

‘Eigen ervaringen’ verwijst in dit rapport naar informatie over de vergelijkbaarheid van monitoren die aanwezig is bij de meetinstanties die aan dit onderzoek meewerken (DCMR, GGD Amsterdam, provincies Noord-Brabant en Limburg en het RIVM).

Uit de eigen ervaringen volgt dat de TEOM met inlaatverwarming niet voldoet aan de randvoorwaarde van automatische monsterneming (de vraag is of er sprake is van een systematische afwijking bij TEOM met inlaatverwarming). Voor de FDMS zijn de ervaringen over vergelijkbaarheid verschillend en bij de bètastofmonitor is er voldaan aan de gestelde criteria. Over de optische technieken ontbreekt informatie van de betrokken meetinstanties.

In Bijlage II zijn de ‘eigen ervaringen’ gerapporteerd, waarbij op de verkregen gevalideerde data de equivalentietest is uitgevoerd, daarnaast zijn er enkele aanvullende statistische gegevens over de relatie tussen de automatische meetmethode en de referentiemethode beschreven.

Tussen de meetinstanties van Noord-Rijnland-Westfalen (Duitsland) en het RIVM in Nederland is in 2006 een vergelijkende studie verricht naar de beoordeling van de luchtkwaliteit [15] met aandacht voor fijn stof. Het RIVM heeft verder inzicht in de vastgestelde kalibratiefactoren voor PM₁₀ over 2005 [16] en 2006 [17].

Conclusie

Er is binnen Europa ruime ervaring opgedaan met PM_{2,5}-meetmethode. Van de drie meetprincipes (optische, bètaverzwakking en oscillating microbalance) zijn er de meeste ervaringen met de bètaverzwakking, waarbij onder verschillende meteorologische omstandigheden kan worden voldaan aan de gestelde criteria (bedrijfszekerheid onder wisselende heersende omstandigheden).

In de studie uitgevoerd in het Verenigd Koninkrijk is de bètastofmonitor als betrouwbaar omschreven, waarbij is verwezen naar de bedrijfszekerheid en de gelijkwaardigheid met de in Europa geldende standaard. De TEOM met inlaatverwarming geeft niet de gewenste resultaten. De verwachting is dan ook dat de lidstaten in monitoringssystemen minder gebruik zullen maken van de TEOM met inlaatverwarming. Echter de TEOM met droger en FDMS-principe kent een aantal goede testresultaten. Uit de eigen ervaringen (kortdurende meetreeksen) is de uitkomst van de equivalentietest een positief testresultaat, zowel door de meetinstanties GGD Amsterdam als door RIVM. Uit diverse publicaties volgt dat voornamelijk het temperatuurbereik begrensd is, en dat een studie naar de relatie tussen de

FDMS en de referentie bij diverse temperaturen nodig lijkt om meer inzicht te krijgen in de prestaties van de monitor. De optische techniek wordt veelal als een kansrijk meetprincipe gezien, omdat de multifunctionaliteit en tijdsresolutie van het instrument meerwaarde heeft. Er zijn enkele publicaties over ervaringen waarbij de Grimm als optische techniek is gebruikt.

2.3 Meetcampagnes buiten Europa

CSIRO Atmospheric Research, 2006

De rapportage 'Report to Environment Australia' van CSIRO Atmospheric Research [18] gaat voornamelijk in op het ontwikkelen van een meetstrategie. De studie is gericht op het vergelijken van een TEOM met de High Volume Samplers (HVS) voor PM₁₀. Er is een aantal vergelijkingen uitgevoerd, waarbij aandacht is voor de onzekerheden en de beïnvloedingsfactoren.

Er is sprake van een onderschatting door de TEOM (ingesteld op 50°C) wanneer de buitenluchttemperatuur lager is dan 15°C. Dit is overigens tegengesteld aan de ervaringen in Oostenrijk als eerder beschreven.

Uit de Australische studie volgt dat voor de PM₁₀-fractie de vereiste correctie afhankelijk is van het PM₁₀-niveau. Bij een concentratie kleiner dan 10 µg/m³ is de benodigde omrekening groter dan 40%, bij een concentratie groter dan 40 µg/m³ is de relatieve omrekening kleiner dan 10%. Het rapport besteedt ook aandacht aan de wijze van statistische bewerking (toepassing van regressieanalyses).

De studie gaat in op het effect van relatieve vochtigheid op semi-vluchtig aerosol. De deeltjesdiameter bij ammoniumsulfaat en zeezout is afhankelijk van de heersende relatieve vochtigheid. De heersende relatieve vochtigheid bepaald mede of het ammoniumsulfaat tot de PM_{2,5} kan worden gerekend. In de studie is informatie over de groei van deeltjes ten gevolge van verhoging van de relatieve vochtigheid beschreven. De studie adviseert onderzoek om de implicaties van een overstap naar PM_{2,5} beter te kunnen overzien.

Continuous Particulate Matter (PM_{2,5}) Monitoring. Nescaum Monitoring and Assessment Committee Meeting. Newport, USA. May 2006.

Voor dit onderzoek zijn twee presentaties relevant die gegeven zijn op de NESCAUM Monitoring and Assessment Committee Meeting te Newport, Rhode Island, USA, in mei 2006.

Presentatie door Phil Lorang, Ambient Air Monitoring Group, EPA Office of Air Quality Planning and Standards

De presentatie gaat over een netwerk van PM_{2,5}-samplers in de Verenigde Staten. Er is daarin sprake een aantal van 228 benodigde samplers. Het netwerk wordt beschreven, waarbij onderscheid is gemaakt tussen sites voor zogenaamde FRM-sites, EPA-sites en IMPROVE-sites. Uit de presentatie volgt dat er in de Verenigde Staten ruime ervaringen zijn met PM_{2,5}-meetmethoden. Ervaringen over prestaties van de meetmethoden onder verschillende meteorologische omstandigheden zijn beschikbaar.

Verder gaat de presentatie in op de keuze voor de Federal Reference Method (FRM). Bij deze keuze hebben criteria als precisie en correlatie een belangrijke rol gespeeld. Een vergelijking van de automatische monitoren met FRM geeft informatie over de prestaties van de

monitoren, omdat aan de FRM duidelijke criteria en definiëring van $PM_{2,5}$ ten grondslag liggen. De FRM is een andere meetmethode dan de in Europa geldende standaard.

Presentatie door Tom Dann, Luc White and Alain Biron. Environment Canada, Ottawa. De presentatie [19] gaat in op meetresultaten verkregen in verschillende seizoenen in Ottawa met verschillende meetprincipes. De studie is verricht in het kader van het 'National Air Pollution Surveillance (NAPS)-netwerk'. Dit programma is een samenwerking van meer dan 800 federale, regionale en lokale netwerken.

Uit de presentatie volgt dat de TEOM met droger de $PM_{2,5}$ -concentratie onderschat met 31% gedurende de winterperiode. Een TEOM ingesteld op 40°C kent een onderschatting met 48%. In de zomerperiode is er geen sprake van de onderschatting. Bij de FDMS is een overschatting tussen de 7 en 14% vastgesteld.

De bètastofmonitor geeft bij een instelling met een relatieve vochtigheid op 35% een overeenkomstig resultaat met de referentie (Partisol). Ook komt zo ingestelde bètastofmonitor goed overeen met de FDMS.

De presentatie gaat voornamelijk in op de verschillen tussen seizoenen. Duidelijk blijkt dat er een effect is van seizoensinvloeden op de vergelijkbaarheid met de referentiemethode en de prestaties van de meetmethode.

De studie kenmerkt zich door vergelijkingen met een gerapporteerde R^2 groter dan 0,95 bij vergelijkingen tussen meerdere type monitoren ten opzichte van een referentiemethode. Dit is in tegenstelling tot studies waarbij bij verschillende meetprincipes de R^2 veelal afneemt als functie van de mate van systematische afwijking.

Californië, Fresno, 2003

In een meetcampagne in 2003 te Fresno (Californië) is onderzoek verricht naar de niet-vluchtige en semi-vluchtige bestanddelen van fijn stof, $PM_{2,5}$ [20].

Verschiedende automatische monitoren zijn in het onderzoek betrokken, onder meer de TEOM FDMS, Grimm 1100 en een bètastofmonitor (MetOne). De Grimm is in twee uitvoeringen getest: inclusief en exclusief inlaatverwarming. De monitoren zijn onderling met elkaar vergeleken. Het onderzoek betreft geen equivalentiestudie, maar er zijn ten behoeve van het onderzoek naar vluchtige bestanddelen diverse vergelijkingen tussen samplers betrokken. De verschillen tussen de samplers zijn toegeschreven aan de samenstelling van aerosol (meest relevant is het deel vluchtige stoffen) en de complexiteit van monsterneming en analyse.

In de studie is een goede vergelijkbaarheid tussen de FDMS en de FRM vastgesteld (relatie een-op-een). Voor de Grimm versus de FDMS is een kalibratiefactor van 1,25 vastgesteld en een asafsnode van circa $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tussen FDMS en de bètastofmonitor is een kalibratiefactor van 1,1 en een asafsnode van circa $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vastgesteld. Uit de studie volgt dat de inlaatverwarming bij Grimm leidt tot artefacten ten gevolge van vluchtige organische componenten. Exclusief inlaatverwarming leidt de Grimm mogelijk tot een overschatting van de massa doordat de hygroscopiciteit van de nitraathoudende deeltjes de diameter is vergroot.

Een opvallend resultaat van het onderzoek is de lage nitraatconcentratie die gevonden wordt bij hogere relatieve vochtigheden. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat door de hygroscopiciteit van nitraathoudende deeltjes de deeltjesgrootte niet door $PM_{2,5}$ -afscheider is afgevangen.

Canada, fijnstofmeetprogramma, 1999

Bij het beschrijven van de bevindingen en interpretaties van het monitoringnetwerk voor het kwantificeren van de fijne fractie van zwevende stofdeeltjes in Canada, is een vergelijkende studie uitgevoerd [21].

De meetreeks omvat veertien jaar van om de zesdaagse bemonstering van ondermeer PM_{2,5} over negentien locaties in Canada. De resultaten van deze meetreeks toont aan dat er verschillen zijn in de ruimtelijke verdeling in massa en samenstelling van aerosol, zowel breed verspreid over Canada als regionale en lokaal ruimtelijke variatie.

Uit de studie volgt dat er een verschil in seizoen is vastgesteld in de kalibratiefactor, waarbij een TEOM met een inlaattemperatuur bij 50°C is vergeleken met een gravimetrische bepaling (Dichotomous PM_{2,5}, HVS). Metingen in Toronto geven aan dat er in de koudere maanden de verschillen tussen de TEOM en de FRM in etmaalgemiddelde concentraties kunnen oplopen tot circa 50%, waarbij concentraties worden overschat door een TEOM met inlaatverwarming.

Conclusie ervaringen buiten Europa

Er is buiten Europa ruime ervaring opgedaan met PM_{2,5}-meetmethode.

Van de drie meetprincipes (optische, bètaverzwakking en oscillating microbalance) zijn er de meeste ervaringen met de TEOM, zowel netwerken waarbij FDMS is toegepast, als TEOM met inlaatverwarming of een droger. Geconcludeerd is dat een TEOM met inlaatverwarming niet de voorkeur heeft omdat in veel situaties er sprake lijkt te zijn van een afwijking waarvoor niet direct is te corrigeren. De FDMS kent een aantal goede testresultaten

Uit diverse studies blijkt dat er effecten zijn op de prestaties van de meetmethode door beïnvloeding van omgevingsfactoren. Er is in diverse publicaties aandacht voor seizoensinvloeden, er is aandacht voor artefacten door water en de samenstelling van aerosol. Het is aan te bevelen om na te gaan of het mogelijk is om het bereik van de automatische monitoren bij verschillende temperaturen, relatieve vochtigheden en van aerosol beter in kaart te brengen.

2.4 Recente ontwikkeling in routinematig monitoren

Er is bij het meten en modelleren van de verspreiding van fijn stof en bij het bepalen van heersende concentraties aandacht voor het optimaliseren van methoden en technieken. Het verbeteren van de prestaties van meetmethode maakt hiervan onderdeel uit. Verbeteringen van de prestaties hangen daarbij mede samen met wetenschappelijke inzichten.

Het benoemen en het verkrijgen van inzicht van artefacten is voor de ontwikkelingen een voorwaarde. Er is in de afgelopen jaren op meerdere terreinen sprake van optimalisatie, te denken valt aan de keuze van drogers in plaats van verwarming om artefacten bij condensatie te voorkomen. Bij de keuze voor een radioactieve bron bij bètastofmonitoren gaan fabrikanten over op C₁₄.

Deze paragraaf gaat beknopt in op een aantal ontwikkelingen en onderzoeken op het terrein van het monitoren van fijn stof.

Development and Evaluation of a Continuous Ambient PM_{2,5} Mass Monitor

In 211 gepaarde metingen is in een vergelijkende studie met de Harvard Impactor (HVS) de toename van de drukval over een membraan gemeten. Hierbij is vastgesteld dat de verhouding tussen de Continuous Ambient PM_{2,5} Mass Monitor (CAMM) en de Harvard Impactor $1,07 \pm 0,18$ is, met $R^2=0,90$ [22].

FAI-Instruments, Italy

In het monitoringsysteem van Italië is gedeeltelijk een meetmethode geïmplementeerd die gebruikmaakt van bèta-verzwakking, waarbij sprake is van wisseling van inlaat, zodat zowel de fracties PM₁₀ als PM_{2,5} kunnen worden vastgesteld. In hoeverre het wisselen van de inlaat invloed heeft op de resultaten is niet nader onderzocht. De toepassing is mede gericht op mogelijkheden om chemische analyses te kunnen verrichten en vraagt intensivering van arbeid.

University of California, 2006 [23]

Aerosol Time-of-Flight Mass Spectrometry Measurements (ATOFMS) geeft informatie over deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling. Uit de studie volgen de correlatiecoëfficiënten bij PM_{2,5} metingen. In de studie zijn de correlaties als genoemd in Tabel 2.3 opgenomen.

Tabel 2.3 Correlatiecoëfficiënten PM_{2,5}-metingen

	BAM	TEOM	Dust Trak	Nephelometer	Aethalometer	ATOF-Moudi scaled
BAM	1					
TEOM	0,86	1				
Dust Trak	0,93	0,59	1			
Nephelometer	0,75	0,60	0,70	1		
Aethalometer	0,79	0,94	0,53	0,58	1	
ATOF-Moudi scaled	0,79	0,64	0,78	0,81	0,62	1

Uit Tabel 2.3 volgt ondermeer een verschil in correlatie tussen de TEOM en de Dust Trak versus de BAM en de DustTrak.

3. Eisen aan de prestatiekenmerken van een meetmethode

3.1 Inleiding

Hoofdstuk 3 gaat in op de eisen die door de betrokken meetinstanties aan de prestaties van PM_{2,5}-meetmethoden worden gesteld. Hiervoor is aan de betrokken meetinstanties gevraagd om beknopt aan te geven wat de doelstellingen zijn van het ‘eigen’ monitoringssysteem en aan welke eisen een PM_{2,5}-meetmethode volgens hen moet voldoen. Paragraaf 3.2 vat de resultaten beknopt samen. In paragraaf 3.2 zijn de reacties van de betrokken meetinstanties weergegeven.

3.2 Inventarisatie van criteria

Welke eisen aan de prestatiekenmerken van de automatische meetmethoden worden gesteld, is afhankelijk van het doel van het monitoringssysteem. De gekozen meetstrategie en meetmethode zijn onder meer afhankelijk van de eisen die gesteld worden aan bijvoorbeeld tijdsresolutie, ruimtelijke dekking, mogelijkheden tot bronherkenning (karakterisering van samenstelling van de PM_{2,5}-fractie) en meetonzekerheid. Binnen de Nederlandse context kunnen de eisen die aan monitoringssystemen worden gesteld per meetinstantie verschillen. Er kunnen verschillende eisen gelden, bijvoorbeeld wat er onder representatieve monsterneming wordt verstaan.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de relevantie van prestatiekenmerken voor de verschillende meetinstanties. De relevantie ervan is afhankelijk van het doel van het monitoringnetwerk. Naast de prestatiekenmerken is de kosteneffectiviteit definitief bepalend voor de voorkeur voor een monitoringnetwerk. De kosteneffectiviteit is afhankelijk van de investeringskosten, exploitatiekosten en de kosten van de benodigde inzet van referentieapparatuur.

Tabel 3.1 Overzicht van een beoordelingsmatrix van de relevantie door de betrokken meetinstanties van een aantal relevante aspecten

omschrijving aspecten	kenmerkende prestatie	DCMR	GGD Amsterdam	Provincies ²	RIVM
Gezondheidskundige studies	uurwaarden	+	++	+	-
Herkenning van bronnen	responsietijd	++	0	+	-
Monitoring na calamiteiten	inzetbaarheid	++	-	+	--
Publieksvoorlichting	databeschikbaarheid	0	+	+	++
Wet- en regelgeving					
▪ equivalentie	precisie, nauwkeurigheid	+	++	+	+
▪ variabiliteit	robuustheid ³	+	++	++	++
Plantoetsing					
▪ validatie modellen	reproduceerbaarheid	+	+	-	++
▪ voorspellend vermogen	databeschikbaarheid, afmetingen	+	+	-	++

² Provincies Limburg en Noord-Brabant

³ Zie verklarende woordenlijst

Uit Tabel 3.1 volgt dat de relevantie van de aspecten per meetinstantie verschilt (er zijn verschillende doelstellingen waarop meetstrategie is gebaseerd). Van belang is zich te realiseren dat er per aspect meerdere kenmerkende prestaties zijn te benoemen. Tabel 3.1 bevat slechts een selectie van een aantal prestatiekenmerken.

3.3 Reacties van de betrokken meetinstanties

De betrokken meetinstanties hebben aangegeven welke eisen aan de prestatiekenmerken van een meetmethode worden gesteld, waarbij is aangegeven op welke (deel)aspecten van het monitoren de aandacht is gericht.

RIVM - Landelijk monitoringssysteem (LML)

Voor het RIVM zijn meerdere aspecten van het monitoringssysteem relevant. Hierbij spelen voor het RIVM de volgende factoren een rol:

- Uitvoering van EU-regelgeving;
- Modelvalidatie (plantoetsing);
- Publieksvoorlichting.

In het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) is voor het vaststellen van de $PM_{2,5}$ -concentratie van belang dat er sprake is van een landelijk dekkend beeld, waarbij jaargemiddelde en etmaalgemiddelde concentraties fijn stof worden vastgesteld (uitwerking van de eerste dochterrichtlijn). Het vaststellen van de absolute concentratieniveaus is nodig om aan geldende wet- en regelgeving te voldoen. De normering voor de fijne stoffractie van zwevende deeltjes is gebaseerd op de concentratie (massa) van een gedefinieerde fractie van zwevende deeltjes in de atmosfeer. Voor het landelijke monitoringssysteem is vergelijkbaarheid (equivalentie) met de Europees geldende standaard meetmethode (referentie) cruciaal. Verder geldt dat voor de prestatie van een meetmethode robuustheid van de kalibratiefactor bij wisselende omgevingscondities en het automatische/routinematige karakter voorop staan.

Het RIVM draagt in samenwerking met het Milieu en Natuurplanbureau (MNP) zorg voor het zogenaamde Generieke Concentratiebestand in Nederland (GCN). Het GCN vormt de basis voor de plantoetsingen binnen Nederland.

Geneeskundige en Gezondheidsdienst Amsterdam (GGD Amsterdam)

De GGD Amsterdam meet vanaf 1998 de fracties PM_{10} , $PM_{2,5}$ en PM_1 met de TEOM 50°C. Vanaf het begin van dit meetprogramma is bekend dat het fijn stof van vluchtige componenten niet of slechts gedeeltelijk worden gemeten. Voor epidemiologische studies is het van belang meetreeksen te automatiseren zonder tussentijds de meetmethode te wijzigen. Dit staat los van de plicht om aan wettelijke kaders te voldoen.

De keuze voor een landelijk generieke automatische meetmethode staat voor GGD Amsterdam voorop. In het geval dat de koppeling tussen huidige meetmethode en de best beschikbare meetmethode niet duidelijk is, zullen mogelijk twee meetmethoden in de toekomst parallel worden opgesteld. Voor een automatische $PM_{2,5}$ meetmethode stelt de GGD de volgende voorwaarden aan de prestaties:

- Een zo hoog mogelijke equivalentiescore ten opzichte van de referentiemethode conform de EU toetsmethode $\ll 95\%$ BI;
- Een kalibratiefactor zo goed mogelijk overeenkomend met 1;
- Een zo groot mogelijke robuustheid van die kalibratiefactor bij wisselende stofsamenstelling (stedelijk gebied, landbouw gebied en kuststreek).

Verder moet in een traject van aanbesteding rekening gehouden worden met:

- Bron/opdrachtgever (fabrikant of onderzoeksinstituut) van het onderzoek;
- Equivalentiescore maatgevend;
- Geografische locatie (vergelijkbaar met de Nederlandse situatie?);
- Verhouding met referentiemetingen met kwartsvezel filter QMA, Whatman;
- De kalibratiefactor.

DCMR Milieudienst Rijnmond

Voor de DCMR Milieudienst Rijnmond zijn meerdere aspecten van de prestatiekenmerken van meetmethode relevant, namelijk:

1. Bronherkenning;
2. Modelvalidatie;
3. Stofsamenstelling;
4. Publieksvoorlichting;
5. Plantoetsing,
6. Monitoren van het effect van maatregelen.

Ad 1. Bronherkenning

Goede responstijd om gebeurtenissen (ondermeer verkeersintensiteiten) en concentraties te kunnen koppelen en om een goede relatie tussen windrichting/windsnelheid en concentraties te kunnen leggen (met andere woorden: 1-uurs- en 24-uurs gemiddelde windrichtingen zijn lastig). Ook het simultaan meten van meerdere fracties is wat dit betreft een voordeel omdat het de mogelijkheid geeft verschillende broncategorieën van elkaar te onderscheiden. Dit speelt een rol in complexe brongebieden zoals de Rijnmond. In elk geval is het wenselijk verschillende fracties met vergelijkbare methoden te meten om een extra bron van onzekerheid in de karakterisering van de stofsamenstelling te vermijden. Ook voor blootstellingonderzoek dat in samenwerking met GGD Rotterdam af en toe wordt uitgevoerd geldt dat bronherkenning en daarmee een goede tijdsresolutie van belang is. In dat geval is het ook van belang dat het plaatsen van meetmethode geen additionele problemen oplevert (zo compact mogelijk, bij voorkeur geen radioactieve bronnen).

Ad 2. Modelvalidatie

Correcte (equivalente) concentraties zijn hierbij van belang. Bestuurlijk geharmoniseerde concentraties zijn hiervoor ongeschikt.

Ad 3. Stofsamenstelling

Hiervoor worden doorgaans aparte metingen met een HVS gedaan om te voorkomen dat het verzamelde materiaal te gering is voor analyse (detectiegrens).

Ad 4. Publieksvoorlichting via internet

Automatische methode met een korte tijdsresolutie zodat het publiek af en toe iets ziet veranderen en de link tussen gebeurtenissen (spitsuur, brand, vuurwerk) en concentraties kan maken.

Ad 5. Plantoetsing

Hoewel hiervoor vooral modellen gebruikt worden (ruimtelijke dekking) zijn metingen wat dit betreft noodzakelijk om een vinger aan de pols te houden. Correcte (equivalente) meetwaarden zijn dan van belang.

Ad 6. Effectmeting van maatregelen

Situatie voor en na een ingreep, zoals de 80 km-zone. Ook hiervoor geldt dat met een korte tijdsresolutie meer observaties mogelijk zijn en je dus in potentie (je verliest mogelijk ook weer wat door extra variatie) een grotere dataset krijgt. Bovendien is het mogelijk uren te selecteren waarop je het grootste verschil verwacht (bijvoorbeeld de spits bij verkeersmaatregelen) waardoor het contrast groter wordt.

Provincie Limburg

Ten behoeve van monitoring, vergunningverlening en handhaving hebben meetinstrumenten de voorkeur waarbij rekening wordt gehouden met directe inzetbaarheid, hogere tijdsresolutie en eventueel mogelijkheden om aanvullende chemische analyses te verrichten voor bronherkenning. Het Bureau Advies & Onderzoek van de provincie Limburg werkt samen met de faculteit Life Sciences van de Hogeschool Zuyd en de afdeling Medische Milieukunde van de Gemeentelijke Gezondheidskundige Diensten in Limburg. Hiermee kent het werkterrein van de provincie Limburg een breder toepassingsgebied dan monitoring, vergunningverlening en handhaving en richt zij zich mede op voor de GGD en de faculteit relevante projecten.

3.4 Toepassing en reikwijdte

De meetresultaten van het landelijke meetnet kennen een breed scala aan toepassingen. Hierbij kan worden gedacht aan de rapportageplicht in het kader van Europese en/of landelijke geldende wet- en regelgeving, toetsing aan milieukwaliteitseisen, epidemiologisch onderzoek, informeren van burgers, het opstellen van een GCN-kaart (Generieke concentratiebestand binnen Nederland), validatie van modellen en/of brontoewijzing.

Toelichtend kader 'Prestaties deeltjesscheiding'

Doel van de te selecteren automatische PM_{2,5}-meetmethode is om binnen de Nederlandse context de concentratie van zwevende deeltjes in de atmosfeer te bepalen bij gedefinieerde deeltjesgrootte. Hiervoor is bij vastgesteld debiet de inlaat zodanig ontworpen dat PM_{2,5}-deeltjes worden afgevangen. De prestaties van het afvangen van de gedefinieerde deeltjesgrootte is bepalend bij het vaststellen van het meetonzekerheidsbudget. Het meetinstrument bepaalt de massa van de bemonsterde fractie. De verschillen in meetprincipes zijn beknopt beschreven in Bijlage A. De prestaties van de meetprincipes om de massa vast te stellen verschillen qua afhankelijkheid (gevoeligheid) van beïnvloedingsfactoren.

In 2001 is in opdracht van het RIVM door KEMA onderzoek gedaan naar de meetonzekerheid in het Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit [24]. Geconcludeerd is dat bij PM₁₀-metingen de meetonzekerheid van de etmaalgemiddelde concentratie is berekend op 15,4%. De factoren die het meest van invloed zijn (voor zover vastgesteld) op de onzekerheid zijn de onzekerheid in de veldkalibratie en de reproduceerbaarheid van de referentiemetingen.

Toelichtend kader 'Vaststellen van de meetonzekerheid'

NEN7777 gaat in op meetkwaliteit, waaronder meetproces en meetprestatie. In een leidraad voor de bepaling en aanduiding voor de meetonzekerheid (NVN-ENV 13005 [25]) en in de praktijknorm Luchtkwaliteit (NPR-CR 14377 [26]) is de benadering van de onzekerheid bij de referentiemeetmethode en de buitenlucht beschreven. Het bepalen van het meetonzekerheidsbudget is beschreven in NEN 7779. Er worden in NEN 7779 meerdere benaderingen genoemd om tot het bepalen van de meetonzekerheid te komen. Hierin is aangegeven dat de meetonzekerheid mede wordt bepaald door de meetonzekerheid in de invloedsgrootheden.

Prestaties van de meetmethode bij veldmetingen (meetcampagnes), conform de praktijknorm (NPR-CR 14377) en de leidraad om de meetonzekerheid (NVN-ENV 13005) geven inzicht in de haalbaarheid van de te stellen eisen aan meetmethode.

4. Onzekerheden/beïnvloedingsfactoren PM_{2,5}

Dit hoofdstuk behandelt een aantal onzekerheden bij het vaststellen van de fijne stoffractie van zwevende deeltjes.

Verlies van (zeer) vluchtige organische componenten

Veelal is er bij automatische meetmethode een onderschatting van de PM_{2,5}-concentratie ten opzichte van de standaard meetmethode. De oorzaak van de onderschatting is (deels) toe te schrijven aan het verlies van vluchtige componenten, ten gevolge van het gebruik van een inlaatverwarming [27]. De inlaatverwarming heeft tot doel om problemen met luchtvochtigheid (vochtig filtermateriaal en condensatie) tegen te gaan. Mogelijkheden om gebruik te maken van andere wijze van drogen, bijvoorbeeld Naphion, kan het effect van verlies van vluchtige componenten tegen gaan. Het verschil in massa tussen droog aerosol (na passeren van een Naphion-droger) en de massa bij een relatieve vochtigheid van 50% (relatieve vochtigheid bij standaard meetmethode) is afhankelijk van samenstelling van het aerosol. Uit een vergelijkende studie naar automatische PM_{2,5}-samplers [28] volgt dat een correlatie is gevonden en een absolute *bias* tussen TEOM en Dusttrak data en nitraat, ammonium en sulfaat. Een relatieve bias is gevonden tussen Nephelometer en nitraat, ammonium en sulfaat.

Relatieve vochtigheid

In een studie [29] waar bij variëren van de relatieve vochtigheid de PM₁₀-concentratie is vastgesteld volgt dat er bij bètastofmonitoren een effect is van de relatieve vochtigheid op het PM₁₀-signaal. Uit een studie naar de het effect van de relatieve vochtigheid bij bètastofmonitoren volgt dat beneden 80% RH de uurwaarneming van twee bètastofmonitoren goed vergelijkbaar is (verschillen in uurwaarneming zijn kleiner dan 6,9%). Bij relatieve vochtigheid boven 80% is er een toename in het signaal als gevolg van het geassocieerde (aanhangend) water (ten gevolge van een lagere drukval over het filter) [30].

Adsorptie van water

Afhankelijk van de eigenschappen van zwevende deeltjes heeft de variatie in omgevingscondities invloed. Zo is bijvoorbeeld bij mist het monitoren van de concentratie van zwevende deeltjes minder betrouwbaar en is de aanwezigheid van water bij hygroscopisch aerosol een onzekere factor [31]. Een studie van het monitoringssysteem te Canada [21] toont dat de uitkomsten van een optische methode vergelijkbaar zijn met de FDMS, behalve bij hogere relatieve vochtigheden. De hypothese is dat bij hogere relatieve vochtigheden er een correctie nodig is, waarbij er sprake is van een lineaire relatie tussen de optische techniek en de FDMS.

Filtermateriaal

Gedurende een meetcampagne van tien maanden zijn diverse filtermaterialen vergeleken voor het vaststellen van de concentratie PM_{2,5} bij temperaturen tussen -10°C en 25°C. Er is geconcludeerd dat inert kwartsvezel en teflon filtermateriaal (zonder aanvullende maatregelen) niet geschikt zijn voor analyses van deeltjesgebonden ammoniumnitraat en chloride [32], [9]. Door effecten in het gebruik van filtermateriaal, zijn er artefacten mogelijk zoals het verlies van vluchtige organische componenten of een zekere mate van hygroscopiciteit. De keuzes om filtermateriaal te variëren bij verschillende meetmethoden zijn veelal beperkt. Het filtermateriaal is inherent aan de meetmethode.

5. Discussie

Drie meetprincipes zijn de revue gepasseerd voor het automatisch monitoren van de PM_{2,5}-concentratie in de buitenlucht. De standaardmethode is in tegenstelling tot drie meetprincipes een handmatige meetmethode gebaseerd op gravimetrie.

Uit de beschikbare literatuur over de vergelijkbaarheid van automatische meetmethoden met een gravimetrische meetmethode volgt dat bij het bepalen van de maat om de best beschikbare meetmethode te selecteren meerdere aspecten een rol spelen, zoals het toepassingsbereik van de meetmethode en het doel (te stellen eisen aan de meetmethode) van het monitoringsysteem. Met andere woorden: De best beschikbare meetmethode (BBM) is niet eenduidig op voorhand te bepalen, omdat de meetmethoden voor verschillende doeleinden, onder verschillende omstandigheden in monitoringsystemen kunnen worden toegepast.

Toelichtend kader best beschikbare meetmethode

De vergelijkbaarheid (de mate waarin de omvang, precisie en nauwkeurigheid van de systematische afwijking is vastgesteld) van de automatische met standaard meetmethode (referentie) is relevant bij het toetsen van heersende fijnstofconcentraties aan de geldende wet- en regelgeving. Bij het volgen van bijvoorbeeld incidentele en/of disautomatische emissies is de tijdsresolutie van belang. Wanneer er sprake is van een pulsachtig karakter van de emitterende bron of inzicht in de acute blootstelling, dan stelt dit mogelijk (nog) hogere eisen aan de tijdsresolutie van de te selecteren meetmethode. Verder is het veelal van belang rekening te houden met de kosteneffectiviteit (verhouding tussen de prestaties tegenover de benodigde middelen).

In de discussie over het vaststellen van prestaties spelen meerdere aspecten een rol. In diverse equivalentierapportages is dit terug te vinden door de differentiatie die plaats vindt naar onder meer plaats (samenstelling aerosol), tijd (seizoenen, warm versus koud) en omgevingsfactoren (bijvoorbeeld droog versus nat jaar). Er vindt door leveranciers of gebruikers veelal geen differentiatie plaats naar toepassingsbereik van de geselecteerde best beschikbare techniek (bijvoorbeeld naar bereik voor temperatuur, relatieve vochtigheid en of schatting van aandeel aanwezig vluchtig aerosol). Zo zijn er geen tabellenboeken beschikbaar waarin door gebruiker of leverancier is aangegeven onder welke heersende omstandigheden een eventueel benodigde correctie/kalibratie is vastgesteld, of waarbij geen kalibratiefactor binnen zekere criteria kan worden vastgesteld.

Uit de beschikbare literatuur volgt verder dat meerdere aspecten een rol spelen bij het beoordelen van de PM_{2,5}-stand der techniek van meetmethoden, waaronder:

- onzekerheden en leemtes in kennis bij het vaststellen van de verschillen tussen de automatische meetmethode en de in Europa geldende standaard;
- de afhankelijkheid van de prestaties van meetmethode van omgevingscondities, zoals temperatuur, relatieve vochtigheid, aanwezigheid van vluchtige componenten;
- de configuratie van de meetmethode (inlaatverwarming, gehanteerde filtermateriaal, al dan niet operationeel onder geconditioneerde omstandigheden et cetera);
- samenstelling en aard van het aerosol (zoals hygroscopiciteit) en het effect op de vastgestelde concentratie.

6. Aanbevelingen

Omdat de mate van systematische afwijking kan variëren (afhankelijk van beïnvloedingsfactoren), is het aan te bevelen om de (veranderingen in de) systematische afwijking, zowel omvang als spreiding, in de tijd te volgen.

Een aantal algemene aanbevelingen voor toepassing van automatische PM_{2,5}-meetmethoden in een monitoringssysteem is:

1. Verzamel langdurige meetreeksen binnen de Nederlandse context met vergelijkende standaard meetmethode om de systematische afwijking van de automatische monitor vast te stellen.
2. Implementeer een procedure binnen de meetinstanties, waarin eenduidig is vastgesteld op welke wijze vergelijkende metingen worden verricht met behulp van referentiemethode en hoe met de resultaten moet worden omgegaan.
3. Verricht nader onderzoek naar de factoren die de systematische afwijking, het onzekerheidsbudget veroorzaken en naar de prestaties van verschillende beschikbare meetmethoden onder veldomstandigheden (in vergelijking met opgave leverancier). Houd hierbij rekening met nieuwe en/of vernieuwde meetmethoden en de relatie tot de standaard meetmethode.

Literatuur

- [1] Richtlijn 96/62/EG van de Raad van 27 september 1996 inzake de beoordeling en het beheer van de lucht kwaliteit. Publicatieblad Nr. L 296 21/11 1996 blz. 0055 – 0063
- [2] Richtlijn 99/30/EG van de Raad van 22 april 1999 betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofdioxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht. Publicatieblad Nr. L 163 29/6 1999 blz. 0041 – 0060
- [3] Besluit luchtkwaliteit 2005. Ter vervanging van Besluit luchtkwaliteit 2001, houdende richtlijn nr. 96/62/EG van de Raad van de Europese Unie van 27 september 1996 inzake de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit (PbEG L 296). Staatsblad 2005, 398
- [4] Persbericht behorend bij ‘VROM-begroting 2007’ (<http://www.vrom.nl>)
- [5] NEN-EN 14907:2004 Ambient air quality - Reference gravimetric measurement method for the determination of the PM_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter
- [6] CEN/TC 264/WG 15 PM_{2,5}, 2006. Field test experiments to validate the CEN standard measurement method for PM_{2,5}. Institute for Environment and Sustainability 2006
- [7] Harrison, D., 2006. UK Equivalence Programme for Monitoring of Particulate Matter. Ref: BV/AQ/AD202209/DH/2396
- [8] Aujay, R., Fraboulet, I., Geffroy, S., Le Bihan, O., Marfaing, H., Mathé, et al., 2006. Utilisation du TEOM/FDMS pour la surveillance des PM. Ministère de l'écologie et du Développement Durable
- [9] ISSeP, 2006. Essai PM₁₀ interlaboratories à Aarschot du 1^{er} mai au 2 juillet 2006.
- [10] LAI, 2000. Bericht zum Erfahrungsaustausch über “Messungen von PM₁₀/PM_{2,5}”.
- [11] Lohmeyer, A., Bächlin, W., Frantz, H., Baumbach, G., Threurer, W., Heits, B., et al., 2003. Feinstaub und Schadgasbelastungen in der Göttinger Strasse, Hannover. Project 1847
- [12] Hauck, H., Berner, A., Gomiscek B., Stopper, S., Puxbaum, H., Kundi, M., et al., 2004. On the equivalence of gravimetric PM data with TEOM and beta-attenuation measurements. *Aerosol Science* 35: 1135-1149
- [13] Querol X., Alastuey, A., Rodriguez, S., Plana, F., Mantilla, E., Ruiz, C.R., 2001. Monitoring of PM₁₀ and PM_{2,5} around primary particulate anthropogenic emission sources. *Atmospheric Environment* 35: 845-858
- [14] CAFE, Working Group on Particulate Matter, April 2004. Final draft second position paper on Particulate Matter
- [15] Meulen, A. van der, Jonge de, D., 2006. compare: Field Inter-Comparison of Air Quality Measurements Between The Netherlands and North Rhine-Westphalia (Germany). Participants RIVM (NL), LUA NRW (DE)
- [16] Jonge, de D., Meulen, A. van der, Elshout, S. van den, Laan, J. van der, Kummu, P., Loon, J. van, Severijnen, M., 2005. Overzicht van onderzoek naar correctiefactoren voor automatische PM₁₀ metingen in Nederland. RIVM rapport 680500002
- [17] Beijk, R., Hoogerbrugge, R., Hafkenscheid T.L. (NMI), Arkel, F.Th. van, Stefess, G.C., Meulen, A. van der, et al., 2007

- [18] Ayers, G.P., Edwards, M., Gras, J.L., 2006. Fine Particle Measurement Calibration Study. Data Analysis. Report to Environment Australia. CSIRO Atmospheric Research
- [19] Dann, T., 2006. Continuous Particulate Matter (PM_{2,5}) Monitoring. Nescaum Monitoring and Assessment Committee Meeting. Newport. RI. USA. May 2006. http://www.nescaum.org/documents/mac/mac-committee-meeting-may06/continuouspm_tomdann.ppt/
- [20] Grover, B.D., 2006. Measurement of Both Nonvolatile and Semi-Volatile Fractions of Fine Particle Matter in Fresno, CA. *Aerosol Science and Technology* 40: 811-826
- [21] Brook, J.R. Dann, T.F., Bonvalot, Y., 1999. Observations and interpretations from the Canadian Fine Particle Monitoring Program. *J. Air & Waste Management Assoc.* 49: 35-44
- [22] Babich, P., Wang, P., Allen, G., Sioutas, C., Koutrakis, P., 2000. Development and Evaluation of a Continuous Ambient PM_{2,5} Mass Monitor. *Aerosol Science and Technology* 32:309-324
- [23] Qin, X., Bhave, P.V., Prather, K.A., 2006. Comparison of Two Methods for Obtaining Quantities Mass Concentrations from Aerosol Time-of-Flight Mass Spectrometry Measurements
- [24] KEMA, 2001. Meetonzekerheid Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit (in Dutch). Arnhem. Rapportnummer 50050870
- [25] NVN-ENV 13005. Leidraad voor de bepaling en aanduiding van de meetonzekerheid
- [26] NPR-CR 14377. Air Quality. Approach to uncertainty estimation for ambient air reference measurement methods
- [27] Brink, H.M. ten, 2000. Sampling of PM₁₀ at high relative humidity. ECN-C00-061.
- [28] Chung, A., Chang, D.P.Y., Kleeman, M.J., Perry, K.D., Cahill, T.A., Dutcher, D., et al., 2001. Comparison of Real-Time Instrument Used to Monitor Airborne Particulate Matter. *J. Air and Waste Manage. Assoc.* 51: 109-120.
- [29] Tsai, C.J., 2006. Direct field observations of the relative humidity effect on the beta-gauge readings. *J. Air and Waste Manage. Assoc.* 56: 834-840.
- [30] Chuen-Jinn T., Chang, C., 2006. Direct Field Observation of the Relative Humidity Effect on the Beta-gauge Readings. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 56: 834-840.
- [31] Yin, J., Allen, A.G., Harrison, R.M., Jennings, S.G., Wright, E., Fitzpatrick, M., et al., 2005. Major component composition of urban PM₁₀ and PM_{2,5} in Ireland. *Atmospheric Research* 78: 149-165
- [32] Keck, L., Wittmaack, K., 2005. Effect of filter type and temperature on volatilization losses from ammonium salts in aerosol matter. *Atmospheric Environment* 39: 4093-4100
- [33] Elzakker van, B.G., Meulen, A. van der, Hellemond, J. van, Regts, T.A., et al., 1992. De bètastofmethode. Vergelijking van een vijftal monitoren. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapportnummer 223105001

Verklarende Woordenlijst

Aethalometer	Meet elementaire koolstofdeeltjes, vooral in het gebied < 2,5 micrometer
ATMSF	Aerosol Time-of-Flight Mass Spectrometry Measurements, combinatie van deeltjesgroottebepaling en massaspectrometrische analyse
BAM	Bèta attenuation monitor, werkt op principe van verzwakking van bètastraling door massa op een filterband
CEN	Comité Européen de Normalisation
Detectielimiet	Aantoonbaarheidsgrens, laagste concentratie van de component in het monster waarvan de aanwezigheid nog net met een bepaalde betrouwbaarheid kan worden vastgesteld
Dust Trak	Portable stofmonitor, gebaseerd op verstrooiing van een laserstraal onder een hoek van 90 graden
FDMS	Filter Dynamic Measurement System, dat het meten van vluchtige en niet-vluchtige componenten mogelijk maakt
GCN kaart	Generieke concentratiekaart voor Nederland, geproduceerd door MNP, bedoeld voor het geven van een grootschalig beeld van de luchtkwaliteit in Nederland
Herhaalbaarheid	Mate van overeenstemming tussen de resultaten van opeenvolgende metingen van dezelfde meetgrootte, die onder dezelfde meetomstandigheden zijn verricht
Juistheid	Vermogen van een meetmethode om aanwijzingen zonder systematische afwijkingen weer te geven
Meetbereik	Reeks van waarden van meetgrootheden waarvoor de afwijking van een meetmethode binnen bepaalde grenzen behoort te liggen
Meetgrootte	Bepaalde grootte die onderwerp is van meting
Meetonzekerheid	In verband met het resultaat van een meting staande parameter die de spreiding van waarden, die redelijkerwijs aan de meetgrootte kunnen worden toegekend, karakteriseert
Nephelometer	Aerosolmeting door bepalen verstrooiingscoëfficiënten van stofdeeltjes in lichtstralen

PM ₁₀	Deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner of gelijk aan 10 micrometer
PM _{2,5}	Deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner of gelijk aan 2,5 micrometer
Reproduceerbaarheid	Mate van overeenstemming tussen de meetresultaten van dezelfde meetgrootte, verkregen onder wisselende meetomstandigheden
Robuustheid	Robuustheid kwantificeert de verandering van het meetresultaat door afwijkingen in uitvoering, omstandigheden en hoedanigheid van materiaal. Met andere woorden de mate van (on)gevoeligheid van het meetresultaat voor afwijkingen, zoals deze zich in de praktijk kunnen voordoen.
Selectiviteit	Afhankelijkheid van het meetresultaat van een andere grootte dan de meetgrootte
SES	Sample Equilibration System, gasmonster conditionering naar lagere temperatuur en vochtigheid, onder andere door inzet van een Nafion droger (inert materiaal)
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance, gravimetrische massabepaling door frequentieverandering van een oscillerende microbalans

Bijlage I Beknopt overzicht meetprincipes

Meetprincipes automatische meetmethode (PM_{2,5})

Het doel van de automatische meetmethode is het meten van de concentraties van de fijne stof fractie (PM_{2,5}). De deeltjesgrootte wordt bij de diverse te hanteren technieken bepaald bij de inlaat. De 'meetunit' is nodig om de massa per tijdseenheid te bepalen om de concentraties te berekenen. Om de toename van de massa in de tijd vast te stellen zijn er diverse meetprincipes beschikbaar. De handmatige gravimetrische bepaling geldt hierbij als uniforme meetmethode (gestandaardiseerd NEN-EN 14907).

De verschillende meetprincipes zijn:

1. Tapered Element of Oscillating Monitor (TEOM),
2. Bèststofmethode
3. Optische meetmethode (scattering van licht)

Ad 1 Tapered Element Oscillating Microbalance (TEOM)

In essentie betreft de TEOM een holle oscillator met een bijbehorende veerconstante (K_0) en massa. Wanneer er sprake is van additionele massa, dan zal de frequentie (f) van de oscillator afnemen. Het verschil in massa (m) is te beschrijven als:

Vergelijking (1)
$$dm = K_0 \left(\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right)$$

Ad 2 Bèststofmonitoren

De bèststofmethode is gebaseerd op verzwakking van de bèstraling door materie. De verzwakking wordt voornamelijk veroorzaakt door ionisatie en hangt samen met de elektronendichtheid [33].

Vergelijking (2)
$$\frac{I_1}{I_0} = e^{-\mu_m x}$$

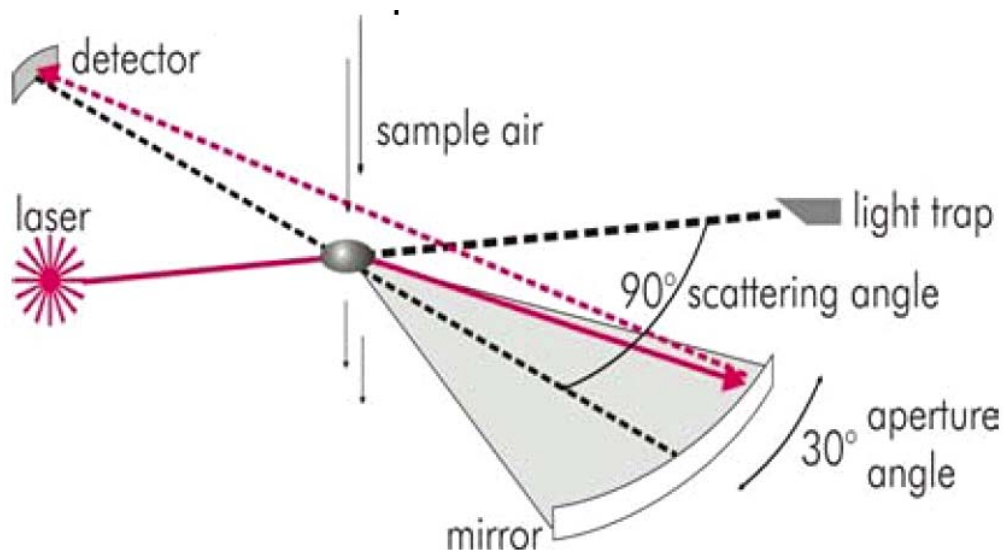
Waarin:

μ_m	absorptiecoëfficiënt (cm ² /g)
I_0	intensiteit van de bron
I_1	intensiteit na verzwakking
x	oppervlaktedichtheid (g/cm ²)

Ad 3 Optische methoden

In essentie is de optische meetmethode gebaseerd op 'scattering' van licht door deeltjes. De mate van scattering bepaalt de deeltjesgrootteverdeling. De optische methoden zijn dus niet gebaseerd op een massabepaling, maar op het vaststellen van deeltjesgrootte. Op basis van zogenaamde bronprofielen is de meetmethode toegepast bij emissieschatting van bronnen⁴.

Elk deeltje wordt in een constante luchtstroom door een lasermeetkamer geleid. De deeltjes verstrooien het laserlicht. Het 'scattersignaal' wordt onder een hoek van 90 graden gemeten door een fotodiode, onafhankelijk van de kleur van de deeltjes. De output kan worden weergegeven in aantal deeltjes per liter lucht en als massaconcentratie voor verschillende deeltjesgrootten uitgedrukt in de fracties PM₁₀, PM_{2,5} en PM₁. De doorgezogen lucht wordt over een filter geleid, zodat een lokale kalibratie of analyse achteraf kan plaatsvinden.



Figuur B1.1. Schematisch overzicht van het optische meetprincipe

⁴ CEN/TC WG17

Bijlage II Resultaten automatische PM_{2,5}-metingen binnen Nederland

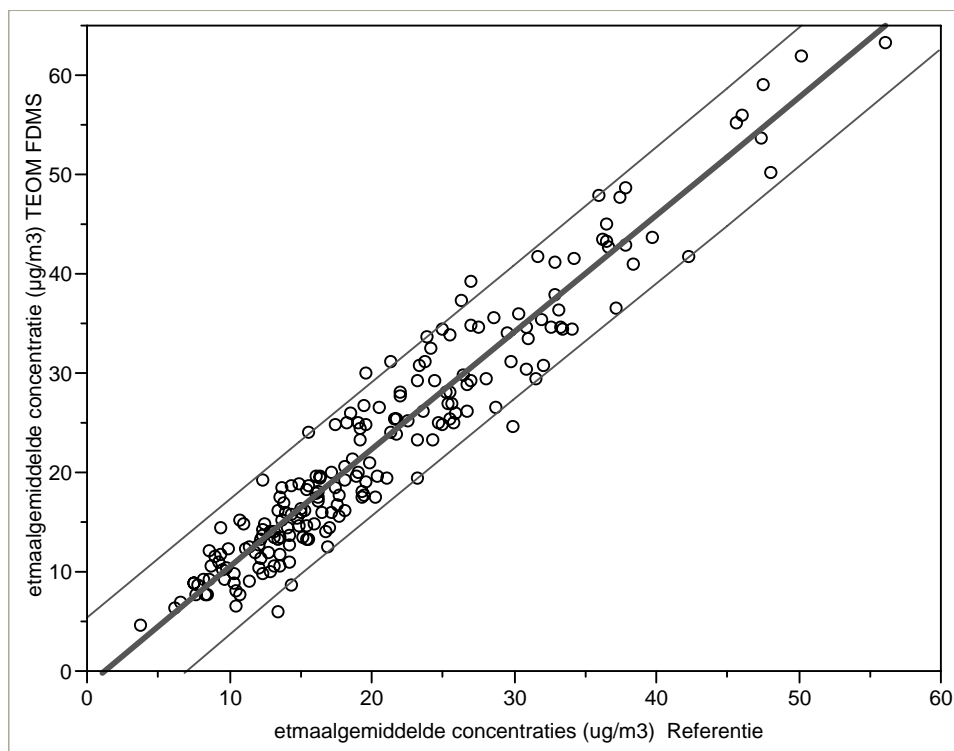
De beschikbare data van vergelijkende metingen tussen de automatische meetmethode en de in Europa geldende standaard zijn door de betrokken meetinstanties gerapporteerd. De gegevens zijn afkomstig van het RIVM en de GGD Amsterdam.

De resultaten zijn grafisch gepresenteerd, waarbij de verkregen statistische informatie aanvullend is gerapporteerd. Voor equivalentietestresultaten is gebruikgemaakt van de beschikbare equivalentietest (sjabloon) genoemd op het portal van de Europese Commissie, via de volgende link: <http://ec.europa.eu/environment/air/ambient.htm>. Er is hierbij gebruikgemaakt van de 'defaultwaarde', waarbij is aangenomen dat de regelgeving is gebaseerd op:

- de grenswaarde PM_{2,5} gebaseerd op een etmaalgemiddelde van 35 µg/m³;
- de spreiding onzekerheids criterium bedraagt 25%;
- onzekerheid tussen referentiemethode bedraagt 1,5 µg/m³.

Bij het verwerken van de resultaten van de TEOM met inlaatverwarming is gecorrigeerd voor de zogenaamde EPA-equivalentievergelijking. De meetinstanties hebben gevalideerde data aangeleverd.

Resultaten RIVM – TEOM FDMS - Straatstation



Figuur BII.1 Verhouding van $PM_{2,5}$ -meetresultaten van TEOM FDMS ten opzichte van standaard meetmethode (gravimetrische bepaling).

Periode/Plaats Meetcampagne A10 Zuid van januari 2005 tot december 2006

Tabel 2.1 Aanvullende statistische informatie bij lineaire regressie

Regressievergelijking				
TEOM FDMS = -1,31 + 1,18 * Referentie				
Samenvatting gegevens over regressie				
RSquare			0,92	
RSquare Adj			0,92	
Root Mean Square Error			3,41	
Mean of Response			22,96	
Observations (or Sum Wgts)			198	
Variantieanalyse				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	26857	26856,8	2308,75
Error	196	2280	11,6	Prob > F
C. Total	197	29137		<.0001
Parameterschatting				
Term		Estimate	Std Error	t Ratio
Intercept		-1,31	0,56	-2,3
etmaalgemiddelde concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		1,18	0,025	48,0
				Prob> t
				0,02
				<.0001

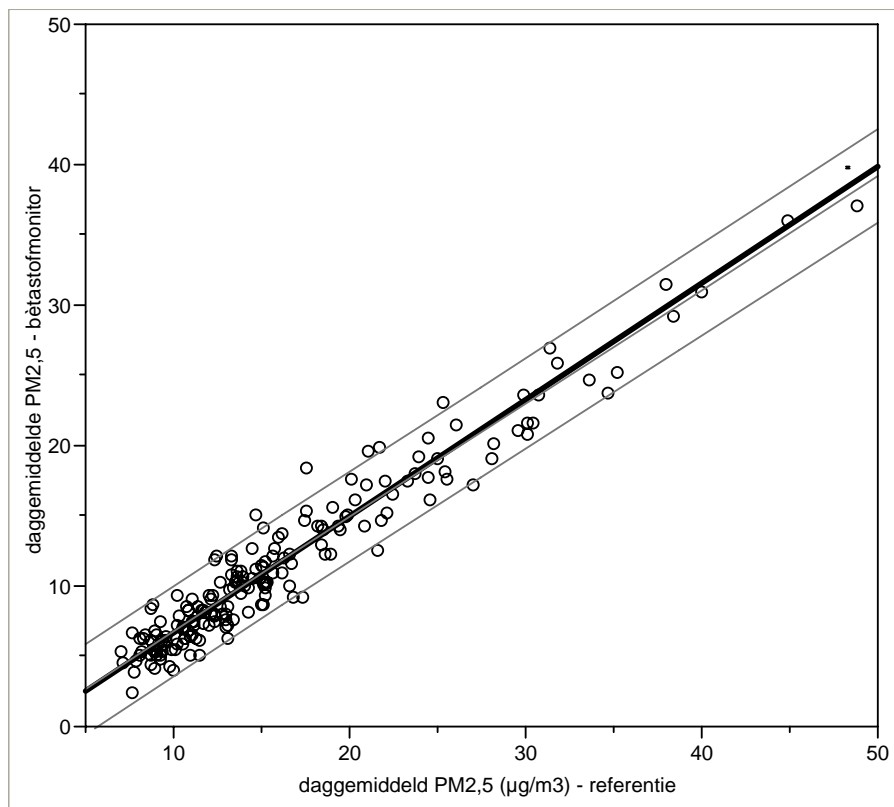
Tabel 2.2 Aanvullende statistische informatie bij orthogonale regressie

Variable		Mean	Std Dev	Variance Ratio	Correlation
Predicted etmaalgemiddelde concentratie		23,0	12,2	1	0,96
etmaalgemiddelde concentraties (ug/m ³)		20,6	9,9		
Intercept	Slope	LowerCL	UpperCL	Alpha	
2,05	0,81	0,77	0,84	0,05	
Variable		Mean	Std Dev	Variance Ratio	Correlation
Predicted etmaalgemiddelde concentratie		23,0	12,2	0,66	0,96
etmaalgemiddelde concentraties (ug/m ³)		20,6	9,9		
Intercept	Slope	LowerCL	UpperCL	Alpha	
1,89	0,81	0,78	0,85	0,05000	
Variable		Mean	Std Dev	Variance Ratio	Correlation
Predicted etmaalgemiddelde concentratie		23,0	12,2	0	0,96
etmaalgemiddelde concentraties (ug/m ³)		20,6	9,9		
Intercept	Slope				
1,11	0,85				

Tabel 2.3 Equivalentie testresultaten RIVM Straatstation – TEOM FDMS
Aantal etmaalgemiddelde concentraties (dataparen) is 198

UNCORRECTED DATA			INTERCEPT CORRECTION		
<i>REGRESSION OUTPUT</i>			<i>REGRESSION OUTPUT</i>		
<i>slope b</i>	1,24	significant	<i>slope b</i>	1,24	significant
<i>uncertainty of b</i>	0,02		<i>uncertainty of b</i>	0,02	
<i>intercept a</i>	2,54	significant	<i>intercept a</i>	0,00	not significant
<i>uncertainty of a</i>	0,56		<i>uncertainty of a</i>	0,56	
<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>			<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>		
random term	3,12	ug/m3	random term	3,17	ug/m3
bias at LV	5,88	ug/m3	bias at LV	8,42	ug/m3
combined uncertainty	6,66	ug/m3	combined uncertainty	8,99	ug/m3
relative uncertainty at the LV	19,0		relative uncertainty at the LV	25,70	fail
RM between-sampler uncertainty	2	fail	RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3
RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3	RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3
SLOPE CORRECTION			INTERCEPT AND SLOPE CORRECTION		
<i>REGRESSION OUTPUT</i>			<i>REGRESSION OUTPUT</i>		
<i>slope b</i>	0,99	not significant	<i>slope b</i>	0,99	not significant
<i>uncertainty of b</i>	0,02		<i>uncertainty of b</i>	0,02	
<i>intercept a</i>	-		<i>intercept a</i>	0,18	not significant
<i>uncertainty of a</i>	1,86	significant	<i>uncertainty of a</i>	0,45	
<i>uncertainty of a</i>	0,45		<i>uncertainty of a</i>	0,45	
<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>			<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>		
random term	2,49	ug/m3	random term	2,55	ug/m3
bias at LV	-		bias at LV	-0,13	ug/m3
combined uncertainty	2,17	ug/m3	combined uncertainty	2,56	ug/m3
relative uncertainty at the LV	3,30	ug/m3	relative uncertainty at the LV	7,30	pass
RM between-sampler uncertainty	9,44	pass	RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3
RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3	RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3

Resultaten RIVM, Amsterdam, bètastofmonitor, straatstation



Figuur BII.2 Verhouding van $PM_{2,5}$ -meetresultaten van BETAstofmonitor ten opzichte van standaard meetmethode (gravimetrische bepaling).

Periode/Plaats Meetcampagne Amsterdam Bernardplein-Zuid van februari 2005 t/m december 2006

Tabel 2.4 Aanvullende statistische informatie bij lineaire regressie

Regressievergelijking				
BETA = 0,81 * referentie – 1,27				
Samenvattende gegevens over de regressie				
RSquare				0,94
RSquare Adj				0,94
Root Mean Square Error				1,62
Mean of Response				11,77
Observations (or Sum Wgts)				187
Variantieanalyse				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	7832	7831,6	2998,832
Error	185	483	2,6	Prob > F
C. Total	186	8315		<.0001
Parameterschatting				
Term		Estimate	Std Error	t Ratio
Intercept		-1,27	0,27	-4,8
daggemiddeld $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - referentie		0,81	0,015	54,7
				<.0001

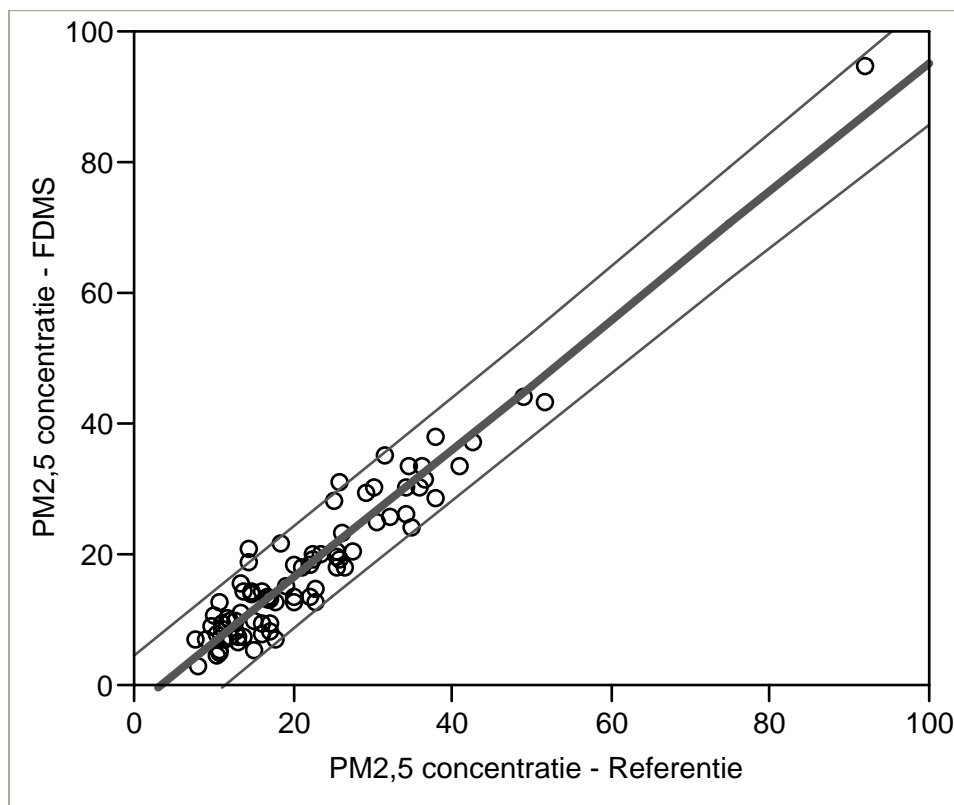
Tabel 2.5 Aanvullende statistische informatie bij orthogonale regressie

Variable	Mean	Std Dev	Variance Ratio	Correlation
daggemiddeld PM _{2,5} (µg/m3) - referentie	16,11	8,01	1	0,97
daggemiddelde PM _{2,5} - bètastofmonitor	11,77	6,69		
Intercept	Slope	LowerCL	UpperCL	Alpha
-1,59	0,83	0,80	0,86	0,05

Tabel 2.6 Equivalentie testresultaten RIVM Straatstation – BETAstofmonitor
Aantal etmaalgemiddelde concentraties (dataparen) is 187

UNCORRECTED DATA			INTERCEPT CORRECTION		
<i>REGRESSION OUTPUT</i>			<i>REGRESSION OUTPUT</i>		
<i>slope b</i>	0,83	significant	<i>slope b</i>	0,83	significant
<i>uncertainty of b</i>	0,01		<i>uncertainty of b</i>	0,01	
<i>intercept a</i>	-1,60	significant	<i>intercept a</i>	0,00	not significant
<i>uncertainty of a</i>	0,27		<i>uncertainty of a</i>	0,27	
<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>			<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>		
random term	0,64	ug/m3	random term	0,69	ug/m3
bias at LV	-7,56	ug/m3	bias at LV	-5,95	ug/m3
combined uncertainty	7,58	ug/m3	combined uncertainty	5,99	ug/m3
relative uncertainty at the LV	21,67	fail	relative uncertainty at the LV	17,12	fail
RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3	RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3
SLOPE CORRECTION			INTERCEPT AND SLOPE CORRECTION		
<i>REGRESSION OUTPUT</i>			<i>REGRESSION OUTPUT</i>		
<i>slope b</i>	1,01	not significant	<i>slope b</i>	1,01	not significant
<i>uncertainty of b</i>	0,02		<i>uncertainty of b</i>	0,02	
<i>intercept a</i>	-2,02	significant	<i>intercept a</i>	-0,09	not significant
<i>uncertainty of a</i>	0,32		<i>uncertainty of a</i>	0,32	
<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>			<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>		
random term	1,38	ug/m3	random term	1,41	ug/m3
bias at LV	-1,82	ug/m3	bias at LV	0,11	ug/m3
combined uncertainty	2,29	ug/m3	combined uncertainty	1,41	ug/m3
relative uncertainty at the LV	6,53	pass	relative uncertainty at the LV	4,03	pass
RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3	RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m3

Resultaten GGD Amsterdam TEOM FDMS Straatstation



Figuur BII.3 Verhouding van $PM_{2,5}$ meetresultaten van TEOM FDMS ten opzichte van standaard meetmethode (gravimetrische bepaling).

Periode/plaats: Meetcampagne A10-Zuid van januari 2005 t/m december 2006

Tabel 2.7 Aanvullende statistische informatie bij lineaire regressie

Regressievergelijking				
FDMS = 0,98 * referentie - 3,11				
Samenvatting gegevens over regressie				
RSquare			0,91	
RSquare Adj			0,91	
Root Mean Square Error			3,89	
Mean of Response			18,5	
Observations (or Sum Wgts)			81	
Variantieanalyse				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	12544,8	12544,8	830,2
Error	79	1193,6	15,1	Prob > F
C. Total	80	13738,5		<.0001
Parameterschatting				
Term		Estimate	Std Error	t Ratio
Intercept		-3,11	0,87	-3,60
r.c. Referentiemethode		0,98	0,03	28,81
				Prob> t
				<.0006
				<.0001

Tabel 2.8 Aanvullende statistische informatie bij orthogonale regressie

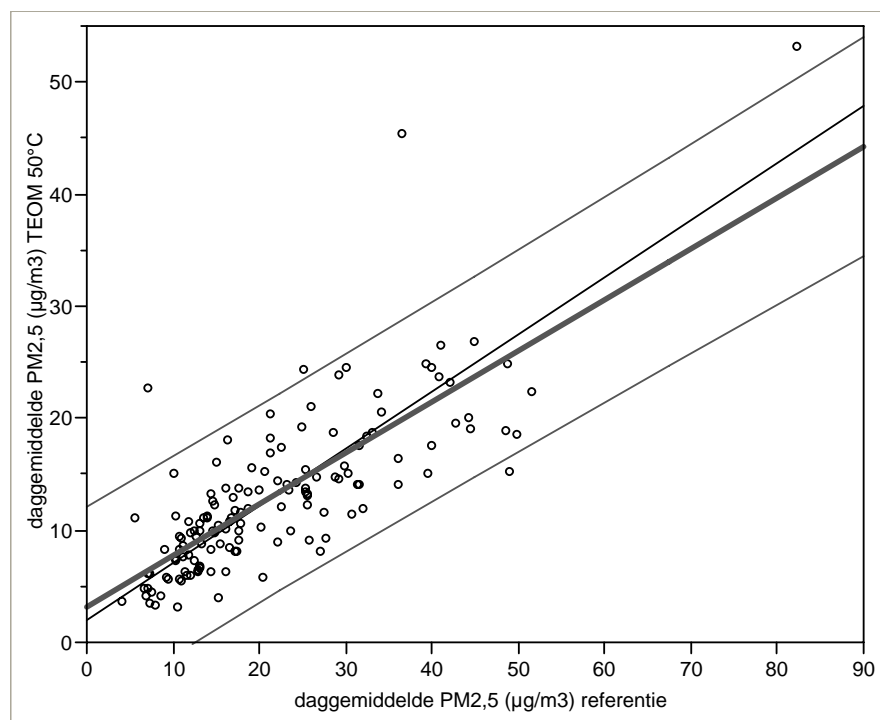
Variable				Mean	Std Dev	Variance Ratio	Correlation
daggemiddeld PM _{2,5} (µg/m ³) - referentie				21,97	12,72	1,06	0,96
daggemiddelde PM _{2,5} - bètastofmonitor				18,51	13,10		
Intercept	Slope	LowerCL	UpperCL	Alpha			
-4,11	1,03	0,96	1,10	0,05			

Tabel 2.9 Equivalentie testresultaten GGD Amsterdam Straatstation – FDMS

Aantal etmaalgemiddelde concentraties (dataparen) is 81

UNCORRECTED DATA			INTERCEPT CORRECTION		
<i>REGRESSION OUTPUT</i>			<i>REGRESSION OUTPUT</i>		
<i>slope b</i>	1,03	not significant	<i>slope b</i>	1,03	not significant
<i>uncertainty of b</i>	0,03		<i>uncertainty of b</i>	0,03	
<i>intercept a</i>	-4,15	significant	<i>intercept a</i>	0,00	not significant
<i>uncertainty of a</i>	0,87		<i>uncertainty of a</i>	0,87	
<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>			<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>		
random term	3,64	ug/m ³	random term	3,74	ug/m ³
bias at LV	-3,05	ug/m ³	bias at LV	1,10	ug/m ³
combined uncertainty	4,75	ug/m ³	combined uncertainty	3,90	ug/m ³
relative uncertainty at the LV	13,58	fail	relative uncertainty at the LV	11,14	pass
RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m ³	RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m ³
SLOPE CORRECTION			INTERCEPT AND SLOPE CORRECTION		
<i>REGRESSION OUTPUT</i>			<i>REGRESSION OUTPUT</i>		
<i>slope b</i>	1,00	not significant	<i>slope b</i>	1,00	not significant
<i>uncertainty of b</i>	0,03		<i>uncertainty of b</i>	0,03	
<i>intercept a</i>	-3,99	significant	<i>intercept a</i>	0,03	not significant
<i>uncertainty of a</i>	0,84		<i>uncertainty of a</i>	0,84	
<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>			<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>		
random term	3,71	ug/m ³	random term	3,81	ug/m ³
bias at LV	-4,04	ug/m ³	bias at LV	-0,02	ug/m ³
combined uncertainty	5,49	ug/m ³	combined uncertainty	3,81	ug/m ³
relative uncertainty at the LV	15,67	fail	relative uncertainty at the LV	10,87	pass
RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m ³	RM between-sampler uncertainty	1,50	ug/m ³

Resultaten GGD Amsterdam – TEOM 50°C – Straatstation



Figuur BII.4: Verhouding van $PM_{2,5}$ meetresultaten van TEOM met inlaatverwarming op 50°C ten opzichte van standaard meetmethode (gravimetrische bepaling).

Periode/Plaats Meetcampagne A10 Zuid van januari 2005 tot december 2006

Tabel 2.10 Aanvullende statistische informatie bij lineaire regressie

Samenvatting gegevens over regressie				
RSquare				0,61784
RSquare Adj				0,615091
Root Mean Square Error				4,455157
Mean of Response				13,10426
Observations (or Sum Wgts)				141
Variantieanalyse				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	4460,3865	4460,39	224,7224
Error	139	2758,9310	19,85	Prob > F
C. Total	140	7219,3174		<.0001
Parameterschatting				
Term		Estimate	Std Error	t Ratio
Intercept		3,2485567	0,756976	4,29
daggemiddelde $PM_{2,5}$ (µg/m3) referentie		0,4565672	0,030457	14,99
				Prob> t
				<.0001

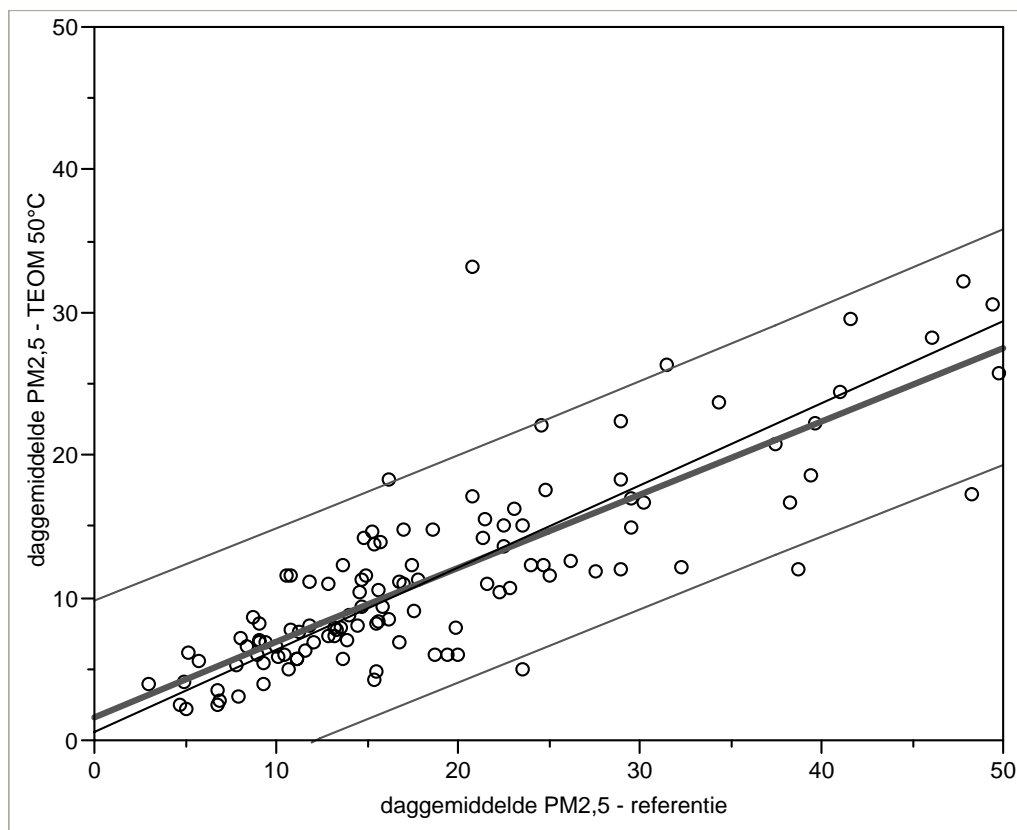
Tabel 2.11 Aanvullende statistische informatie bij orthogonale regressie

Variable	Mean	Std Dev	Variance Ratio	Correlation
daggemiddeld PM _{2,5} (µg/m ³) - referentie	21,59	12,36	1	0,79
daggemiddelde PM _{2,5} - bètastofmonitor	13,10	7,18		
Intercept	Slope	LowerCL	UpperCL	Alpha
2,07	0,51	0,44	0,58	0,05

Tabel 2.12 Equivalentie testresultaten GGD Amsterdam Straatstation – TEOM 50°C
Aantal etmaalgemiddelde concentraties (dataparen) is 38

UNCORRECTED DATA			INTERCEPT CORRECTION		
REGRESSION OUTPUT			REGRESSION OUTPUT		
<i>slope b</i>	0.51	significant	<i>slope b</i>	0.51	significant
<i>uncertainty of b</i>	0.03		<i>uncertainty of b</i>	0.03	
<i>intercept a</i>	2.09	significant	<i>intercept a</i>	0.00	not significant
<i>uncertainty of a</i>	0.76		<i>uncertainty of a</i>	0.76	
EQUIVALENCE TEST RESULTS			EQUIVALENCE TEST RESULTS		
random term	4.25	ug/m ³	random term	4.31	ug/m ³
bias at LV	-15.05	ug/m ³	bias at LV	-17.14	ug/m ³
combined uncertainty	15.64	ug/m ³	combined uncertainty	17.68	ug/m ³
relative uncertainty at the LV	44.69	fail	relative uncertainty at the LV	50.51	fail
RM between-sampler uncertainty	1.50	ug/m ³	RM between-sampler uncertainty	1.50	ug/m ³
SLOPE CORRECTION			INTERCEPT AND SLOPE CORRECTION		
REGRESSION OUTPUT			REGRESSION OUTPUT		
<i>slope b</i>	1.18	significant	<i>slope b</i>	1.18	significant
<i>uncertainty of b</i>	0.06		<i>uncertainty of b</i>	0.06	
<i>intercept a</i>	0.22	not significant	<i>intercept a</i>	-3.88	significant
<i>uncertainty of a</i>	1.48		<i>uncertainty of a</i>	1.48	
EQUIVALENCE TEST RESULTS			EQUIVALENCE TEST RESULTS		
random term	9.36	ug/m ³	random term	9.39	ug/m ³
bias at LV	6.51	ug/m ³	bias at LV	2.41	ug/m ³
combined uncertainty	11.40	ug/m ³	combined uncertainty	9.69	ug/m ³
relative uncertainty at the LV	32.56	fail	relative uncertainty at the LV	27.69	fail
RM between-sampler uncertainty	1.50	ug/m ³	RM between-sampler uncertainty	1.50	ug/m ³

Resultaten GGD Amsterdam – TEOM 50°C - Stadsachtergrond



Figuur BII.5 Verhouding van $PM_{2,5}$ meetresultaten van TEOM 50°C ten opzichte van standaard meetmethode (gravimetrische bepaling).

Periode/Plaats Meetcampagne Overtoom van mei 2005 tot december 2006

Tabel 2.13 Aanvullende statistische informatie bij lineaire regressie

Lineaire regressie				
TEOM 50°C = 0,52 * referentie +1,75				
Samenvatting gegevens over regressie				
RSquare		0,66		
RSquare Adj		0,66		
Root Mean Square Error		4,0		
Mean of Response		11,4		
Observations (or Sum Wgts)		115		
Variantieanalyse				
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	1	3568	3567	222,9
Error	113	1809	16,01	Prob > F
C. Total	114	5376		<.0001
Parameterschatting				
Term		Estimate	Std Error	t Ratio
Intercept		1,75	0,75	2,34
daggemiddelde $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) referentie		0,46	0,03	14,99
				Prob> t
				<.0001

Tabel 2.14 Aanvullende statistische informatie bij orthogonale regressie

Variable	Mean	Std Dev	Variance Ratio	Correlation
daggemiddelde PM _{2,5} - referentie	18,77	10,83	1	0,8146
daggemiddelde PM _{2,5} - TEOM 50°C	11,45	6,87		
Intercept	Slope	LowerCL	UpperCL	Alpha
0,63	0,58	0,50	0,67	0,05

Tabel 2.15 Equivalentie testresultaten GGD Amsterdam - TEOM 50°C - stadsachtergrond
Aantal etmaalgemiddelde concentraties (dataparen) is 115

UNCORRECTED DATA			INTERCEPT CORRECTION		
<i>REGRESSION OUTPUT</i>			<i>REGRESSION OUTPUT</i>		
<i>slope b</i>	0.58	significant	<i>slope b</i>	0.58	significant
<i>uncertainty of b</i>	0.03		<i>uncertainty of b</i>	0.03	
<i>intercept a</i>	0.62	not significant	<i>intercept a</i>	0.00	not significant
<i>uncertainty of a</i>	0.75		<i>uncertainty of a</i>	0.75	
<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>			<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>		
random term	3.76	ug/m3	random term	3.83	ug/m3
bias at LV	-		bias at LV	-14.80	ug/m3
combined uncertainty	14.18	ug/m3	combined uncertainty	15.29	ug/m3
relative uncertainty at the LV	14.67	ug/m3	relative uncertainty at the LV	43.69	fail
RM between-sampler uncertainty	41.92	fail	RM between-sampler uncertainty	1.50	ug/m3
	1.50	ug/m3			
SLOPE CORRECTION			INTERCEPT AND SLOPE CORRECTION		
<i>REGRESSION OUTPUT</i>			<i>REGRESSION OUTPUT</i>		
<i>slope b</i>	1.12	significant	<i>slope b</i>	1.12	significant
<i>uncertainty of b</i>	0.06		<i>uncertainty of b</i>	0.06	
<i>intercept a</i>	-1.23	not significant	<i>intercept a</i>	-2.31	not significant
<i>uncertainty of a</i>	1.30		<i>uncertainty of a</i>	1.30	
<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>			<i>EQUIVALENCE TEST RESULTS</i>		
random term	7.30	ug/m3	random term	7.33	ug/m3
bias at LV	3.08	ug/m3	bias at LV	2.00	ug/m3
combined uncertainty	7.92	ug/m3	combined uncertainty	7.60	ug/m3
relative uncertainty at the LV	22.62	fail	relative uncertainty at the LV	21.72	fail
RM between-sampler uncertainty	1.50	ug/m3	RM between-sampler uncertainty	1.50	ug/m3