

RIVM Rapport 650010023/2002

Vergelijkende PM₁₀-metingen in Nederland.
deel A: Laboratoriumexperimenten

F.Th. van Arkel, E.M. van Putten, H.J.Th.
Bloemen, A. van der Meulen



Abstract

Automatic FAG 62I-N β -dust monitors have been used in the National Air Quality Monitoring Network to measure PM_{10} (particles smaller than 10 μm aerodynamic diameter) in the Netherlands. In comparing the β -method with the European reference method (EN12341) for PM_{10} , this automatic β -method was found to underestimate the PM_{10} levels observed using the reference method by about 25%. Laboratory research was then carried out to explore the causes. These laboratory experiments focussed on the influence of moisture on the response of the monitor, and on the influence of the inlet heating on both the volatile ammonium nitrate aerosol and the less volatile ammonium sulphate aerosol.

Humidity will only slightly increase the concentrations measured by the β -dust monitor. At very high humidities (RH over 80%), positive offsetting (overestimation) of the dust concentration of up to about 3-4 $\mu g/m^3$ was observed when compared to the reference method. Thus humidity can not explain the aforementioned difference of 25% at commonly encountered PM_{10} levels.

The inlet heating of the β -dust monitor definitively does evaporate volatile ammonium nitrate aerosol. At the maximum set temperature (80°C) of the inlet heating element of the FAG 62I-N β -dust monitor, ammonium nitrate will be completely evaporated, and so no ammonium nitrate is measured. At the standard setting of 50°C the ammonium nitrate will partly evaporate, i.e. only part of the ammonium nitrate is measured.

In contrast, the TEOM (Tapered Element Oscillation Microbalance) evaporates all the ammonium nitrate. The heating efficiencies of the monitors are clearly different. For this reason they can not be compared when volatile aerosol is present. The less volatile ammonium sulphate aerosol does not experience any influence of inlet heating, so the methods of measurement are comparable in this case.

Inhoud

Samenvatting 4

1 Inleiding 5

2 Laboratorium experimenten 6

2.1 Invloed van relatieve vochtigheid op de respons 6

2.2 Invloed van verwarming op ammoniumaërosol 9

2.2.1 Ammoniumsulfaat 10

2.2.2 Ammoniumnitraat 11

3 Conclusies 14

Literatuur 15

Bijlage 1 Schematische weergave en foto van de β -stofmonitor 16

Bijlage 2 Verzendlijst 17

Samenvatting

In diverse veldonderzoeken zijn de automatische FAG 62I-N β -stofmonitoren voor PM_{10} in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit LML vergeleken met de referentiemethode voor PM_{10} volgens de Europese standaard EN12341. Er werd een onderschatting geconstateerd door de β -stofmeetmethode van circa 25 %. Sindsdien zijn alle meetwaarden vermenigvuldigd met een factor 1,33. Dit onderzoek beoogt, middels laboratoriumonderzoek, antwoord te geven op de vraag waardoor deze onderschatting wordt veroorzaakt.

De aandacht is hierbij gericht op de invloed van vocht op de respons van de monitor, en op de invloed van de inlaatverwarming van de monitor op vluchtig aërosol, met name ammoniumnitraat en het minder vluchtige ammoniumsulfaat.

Door vocht zal de stofbelading van de β -stofmonitoren slechts gering toenemen. Zeer hoge vochtigheden kunnen leiden tot een overschatting van ongeveer 3-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ten opzichte van de referentieapparatuur. Vocht kan dus bepaald geen verklaring vormen voor voornoemde onderschatting van 25%.

De inlaatverwarming van de β -stofmonitoren is duidelijk in staat ammoniumnitraat te verdampen. Bij de maximale instelling van 80°C zal ammoniumnitraat zelfs volledig verdampt worden, en dus ook niet meegemeten worden. Bij de standaardinstelling (50°C) zal de β -stofmonitor het ammoniumnitraat slechts gedeeltelijk verdampen. Dientengevolge wordt het ammoniumnitraat slechts gedeeltelijk meegemeten, met als gevolg onderschatting van de werkelijke PM_{10} -concentraties.

Bij de (ook veelgebruikte) TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) meetmethode blijkt ammoniumnitraat in onze laboratoriumexperimenten wel volledig te verdampen. De effectiviteit van de verwarming van de monitoren is duidelijk verschillend en de monitoren (β -stof vs. TEOM) zijn hierdoor niet vergelijkbaar als er vluchtig aërosol aanwezig is.

De inlaatverwarming heeft geen invloed op het minder vluchtige ammoniumsulfaat. De meetmethoden zijn hier dan ook wel vergelijkbaar.

1 Inleiding

In Nederland wordt vanaf 1992 in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit LML op geautomatiseerde wijze en on-line de fijnstofconcentratie PM_{10} gemeten. Er wordt gebruik gemaakt van automatische FAG 62I-N β -stofmonitoren. Er is geconstateerd dat deze meettechniek niet overeenkomt met de referentiemethodiek volgens Europese standaard EN12341. Onduidelijk is hoe de gevonden onderschatting door β -stofmonitoren van circa 25% kan worden verklaard.

Verder is het onduidelijk of de verschillende PM_{10} -meetmethoden wel vergelijkbaar zijn. In Europa zijn zowel de β -stofmonitor als de TEOM 'Tapered Element Oscillating Microbalance' in gebruik om fijnstofconcentraties te meten.

Voorgaand onderzoek heeft aangetoond dat het verschil in meetmethode tussen radiometrie (β -stof) en gravimetrie (EN12341 referentie methode) de gevonden onderschatting niet kan verklaren (Buro Blauw/RIVM, 1996).

Het doel van dit onderzoek is om met behulp van laboratoriumexperimenten aan te geven welke factoren al dan niet tot een onderschatting van de fijnstofconcentratie bij de β -stofmeetmethode kunnen leiden. Met name is aandacht besteed aan de mogelijke invloed van vocht op de respons van de monitor (zonder dat er deeltjes aanwezig zijn), en aan de mogelijke invloed van de inlaatverwarming op verliezen van vluchtig ammoniumaërosol. In de laboratoriumexperimenten is gebruik gemaakt van (vluchtig) ammoniumnitraat aërosol en (minder vluchtig) ammoniumsulfaat aërosol. Immers, het ammoniumaërosol zal in Nederland naar verwachting in hogere concentraties aanwezig zijn dan in andere landen, omdat de ammoniak emissie in Nederland hoog is. Onderzoek naar de invloed van factoren op de aanwezigheid van het ammoniumaërosol is hierom van belang.

Met betrekking tot de invloed van de inlaatverwarming op het meten van ammoniumaërosol wordt de β -stofmethode ook vergeleken met voornoemde TEOM meetmethode.

In een volgende rapportage zullen de resultaten van een veldstudie worden toegelicht. Daarin zijn factoren zoals temperatuur, relatieve vochtigheid (RH), invloed van de inlaatverwarming, instelling en kalibratie van monitoren betrokken.

2 Laboratorium experimenten

2.1 Invloed van relatieve vochtigheid op de respons

In het selectieonderzoek om tot de keuze van een monitor in LML te komen is de invloed van de relatieve vochtigheid (RH) op de respons van de monitoren bepaald (Van Elzakker et al, 1992). Slechts voor één van de vijf type β -stofmonitoren die bij dit selectie onderzoek waren betrokken, is een significante gevoeligheid voor vocht vastgesteld. Voor de definitieve monitor (FAG 62I-N) is geen vochtgevoeligheid vastgesteld. Deze monitor is uitgerust met een inlaatverwarming om invloed van vocht te voorkomen.

Vochtigheid kan de fijnstofconcentratie mogelijk op verschillende manieren beïnvloeden.

- Vocht kan invloed hebben op de deeltjesgrootte. Door opname van vocht door hygroscopische componenten (met name ammoniumnitraat) kan het aërosol in grote aangroei tot afmetingen groter dan het vereiste aanzuigbereik van PM_{10} (deeltjes kleiner dan $10\ \mu m$), en daarmee dus niet aangezogen worden. Na droging van de wel aangezogen 'natte' PM_{10} -fractie zou dit per saldo een verlies aan massa op het aanzuigfilter van de monitor inhouden, en daarmee een onderschatting van de werkelijke concentratie. In deze rapportage wordt hierop niet verder ingegaan.
- Het is wellicht mogelijk dat het filtermateriaal vocht opneemt en dit als stof meet.

Er wordt in het genoemde selectieonderzoek verondersteld dat variatie van de relatieve vochtigheid geen invloed zal hebben op de respons van de monitor. Dit onderzoek wil nagaan of deze veronderstelling gerechtvaardigd is, en zal, indien noodzakelijk, de eventuele invloed van vocht proberen te kwantificeren. Daartoe wordt de respons van de monitoren gevolgd bij aanvoer van droge stofvrije nullucht (perslucht), en idem bij hoge luchtvochtigheid (circa 90% RH).

Materiaal en methode

In het LML staan β -stofmonitoren die continu en on-line PM_{10} in de buitenlucht meten. De β -stofmonitoren kennen een meetprincipe, waarbij de verzwakking van β -straling een maat is voor de stofbelading op een filter. Uit de stofbelading wordt de concentratie berekend. In bijlage 1 staat een schematische weergave van een β -stofmonitor.

De gebruikte meetapparatuur bestaat uit:

- Drie β -stofmonitoren, FAG, type FH 62 I-N.
- De monitoren worden aangegeven met de codering SD18, SD22 en SD24.
- Een TEOM uit de serie 1400a, Rupprecht & Patashnik.
- Relatieve vochtigheidsmeter en temperatuurmeter, Vaisala HMI33, TM01.

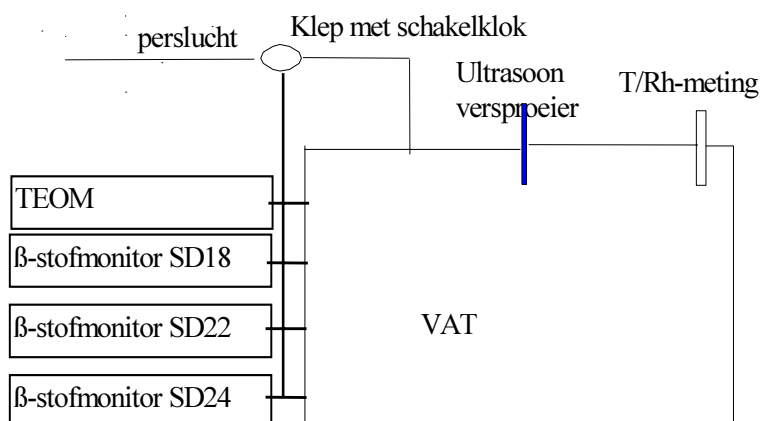
- Recorder, RE20.
- Minipuls, PO22 – slangenpomp.
- Oszilator, SD07 - ultrasoon versproeier voor vochttoevoer.
- Thermometer, Testo901 (oppervlak).
- TSI atomiser 3075.

Voor de werkwijze van de apparatuur wordt verwezen naar de handleiding van de betreffende methode.

De gebruikte opstelling staat schematisch weergegeven in figuur 1.

In het laboratorium wordt door een testvat (volume circa 1 m³) gefilterde perslucht (i.e. schone stofvrije nullucht) geblazen. M.b.v. de Oszilator SD07 wordt de relatieve vochtigheid in het testvat op ongeveer 90% gehouden. Relatieve vochtigheid en temperatuur worden continu gemeten.

Een schakelklok zorgt dat een klep open of dicht staat, waardoor de monitoren of droge lucht via de persleiding krijgen of vochtige lucht via het vat.



Figuur 1 Opstelling

Het debiet van de monitoren is standaard ingesteld op 1 m³/uur, afgeleid van de temperatuur in de meetkamer van de β-stofmonitor.

De experimenten werden uitgevoerd bij uitgeschakelde (i.e. géén) inlaatverwarming, en idem bij ingeschakelde inlaatverwarming van 50°C.

De eveneens in figuur 1 aangegeven TEOM is niet in dit onderdeel ingezet, maar wel in het volgend onderzoek naar ammoniumaërosol.

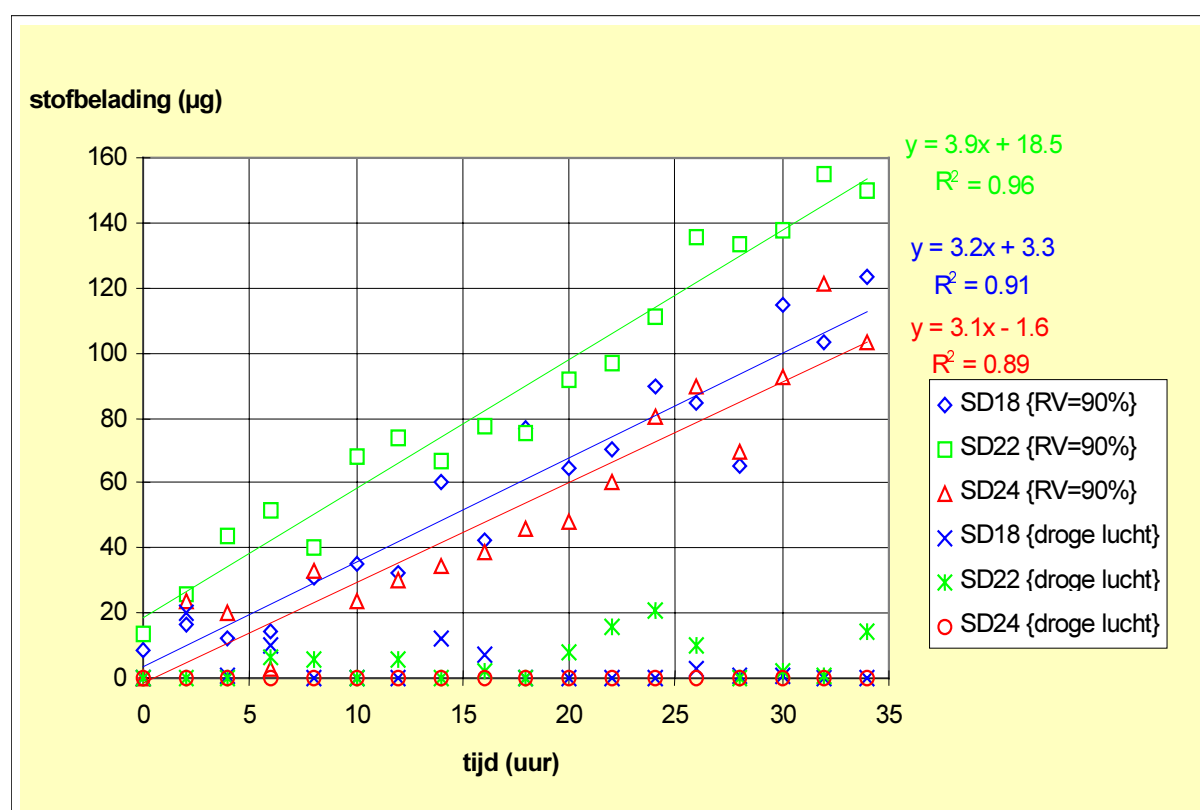
De cumulatieve stofbelading van de verschillende β-stofmonitoren in de tijd wordt gevolgd bij zowel de aanvoer van droge lucht als de aanvoer van relatief vochtige lucht (relatieve vochtigheid boven 80%).

Resultaten

Na het schakelen van droge naar vochtige lucht vindt er een directe toename van het signaal plaats. Bij een sprong van vochtig naar droog vindt er evenzeer een directe daling plaats van dezelfde orde van grootte. In de buitenlucht zullen dit soort abrupte sprongen in vocht echter niet voorkomen.

Bij de drie β -stofmonitoren (SD18, SD22, SD24) is de cumulatieve stofbelading in de tijd gevolgd, en omgerekend naar twee-uurgemiddelde concentratiewaarden.

In figuur 2 staan de resultaten weergegeven. De lineaire regressielijn geeft aan hoe de bijdrage van vocht voor de verschillende monitoren is te kwantificeren.



Figuur 2 Invloed van vocht op de respons van de β -stofmonitor zonder inlaatverwarming

Uit de figuur blijkt dat er sprake is van een toename van 3-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ten gevolge van zeer vochtige lucht (boven 80% RH). De blijkbaar niet geheel gelijke gevoeligheid van de monitoren en de ruis van de monitoren maken een preciezere kwantificering moeilijk.

De experimenten met inlaatverwarming (50°C) laten een soortgelijk beeld zien. De toename door vocht valt zelfs iets hoger uit dan bij afwezigheid van inlaatverwarming: zie Tabel 1. Omdat deze experimenten uitgevoerd zijn met 12 uur vochtige lucht en dan 12 uur droge lucht is de bepaling van de toename minder nauwkeurig.

Tabel 1 Gemiddelde PM_{10} -concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) bij vochtigheden boven 80%

Monitor	zonder verwarming	met verwarming 50°C
	toename ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	toename ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SD18	3,1	4,5
SD22	4,3	5,0
SD24	2,8	4,9

De monitor SD22 is blijkens dit onderzoek wellicht iets gevoeliger voor vocht dan de andere monitoren.

2.2 Invloed van verwarming op ammoniumaërosol

De β -stofmonitoren die worden toegepast in LML, zijn uitgerust met een verwarmingsmantel van ca. 30 cm lengte. Het is van belang te realiseren dat de referentiemethode geen gebruik maakt van een inlaatverwarming. De aanzuigleiding van de β -stofmonitoren wordt primair verwarmd om condensatie te voorkomen. Deze verwarmingsmantel van de LML β -stofmonitoren is standaard ingesteld op 50°C. De TEOM (Tapered Element Oscillating Monitor) heeft een verwarmingsmantel van circa 50 cm lengte. Bij dit meetapparaat wordt ook het meetcompartiment zelf op 50°C gehouden, in tegenstelling tot de β -stofmeetmethode. De TEOM wordt ook veelvuldig gebruikt bij meting van fijnstofconcentraties, maar is niet in het LML geïmplementeerd.

Het is mogelijk dat door verwarming bepaalde componenten vervluchtigen. Als er inderdaad sprake is van vervluchtiging van zulke componenten kan dit wellicht (deels) de gevonden onderschatting van de β -stofmonitoren ten opzichte van de referentieapparatuur verklaren. Dit laboratoriumexperiment is erop gericht na te gaan welke invloed een inlaatverwarming kan hebben op de meting van de fijnstofconcentratie.

De samenstelling en kwantiteit van fijn stof in de buitenlucht zullen variëren. Secundair aërosol (ammonium, nitraat, sulfaat) levert hierbij een wezenlijk aandeel (meerdere tientallen procenten). Met name ammoniumaërosol zal in Nederland in ammoniakrijke omgevingen aanwezig zijn: de vluchtige componenten ammoniumnitraat en ammoniumchloride, en het minder vluchtige ammoniumsulfaat.

In dit laboratoriumexperiment wordt aandacht besteed aan de vraag of het mogelijk is door verwarming van de aanzuigleiding van de β -stofmonitor het ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat te verdampen, voordat dit aërosol het filter bereikt. Eveneens wordt nagegaan of het mogelijk is dat eventueel aanwezig aërosol op het filter in het meetcompartiment vanaf het filter kan verdampen.

Materiaal en Methode

Er is gebruik gemaakt van de meetopstelling, zoals weergegeven in het vorige hoofdstuk (zie figuur 1). De TEOM is als meetapparaat toegevoegd ten opzichte van de vochtexperimenten. Eén van de β -stofmonitoren (SD22) is niet meer in de rapportage weergegeven, omdat de gevoeligheid lijkt af te wijken van de andere monitoren.

Het debiet bij de monstername-inlaat van de TEOM bedraagt $1 \text{ m}^3/\text{uur}$; het daadwerkelijke debiet over het filter is $0,18 \text{ m}^3/\text{uur}$. De β -stofmonitoren hebben een debiet van $1 \text{ m}^3/\text{uur}$, zowel bij de monstername inlaat als bij het filter.

In deze rapportage staan de concentraties en stofbeladingen weergegeven bij 0°C en 1 atmosfeer. De meetresultaten van de TEOM moeten worden gecorrigeerd, omdat de meetresultaten worden berekend bij 25°C en 1 atmosfeer. De massaflowcontrole van de TEOM is geijkt bij 0°C en 1 atmosfeer.

De instelling van de monitoren is zodanig dat om de 10 minuten een meetresultaat wordt weggeschreven. De fijnstofconcentraties worden berekend als glijdend uurgemiddelden.

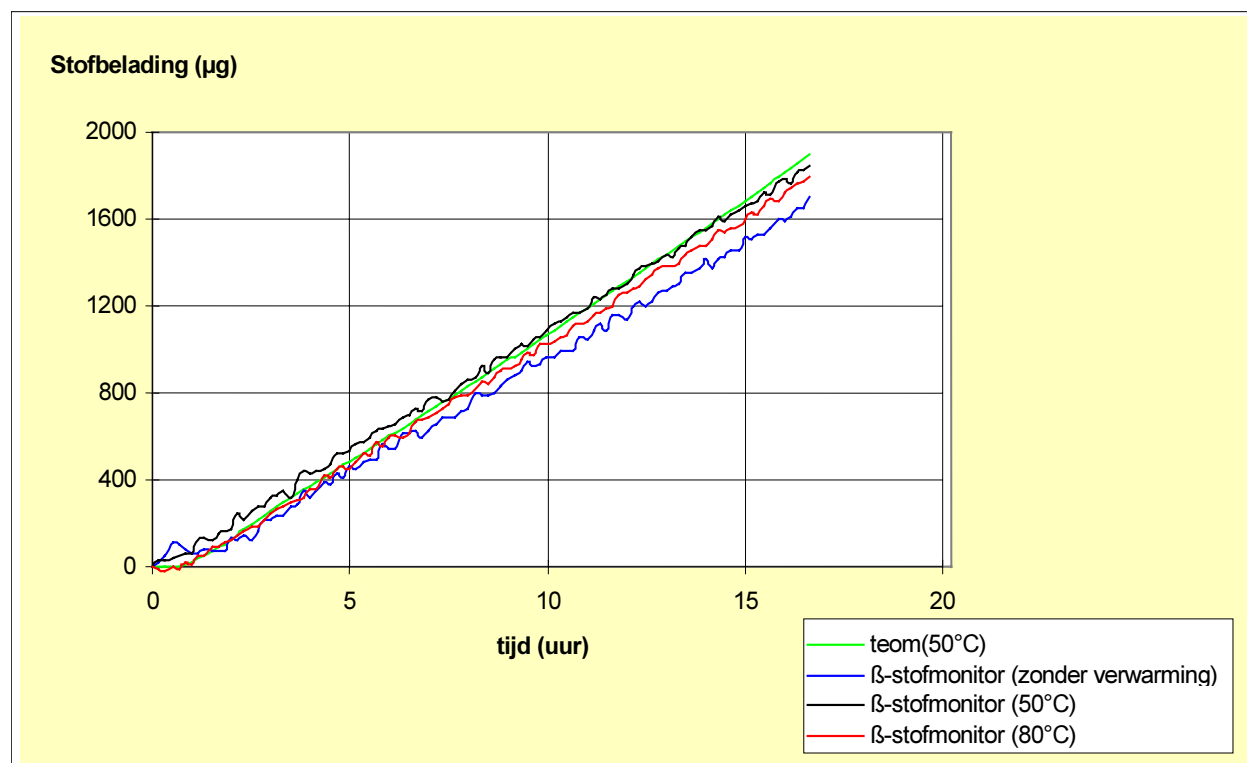
2.2.1 Ammoniumsulfaat

Ammoniumsulfaat is een niet vluchtig aërosol dat eenvoudig te genereren is, waardoor het erg geschikt is als testaërosol. De toegepaste concentratie van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ammoniumsulfaat is gekozen om mogelijke effecten duidelijk aan te tonen.

Het ammoniumsulfaat wordt opgelost in demiwater en versproeid met een TSI 3075 atomiser. Na droging wordt dit aërosol aan het vat aangeboden. De fijnstofconcentratie wordt vervolgens bepaald met behulp van de TEOM en de twee β -stofmonitoren (SD18 & SD24).

Resultaten

Aan de hand van de weergave van de cumulatieve toename van de stofbelading in de tijd is te zien dat de instelling van de inlaattemperatuur géén (merkbare) invloed heeft op de gemeten fijnstofconcentratie ammoniumsulfaat (zie figuur 3).



Figuur 3 Invloed van de inlaatverwarming op ammoniumsulfaat

De werkelijke concentraties in de buitenlucht zijn duidelijk lager dan de gekozen concentratie bij de laboratoriumexperimenten. Het ligt dan ook in de lijn der verwachting dat aërosol voor zover het bestaat uit ammoniumsulfaat géén aanleiding geeft tot onderschatting door de β -stofmonitor met verwarmde inlaat ten opzichte van de referentiemethode.

2.2.2 Ammoniumnitraat

Een ammoniumnitraatoplossing van 0,6 g/l wordt verspreid wat overeenkomt met ongeveer $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in het vat. Ook hier is deze concentratie gekozen om de effecten duidelijker aan te tonen. En ook hier is het van belang te realiseren dat de concentraties in de buitenlucht (duidelijk) lager zullen zijn. De deeltjes in het vat zijn kleiner dan $1 \mu\text{m}$.

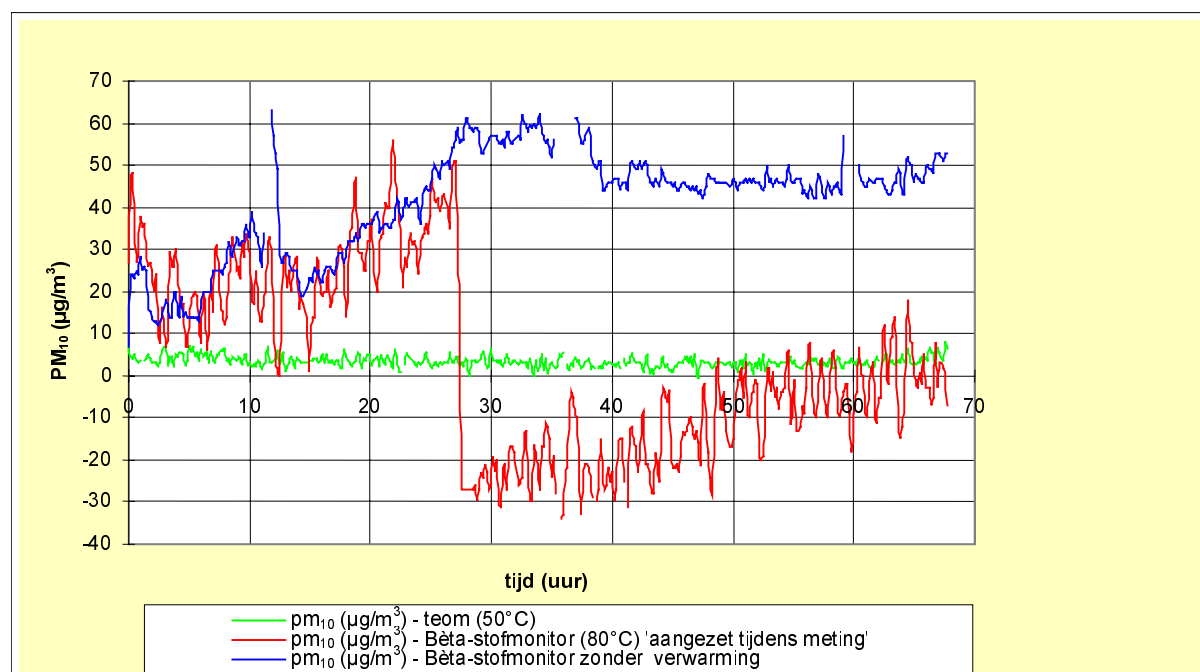
Het ammoniumaërosol wordt bepaald met behulp van voornoemde TEOM en twee β -stofmonitoren. Eén van de twee β -stofmonitoren wordt hier gebruikt om de concentratie in het vat te volgen en de verwarming van deze monitor wordt dan ook uitgezet. Het mogelijke effect van de verwarming wordt bepaald door gebruik te maken van de TEOM (instelling van meetkamer en inlaat op 50°C) en de andere β -stofmonitor waarvan de inlaat verwarming is ingesteld op zijn maximale waarde van 80°C . De β -stofmonitor die op 80°C staat ingesteld wordt eerst enige tijd zonder verwarming gebruikt om na te gaan of beide β -stofmonitoren vergelijkbare resultaten geven.

Er wordt eveneens onderzocht wat de invloed van de inlaat verwarming is op ammoniumnitraat onder vochtige omstandigheden, door het vat vochtig te houden en de relatieve vochtigheid in het vat te registreren.

Resultaten

Nadat de verhoogde concentratie ammoniumnitraat via de versproeier wordt toegevoerd aan het vat, verloopt de concentratie in het vat geleidelijk naar ongeveer $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Uit figuur 4 blijkt duidelijk dat de TEOM ingesteld op 50°C een fijnstofconcentratie meet van slechts enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$!



Figuur 4 Invloed van de inlaatverwarming op ammoniumnitraat

Bij het aanzetten van de verwarmingsmantel bij 2^e β -stofmonitor op 80°C , valt op dat de β -stofmonitor een negatieve concentratie berekend. Het vervluchtigen van ammoniumnitraat vanaf het filter doet de stofbelading afnemen, hetgeen door de β -stofmonitor geïnterpreteerd wordt als voornoemde negatieve concentraties. Na stabilisatie lijken de β -stofmonitor (met 80°C) en de TEOM (inlaat en meetkamer op 50°C) min of meer naar dezelfde concentratie te tenderen.

Als vervolgens de β -stofmonitor die ingesteld staat op 80°C wordt gewijzigd naar 50°C , zoals gebruikelijk in LML, dan worden de volgende resultaten gevonden (Tabel 2).

Tabel 2 Weergave fijnstofconcentraties ammoniumnitraat

monitor	PM ₁₀ (µg/m ³)
β-stofmonitor zonder verwarming	72 ± 4 µg/m ³
β-stofmonitor ingesteld op 50°C	38 ± 7 µg/m ³
β-stofmonitor ingesteld op 80°C	circa 6 µg/m ³
TEOM ingesteld op 50°C	6 ± 3 µg/m ³

Uit deze tabel 2 blijkt duidelijk dat de effectiviteit van de verwarming tussen de β-stofmonitor en de TEOM verschilt.

Bedenk hierbij dat de instelling van de inlaatverwarming van de β-stofmonitor plaats vindt aan de hand van de temperatuur aan de buitenkant van de inlaatbuis. De temperatuur in diezelfde inlaatbuis van de β-stofmonitor is derhalve beduidend lager dan de uitwendig ingestelde temperatuur.

Kennelijk dient de inlaatverwarming van de β-stofmonitor zo hoog als 80°C ingesteld dienen te worden om dezelfde effectiviteit te bereiken (qua verdamping van ammoniumnitraat aërosol) als TEOM bij 50°C.

3 Conclusies

De directe invloed van vocht op de respons van de β -stofmonitoren bestaat uit een toename van de stofbelading op het monitorfilter bij hogere vochtigheden. Bij extreem vochtige omstandigheden gaat het echter om een geringe overschatting (zo'n $3\text{-}4\ \mu\text{g}/\text{m}^3$) van de waargenomen concentraties.

Daarnaast is niet uitgesloten dat door hygroscopische eigenschappen van aërosol, de deeltjesgrootte zodanig zal kunnen toenemen, dat bij buitenluchtmetingen met een PM_{10} -kop deze buiten het meetbereik vallen. Per saldo zou dit een verlies aan massa op het aanzuigfilter van de monitor inhouden, en daarmee een onderschatting van de werkelijke concentratie.

M.b.t. ammoniumsulfaat is er géén sprake van onderschatting van de betreffende concentraties door het verwarmen van de inlaat van de β -stofmonitoren. Immers, de TEOM met een duidelijk effectievere verwarming geeft min of meer dezelfde cumulatieve stofbeladingen en PM_{10} -concentraties aan als de β -stofmonitoren.

De verwarmingsmantel van β -stofmonitoren ingesteld op 80°C is in staat om ammoniumnitraat deeltjes volledig te laten vervluchtigen. Eventueel reeds op het filter aanwezig ammoniumnitraat zal bij deze temperatuur verdampen. Hierdoor zal de stofbelading afnemen, hetgeen als een negatieve PM_{10} -concentratie zal worden gesignaleerd.

De effectiviteit van de verwarmingsmantel van de β -stofmonitoren is tamelijk beperkt. De temperatuur van het aangezogen aërosol in de inlaatbuis blijft beduidend lager dan de ingestelde temperatuur van de verwarmingsmantel (hangt o.a. samen met de plaats van de verwarmingsmantel op de aanzuigleiding).

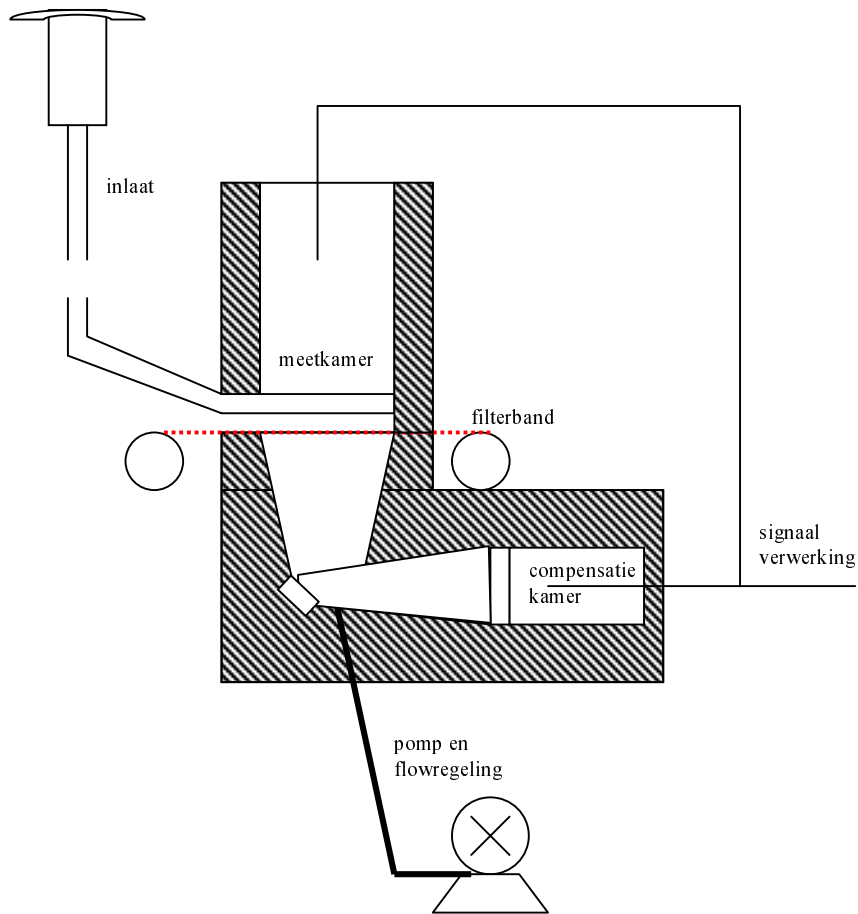
Als de β -stofmonitor wordt ingesteld op 50°C , zoals in het LML, dan zal slechts een deel van het ammoniumnitraat vervluchtigen. De hoeveelheid ammoniumnitraat dat zal vervluchtigen is dan afhankelijk van de buitentemperatuur, en van de voornoemde effectiviteit van de verwarming.

Bij TEOM is de effectiviteit van de ingestelde temperatuur van inlaat (langere inlaatbuis) en met name meetkamer aanzienlijk beter dan bij de β -stofmonitor. Hierdoor zal bij de ingestelde waarde van 50°C vervluchtiging van ammoniumnitraat in beduidend hogere mate plaatsvinden. Uiteraard zijn de buitentemperatuur en de aanwezige concentratie ammoniumnitraat in de buitenlucht van groot belang om een schatting te kunnen maken van het daadwerkelijke verlies aan fijne stofdeeltjes.

Literatuur

- Elzakker BG van, Meulen A van der, Hellemond J van, Regts TA. 1992. De β -stof meetmethode vergelijking van een vijftal monitoren. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Rapportnummer 223105001.
- Goss KU, Eisenreich SJ. 1997. Sorption of volatile organic compounds to particles from a combustion source at different temperatures and relative humidities. *Atmos Environ* 31: 2827-2834.
- Harrison RM, Sturges WT, Kitto AMN, Yuanqian L. 1997. Kinetics of evaporation of ammonium chloride and ammonium nitrate aerosols. *Atmos Environ* 24a: 2827-2834.
- Lee C, Hsu W. 1998. A novel method to measure aerosol water mass. *J. Aerosol Sci* 29: 827-837.
- Meulen A van der, et al. 2000. Evaluation of CEN Field Test Procedure to Demonstrate Equivalence of Sampling Methods for the PM₁₀ Fraction of Suspended Particulate Matter with a Reference sampling Method for PM₁₀. EU Report: EUR 18668 EN.
- Buro Blauw/RIVM. 1996. De relatie radiometrie-gravimetrie van de β -stofmonitoren van het landelijk meetnet luchtkwaliteit. Rapportnummer: BL95616.01.
- Xu J, Imre D, McGraw R, Tang I. 1998. Ammonium Sulfate: Equilibrium and Metastability Phase Diagrams from 40 to -50°C. *J. Phys. Chem. B.* 102: 7462-7469.

Bijlage 1 Schematische weergave en foto van de β -stofmonitor



Bijlage 2 Verzendlijst

1. Ir. J. van der Vlist, VROM
2. Mw. Mr. C.M. Zwartepoorte, VROM
3. Dr. K. Krijgsheld, VROM
4. Ir. J.A. Herremans, VROM
5. Ir. A. Blom, VROM
6. Directie Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
7. Hoofd Voorlichting en Public Relations RIVM
8. Dr. Ir. D. van Lith, hLLO
9. Ir. H.S.M.A Diederens, LLO
10. Ir. R.A.W. Albers, LLO
11. Dr. A. Opperhuizen, LEO
12. Dr. Ir. E. Buringh, LEO
13. Bureau Rapportenregistratie
14. Bibliotheek RIVM
15. Depot van Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
16. Bibliotheek LLO

17-20 Auteurs

21-44 Bureau Rapportenbeheer

45-100 Reserve exemplaren