

Meetprotocol fijn stof bepaling in kantoren

Piet Jacobs, onderzoeker Energie, Comfort en Binnenmilieu

Marita Voogt, onderzoeker Urban Environment and Safety

TNO

Samenvatting

TNO heeft begin dit jaar samen met de VLA een uniek meetprotocol voor de bepaling van fijn stof ($PM_{2,5}$) ontwikkeld. Het protocol beschrijft hoe met behulp van optische deeltjestellers op basis van een week meten een schatting voor de jaargemiddelde fijn stof concentratie in kantoorruimtes kan worden gemaakt. Met de uitkomsten van zo'n meting is de afweging makkelijker om filters en/of luchtbehandelingsinstallaties te installeren om zo blootstelling binnen aan fijnstofdeeltjes van bijvoorbeeld dieseluitlaatgassen te reduceren. Dit artikel geeft de achtergronden van het meetprotocol weer.

Aanleiding en randvoorwaarden

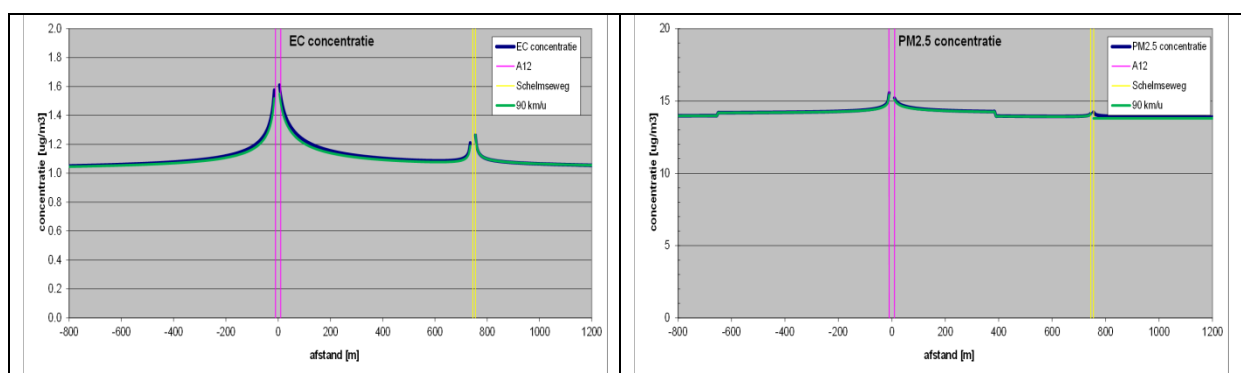
Mensen zijn meer dan 80% van de tijd binnen en worden daar blootgesteld aan fijn stof. Deze concentraties kunnen behoorlijk verschillen van de buitenconcentratie. Voor het binnenmilieu zijn er in tegenstelling tot buiten geen wettelijke eisen wat betreft fijn stof. Er zijn tot op heden geen meetmethoden en prestatie-eisen beschikbaar waaraan bijvoorbeeld in een Programma van Eisen (PvE) kan worden gerefereerd. Vanuit de kringen Binnenmilieu Advies en Luchtfilters van de Vereniging Luchttechnische Apparaten (VLA) kwam de vraag naar een methode geschikt voor het uitvoeren van fijnstofmetingen in kantoorgebouwen. Om fijnstofmetingen in kantoorgebouwen uit te kunnen voeren zijn de volgende drie randvoorwaarden van belang. De gewenste meet duur is maximaal een week, anders zou het voor de opdrachtgevers te duur worden. De meetapparatuur is compact en geluidarm zodat deze toepasbaar is in een kantooromgeving. En bij voorkeur wordt vanuit praktisch oogpunt alleen binnen gemeten.

Welke marker voor fijn stof?

De wetgeving voor buitenlucht is momenteel gebaseerd op de fractie fijn stof tot 10 micrometer (PM_{10}) als marker. Maar er zijn steeds meer aanwijzingen dat de fijnere en dan met name de verbranding gerelateerde fracties van belang zijn voor de gezondheid. Dit heeft er toe geleid dat per 1 januari 2015 in Nederland voor buitenlucht ook een eis wordt gesteld aan de fijnstoffractie tot 2,5 micrometer ($PM_{2,5}$). Grof gesproken zijn deeltjes groter dan 2,5 micrometer veelal afkomstig van mechanische processen, zoals slijtage, grondbewerking, constructiewerkzaamheden, stof van de Sahara en zeezout. In het binnenmilieu worden deze grovere deeltjes opgewerveld door bijvoorbeeld loopbewegingen en stofzuigen en zakken dan weer omlaag naar de grond. Beneden de 2,5 micrometer ($PM_{2,5}$) zakken de deeltjes niet of nauwelijks meer uit. Deze deeltjes zijn voornamelijk afkomstig van verbrandingsprocessen, zowel direct (elementair koolstof, roet) als indirect, door reactie en condensatie van gasvormige componenten die bij verbrandingsprocessen

vrijkomen, zoals SO_2 , NO_x en vluchtige koolwaterstoffen. Met name ultrafijnstof ($<0,1$ micrometer) is voor het overgrote deel van verbrandingsprocessen afkomstig. Juist deze qua samenstelling schadelijke stof komt het diepst in de longen terecht. Uit studies komen aanwijzingen naar voren dat met name deeltjes die afkomstig zijn van verbrandingsprocessen, zoals van wegverkeer, serieus schadelijk voor de gezondheid zijn. In juni 2012 heeft de World Health Organisation (WHO) zelfs aangegeven dat blootstelling aan dieseluitletgas bij mensen kanker kan veroorzaken. Vanuit gezondheidsoogpunt lijken roet en of ultrafijnstof goede markers zijn. Praktisch gezien leveren deze twee markers bij toepassing in kortdurende metingen in een kantoorgebouw echter grote problemen op. Het maakt nogal uit welke meteorologische condities tijdens de meting heersen. Indien bijvoorbeeld de wind van een drukke snelweg naar het gebouw waait dan zullen hoge waarden voor roet en ultrafijnstof worden gemeten. Indien de wind de andere kant op waait dan wordt geen effect van de snelweg gemeten. Dit heeft er toe geleid dat in onderzoeksprojecten soms tot wel 6 weken moest worden gewacht totdat een 'gunstige' windrichting optrad. Dit is bij routine metingen natuurlijk niet gewenst.

De concentratie van $\text{PM}_{2,5}$ wordt ook sterk bepaald door meteorologische condities, echter hierbij is het veel minder van belang of een gebouw stroomopwaarts of stroomafwaarts van een drukke weg ligt. De $\text{PM}_{2,5}$ komt met name tot stand door transport over grote afstanden. Bij noordwesten wind vanaf de Noordzee zijn de concentraties veelal laag, terwijl bij zuidoosten wind Nederland onder de pluim uit het Ruhr gebied komt te liggen. Daarnaast neemt de concentratie van fijn stof sterk toe onder stabiele omstandigheden (temperatuurinversie in de atmosfeer, lage windsnelheden). De concentratie van $\text{PM}_{2,5}$ varieert meer in de tijd dan in de ruimte, de verschillen tussen regionale en stedelijke locaties zijn beperkt. Figuur 1 laat duidelijk zien dat $\text{PM}_{2,5}$ veel minder varieert dan Elementair Koolstof (EC) of roet nabij wegen. Alhoewel $\text{PM}_{2,5}$ gezondheid kundig gezien misschien niet de beste marker is, kan hiervoor wel met een kortdurende meting van een week met een redelijke nauwkeurigheid een jaargemiddelde concentratie worden afgeschat. $\text{PM}_{2,5}$ hangt als een soort deken over Nederland en is daarom geschikt als 'teststof' om de kwaliteit van de aanwezige luchtfilters en de luchtdichtheid te beoordelen. Vervolgens kan hier mee de blootstelling aan andere fracties worden berekend.



Figuur 1: berekende jaargemiddelde concentratie Elementair Koolstof (links) en $\text{PM}_{2,5}$ (rechts).

Optische deeltjestellers

Voor het al langer bestaande buitenluchtprotocol worden filters bemonsterd en in het lab gewogen (de zogenaamde gravimetrische methode). Zie het ruim anderhalf meter hoge metaalkleurige

apparaat in Figuur 2. Die leent zich door de afmetingen, de geluidsproductie en de arbeidsintensieve weging van de filters echter niet voor brede toepassing in het binnenmilieu. Een ander buiten in meetstations veel gebruikt apparaat is de Beta Attenuation Monitor (BAM). Dit apparaat maakt gebruik van β -straling en kan hierdoor niet zomaar binnen worden toegepast. Links in Figuur 2 worden optische deeltjestellers getoond, die door het kleine formaat en door de geringe geluidproductie wel geschikt lijken voor fijnstofmeting in de binnenlucht. De meting is indirect, dat wil zeggen dat de massaconcentratie wordt afgeleid uit de werkelijke meting. Deeltjes worden geteld en hun grootte geschat aan de hand van gemeten verstrooiing van licht door de deeltjes. Met de aanname dat de deeltjes bolvormig zijn en een veronderstelde dichtheid van de deeltjes wordt een schatting van de massa van het deeltje gemaakt en wordt het deeltje toegekend aan de juiste grootteklasse. De fabrikanten of leveranciers voeren zelf meestal testen uit waarin de apparaten worden vergeleken met de referentiemethode of waarin de apparaten aan een bekende hoeveelheid test-aerosol (ISO fine test dust) worden blootgesteld. Op basis daarvan wordt de veronderstelde dichtheid voor het uitleveren van de apparaten gecorrigeerd. De dichtheid is dus te beschouwen als een kalibratiefactor. De gebruiker kan zelf ook aanpassingen doen aan de kalibratiefactor. Begin 2014 is in een TNO kantoorgebouw een testmeting uitgevoerd met vijf optische deeltjes tellers, waarbij deze zijn vergeleken met de gravimetrische referentie methode voor $PM_{2,5}$ conform de Europese norm EN12341. Op basis van deze meting kan worden gesteld dat, mits de apparatuur goed geijkt is, commercieel verkrijgbare optische deeltjestellers redelijk goed tot zeer goed overeen komen met de gravimetrische referentie methode.



Figuur 2: links diverse typen optische deeltjes tellers en rechts een filterwisselaar voor de gravimetrische referentiemethode

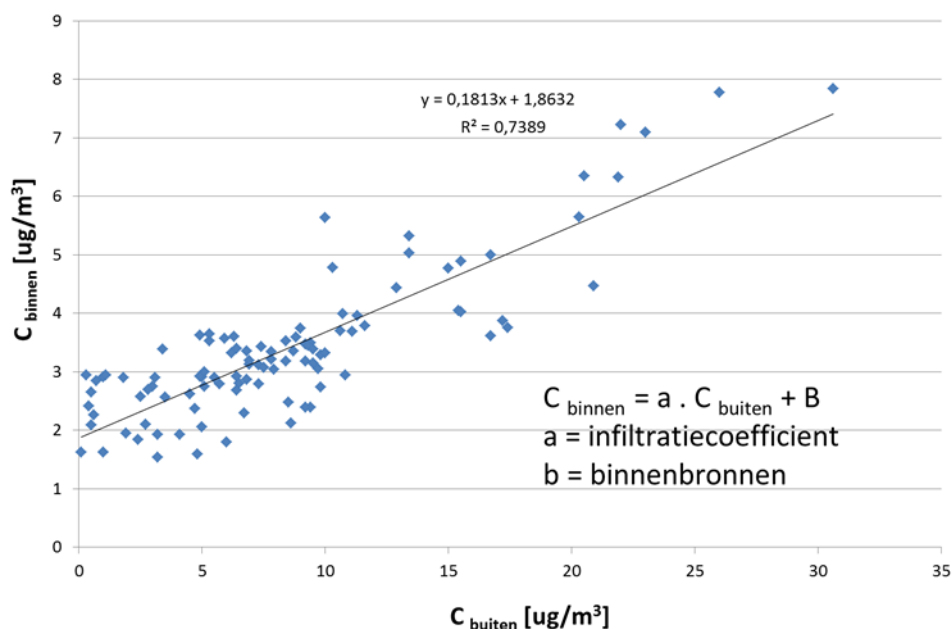
Jaar gecorrigeerde concentratie

De fijnstofconcentratie in een kantoor wordt sterk beïnvloed door de buitenconcentratie en de meteorologische condities. Normaliter dient zolang te worden gemeten totdat alle relevante

condities zijn voorgekomen. Zoals eerder aangegeven is dit niet praktisch en ook kostbaar. Om deze reden is ervoor gekozen om de meetperiode te beperken tot 1 week en te corrigeren voor de in de meetperiode voorgevallen buitenconcentratie ten opzichte van het jaargemiddelde. Vanwege praktische problemen is het vaak niet mogelijk om ook de buitenluchtconcentratie ter plaatse correct te meten. Daarnaast is het vaak lastig om een stroompunt te vinden. Ook beschutting tegen weer en wind en bescherming tegen vandalisme maken het niet aantrekkelijk om bovenop of nabij een gebouw $PM_{2,5}$ te meten. Tenslotte kan een hoge luchtvochtigheid buiten voor condensatie op fijn stof deeltjes zorgen, waardoor deze deeltjes groter lijken te worden.

Zoals eerder aangegeven bestaat de concentratie van $PM_{2,5}$ voor een groot deel uit een achtergrondconcentratie die over Nederland weinig varieert. Daarom is het toepassen van metingen uit een van de meetnetten in Nederland de meest acceptabele manier om aan buitenwaarden te komen. Om zoveel mogelijk informatie uit een week meten te halen zijn uurgemiddelde waarden nodig. Momenteel is het mogelijk om actuele uurgemiddelde waarden te verkrijgen op de website van het Rotterdamse meetnet van DCMR. Deze waarden zijn weliswaar nog niet gevalideerd, maar voor deze toepassing volstaat het.

De jaargecorrigeerde concentratie wordt afgeleid door de meetdata van de binnenmeting in het kantoor gebouw uit te zetten tegen de buitenconcentratie $PM_{2,5}$. Figuur 3 geeft deze grafiek weer voor de derde week uit de testmeting.



Figuur 3: week 3 testmeting, effect van buitenconcentratie (C_{buiten}) op binnenconcentratie (C_{binnen})

In veel gevallen is er sprake van een lineaire toename van de binnenconcentratie als functie van de buitenconcentratie. De helling van de lijn in figuur 3 karakteriseert de luchtdichtheid van de gebouwschil, de filterkwaliteit, en gebruikersgedrag zoals open ramen. De as-afsnede b geeft een schatting voor het effect van interne bronnen op de binnenconcentratie.

De jaar gecorrigeerde concentratie wordt bepaald door met lineaire regressie de infiltratie coëfficiënt en de grootte van binnenbronnen af te schatten en vervolgens de meerjarig gemiddelde buitenconcentratie $PM_{2,5}$ in Nederland in onderstaande formule in te vullen.

$$C_{\text{binnen,jaar}} = a \cdot C_{\text{buiten,jaar}} + b = a \cdot 16 + b$$

Waarin:

$C_{\text{binnen,jaar}}$	= jaar gecorrigeerde concentratie	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
$C_{\text{buiten,jaar}}$	= meerjarig gemiddelde buitenconcentratie	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
a	= infiltratiecoëfficiënt	$[-]$
b	= binnenbronnen	$[\mu\text{g}/\text{m}^3]$

In het getoonde voorbeeld geldt:

$$C_{\text{buiten}} = 8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ (dit is lager dan het meerjarig gemiddelde van } 16 \mu\text{g}/\text{m}^3)$$

$$C_{\text{binnen}} = 3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Dit wordt gecorrigeerd naar:

$$C_{\text{binnen,jaar}} = a \cdot C_{\text{buiten,jaar}} + b = 0,18 \cdot 16 + 1,9 = 4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

In totaal is in de testmeting gedurende drie weken gemeten. In tabel 1 worden de resultaten met elkaar vergeleken. Uit de tabel blijkt dat zonder correctie er relatief grote verschillen kunnen optreden in de weekgemiddelde $\text{PM}_{2,5}$ concentratie, tot wel bijna een factor 3 verschil. Na correctie voor de buitenlucht concentratie worden de verschillen een stuk kleiner en wordt dus een betere schatting verkregen. Interessant is dat in een ander project gedurende een andere periode in twee andere ruimtes in het gebouw is gemeten. Deze meetwaarden komen redelijk goed overeen met de waarden in tabel 1. Blijkbaar is de concentratie $\text{PM}_{2,5}$ in dit kantoorgebouw met centrale luchtbehandeling vrij homogeen.

Tabel 1: gemiddelde waarde en jaar gecorrigeerde schatting voor $\text{PM}_{2,5}$ in het testgebouw

week	$\text{PM}_{2,5}$ gemiddeld	$\text{PM}_{2,5}$ jaar gecorrigeerd
1	6,3	6,2
2	9,7	6,7
3	3,3	4,7
gemiddelde	6,5	5,9
standaardafwijking	3,2	1,0

Toetsing aan richtwaardes

De laatste stap in het protocol is het toetsen van de gemeten waarde aan een drietal klassen, zie tabel 2. De wettelijke eisen voor de buitenlucht worden gezien als een minimum waaraan ook binnen in elk geval voldaan dient te worden. Wanneer echter kwaliteit gewenst is, zal hoger moeten worden ingezet. Vandaar dat in dit meetprotocol met drie verschillende klassen wordt gewerkt. Waarbij klasse C overeen komt met de jaargemiddelde grenswaarde voor buitenlucht die vanaf 1 januari 2015 in Nederland voor $\text{PM}_{2,5}$ van kracht is. Klasse A komt overeen met de jaargemiddelde WHO advieswaarde voor buitenlucht. Klasse B is tussen de waarden van A en C gekozen. De tabel geeft voorlopige waarden, ze kunnen worden herzien indien er aanleiding toe bestaat (bijv wijzigingen in de wettelijke grenswaarden of richtlijnen vanuit gezondheidsperspectief).

Tabel 2: richtwaardes voor A, B en C klasse voor PM_{2,5}.

jaar gecorrigeerde concentratie	A	B	C
PM _{2,5} [µg/m ³]	< 10	< 15	< 25

Conclusies en vervolg

Het blijkt mogelijk om een redelijke inschatting te maken van de jaargemiddelde PM_{2,5} concentratie in een kantoorgebouw op basis van 1 week meten. Door de slimme manier van data verwerking wordt hierbij ook inzicht gekregen in de luchtdichtheid van het gebouw en de grootte van de binnenbronnen. Het meetprotocol wordt binnenkort op de website van de VLA gepubliceerd: www.vla.nu. Samen met de VLA word momenteel gewerkt aan het voorspellen van het effect van maatregelen. Bijvoorbeeld welke maatregelen zijn nodig om van een B klasse gebouw een A klasse gebouw te maken? Een volgende stap is het opzetten van protocollen voor woningen en scholen. In scholen is de uitdaging groter omdat de binnenbron door opwerveling en afgifte van kleding door de hoge personendichtheid van fijn stof hier relatief groot is. Wellicht dient aanvullend aan PM_{2,5} ook PM₁₀ te worden gemeten. In woningen is er sprake van additioneel ultrafijnstof ten gevolge van onder andere koken. Wellicht dient hier aanvullend ultrafijnstof te worden gemeten.