

Naar een toekomstbestendige monitoring van luchtkwaliteit

E.P. Weijers
R.P. Otjes

December 2015
ECN-E--15-076



Verantwoording

Deze studie is uitgevoerd op verzoek van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM; DGMI Klimaat, Lucht en Geluid) onder projectnaam 'Gebruik van sensoren in een monitoring netwerk' (2015). Het ECN-projectnummer was 5.3492.

Tijdens de uitvoering bleek al snel dat de ontwikkeling van sensoren niet los gezien kan worden van andere technische ontwikkelingen en nieuwe inzichten in monitoring. Dit discussiedocument is daarom breder van opzet en inhoud dan bij aanvang voorzien.

“Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.”



Inhoudsopgave

	Samenvatting	4
1	Inleiding	5
2	Huidige monitoring van luchtkwaliteit	7
3	Van grenswaarden naar gezondheid	8
4	Recente technologische ontwikkelingen	10
5	Aanbevelingen voor een nieuwe meetstrategie	15
6	Tot slot	18
	Referenties	20

Samenvatting

Door nieuwe wetenschappelijke inzichten en innovatieve meettechnieken is een aanpassing van de bestaande monitoring van luchtkwaliteit met een netwerk mogelijk en wellicht gewenst. Toxicologische en epidemiologische studies laten zien dat het meten van andere componenten (dan PM_{10} en $PM_{2.5}$) en eigenschappen van fijnstofdeeltjes ook van belang zal zijn voor een effectieve verbetering van de gezondheid en daarom deel zouden moeten uitmaken van een toekomstbestendige strategie voor de monitoring van luchtkwaliteit in de Europese lidstaten. In de context van een actuele discussie in Nederland (en toekomstige revisies van de huidige 'Directive Air Quality') worden in deze studie aanbevelingen geformuleerd voor een dergelijke strategie. Dit gebeurt op basis van een evaluatie van de aan luchtkwaliteit geassocieerde gezondheidsproblematiek en meettechnieken die recent zijn ontwikkeld.

De huidige netwerkmonitoring is primair gericht op het verzamelen van hoogwaardige luchtkwaliteitsgegevens en het vaststellen of de luchtkwaliteit in Nederland voldoet aan de Europese grenswaarden. In een nieuwe strategie zal, met behoud van de wettelijke taakstelling, de netwerkmonitoring en bijbehorende informatievoorziening ook faciliterend kunnen zijn voor bijvoorbeeld onderzoek naar de oorzaak van gezondheidseffecten en effectiviteit van maatregelen. Dit 'beter benutten' van de hoogwaardige meetgegevens uit de netwerkmonitoring gecombineerd met gegevens afkomstig van bijvoorbeeld sensoren, satellieten en modellering zou op termijn wel eens een groter positief effect kunnen hebben op de gezondheid van Europese burgers dan continuering van de huidige opzet.

Dit alles is o.a. mogelijk door het inrichten van zorgvuldig uitgekozen stations met een volwaardige meetinfrastructuur ('supersites') op basis van specifieke kwaliteitseisen en onderzoeksvragen. Op andere stations kan volstaan worden met de inzet van goedkope 'devices' zoals sensoren ('secondaire sites'). Als op termijn een 'doorslaggevende' gezondheids-indicator gevonden is, zal dit de effort (en mogelijk kosten) nodig voor het monitoren van luchtkwaliteit aanzienlijk terugbrengen.

1

Inleiding

Luchtkwaliteit, vooral in stedelijke gebieden, was een groot probleem ten tijde van de industriële revolutie, tijdens de 19e en het eerste deel van de 20e eeuw. Pas in de jaren '60, en dan vooral als gevolg van de beruchte Londense smog in 1952, groeide het besef dat een slechte luchtkwaliteit schadelijk is voor de menselijke gezondheid. Het terugbrengen van de emissies van verkeer, beschikbaarheid van gas voor verwarming en het sluiten van sterke vervuilende industrieën heeft geleid tot een aanmerkelijke verbetering van de luchtkwaliteit in West-Europa (Harrison, 2004; Lamarque et al., 2010; Monks et al., 2009; Smith et al., 2011). Niettemin, evaluatie van huidig onderzoek in het kader van Clean Air For Europe (CAFE) laat zien dat ook nu investeringen in het verder verbeteren van de luchtkwaliteit in financieel opzicht een veelvoud opbrengt in termen van menselijke gezondheid, milieu verbetering en leefomgeving (EEA, 2007; Stern, 2006).

Het meten van luchtkwaliteit is doorgaans gekoppeld aan vigerende kennis over gezondheidseffecten en heeft om die reden grote veranderingen ondergaan in de laatste 100 jaar. De vroegste metingen waren zeer arbeidsintensief met lange bemonsteringstijden en een lage tijdsresolutie. Routine metingen aan ozon vonden al tussen 1876 en 1910 op het Montsouris Observatorium in Parijs (Volz en Kley, 1988). Sindsdien werd het concept van monitoring op vaste sites uitgebreid met betrouwbare, gekalibreerde en vergelijkbare metingen aan meer parameters en verfijnde meetmethodes. Zo is in de tweede helft van de 20e eeuw de kwaliteit en hoeveelheid van de meetdata sterk verbeterd door lagere detectielimieten en de toepassing van geautomatiseerde, continu metende instrumenten.

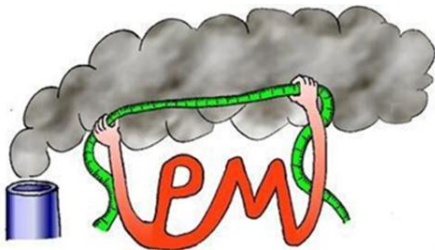


Dergelijke online monitoring leidde weer tot de ontwikkeling van waarschuwingssystemen die beleid en bevolking duidelijk maken wanneer bepaalde niveaus worden overschreden. Het nemen van (korte-termijn) maatregelen (zoals die in NL al in de jaren '80) zijn hiervan een rechtsreeks gevolg; voorbeelden zijn het verminderen van verkeer en het stilleggen van industriële faciliteiten tijdens winterse smog periodes. Dergelijke reactieve maatregelen zijn opgenomen in EU-wetgeving (EC Directive, 2008). Daarnaast is het nu mogelijk kwetsbare groepen tijdig te waarschuwen voor (komende) episodes met een slechte luchtkwaliteit (Kelly et al., 2012; RIVM, 2015).

2

Huidige monitoring van luchtkwaliteit

De meeste mensen in Europa wonen in steden en zijn daarom blootgesteld aan ongezonde lucht. Dit komt door de opeenhoping van emissies van voertuigen, gebouwverwarming en industrie. Om de gezondheid van burgers te beschermen heeft de EU een meetverplichting en grenswaarden ingesteld (Air Quality Directive 2008/50/EC). Deze legt lidstaten een meetverplichting op voor verschillende luchtverontreinigende stoffen als NO₂, CO en fijnstof (PM₁₀ en PM_{2.5}). Zo mag de grenswaarde voor PM₁₀ van 50 µg/m³ niet vaker dan 35 keer per kalender jaar met een overschrijdingsmarge van 50% overschreden worden. Voor de bijdrage van natuurlijke bronnen zoals verstuivend zeewater, bosbranden of opwaaiend stof door storm mag gecorrigeerd worden.



De huidige strategie voor de monitoring van luchtkwaliteit wordt al jaren gedreven door de noodzaak te (blijven) voldoen aan deze grenswaarden. De grenswaarden zijn bepaald op basis van wetenschappelijke kennis, en wat technisch (en politiek) haalbaar was. Of deze al dan niet gehaald worden, stelt elk land voor zichzelf vast door metingen en (model-)berekeningen. De resultaten hiervan dienen gerapporteerd te worden aan de EU. Aan de uitvoering van metingen en modellering zijn eisen gesteld die er voor zorgen dat deze met voldoende kwaliteit en in elk land op vergelijkbare wijze worden uitgevoerd.

3

Van grenswaarden naar gezondheid

Het voldoen aan de huidige grenswaarden zoals nu vrijwel overal in Nederland het geval is, betekent echter niet dat er geen gezondheidseffecten meer zijn. Blootstelling aan de huidige niveaus aan fijnstof en NO₂ leidt nog altijd tot levensduurverkorting en ziekteverzuim (Maas et al., 2015). Volgens het WHO is voor fijnstof en stikstofdioxide geen grensniveau vast te stellen waar beneden geen gezondheidseffecten te verwachten zijn (WHO, 2013). Aanscherping van grenswaarden levert dus altijd gezondheidswinst op indien hieraan voldaan wordt.

Overigens, de eis (vastgelegd in de Air Quality Directive 2008) om de gemiddelde blootstelling over stedelijke gebieden te reduceren, speelde daar al op in en markeerde daarom een belangrijke verandering in de EU-strategie. In het kort, het concept is gebaseerd op de meting van PM_{2,5} (massaconcentratie van deeltjes kleiner dan 2,5 µm in diameter) op stedelijke achtergrondstations. De gemiddelde PM_{2,5} concentratie van geselecteerde stedelijk achtergrondstations in een land over een periode van 3 jaar is de basis van de zogenaamde gemiddelde blootstellingsindex ('Average Exposure Indicator', AEI). Deze AEI mag de grenswaarde van 20 µg/m³ in 2015 niet overschrijden, en zou gereduceerd moeten zijn met een zeker percentage (afhankelijk van de initiële PM_{2,5} concentratie) in 2020. Het was voor het eerst dat het concept van blootstelling expliciet is meegenomen in de richtlijn met bijbehorende grenswaarden. Nadeel is echter wel de complexiteit van de nieuwe regeling en daarmee een ingewikkelde en moeizame uitvoering en handhaving. Het is overigens goed zich te realiseren dat deze benadering van metingen aan PM_{2,5} werkt op vaste stations voor componenten met een lage ruimtelijke variatie zoals PM_{2,5}. Voor meer veranderlijke componenten is een andere opzet van monitoring noodzakelijk om de blootstelling van de bevolking beter te beschrijven.

De technieken voor het meten en, in bredere zin, de wetenschappelijke inzichten aangaande luchtkwaliteit en de relatie met gezondheid ontwikkelen zich voortdurend. Het is dan ook niet vreemd dat bij de herziening van het luchtbeleid door de Europese Commissie (in 2013) nieuwe standpunten naar voren zijn gebracht en

wetenschappelijke discussies ontstaan, al dan niet aangestuurd door de EC. Deze discussies hebben vooral tot doel een nieuwe strategie voor de monitoring van luchtkwaliteit te ontwikkelen waarin meer recht gedaan wordt aan die eigenschappen van het mengsel die de problemen veroorzaken (voor zover die dan bekend zijn natuurlijk).

De relatie tussen fijnstof en gezondheidsproblemen is met behulp van grootschalige epidemiologische onderzoeken eenduidig aangetoond. Er bestaat verder breed gedragen consensus dat verkeersemisies relatief sterk bijdragen aan de door fijnstof veroorzaakte gezondheidsproblemen. Dit is onder andere de uitkomst geweest van een EU project als AirMonTech (2013) dat ten doel had de Europese Commissie te adviseren over een nieuwe strategie aangaande luchtkwaliteit. Het INTERREG project JOAQUIN (www.joaquin.eu; 2015) heeft een voorbeeldfunctie vervuld hoe toekomstige monitoringnetwerken uitgerust zouden kunnen worden indien meer aandacht uitgaat naar de gezondheidsbedreigende eigenschappen van fijnstof.

Deze en andere studies geven aan dat PM₁₀ en PM_{2.5} zgn. container begrippen zijn: het stof dat op deze wijze gekarakteriseerd wordt is afkomstig van veel verschillende bronnen. Weliswaar laat de epidemiologie zien dat er statistische verbanden bestaan tussen deze massafracties en gezondheidseffecten, het is met deze parameters niet duidelijk welke eigenschappen of combinatie van eigenschappen de gezondheidsproblemen in de praktijk nu werkelijk veroorzaken. Daarom wordt veelvuldig gewezen op het belang van het meten van andere parameters of (fijnstof-) eigenschappen dan PM₁₀ en PM_{2.5}.

Deze zijn echter nog niet opgenomen in de huidige monitoringstrategie. Op dit moment (oktober 2015) willen verschillende lidstaten (vooral in Oost-Europa) géén strengere grenswaarden of andere indicatoren om de praktische reden dat ze nu al niet kunnen voldoen aan de huidige eisen. Deze houding frustreert verandering op het Europese continent en men kan stellen dat op het gebied van luchtkwaliteit er sprake is van een tweedeling die ruwweg verloopt volgens de oude Europese scheidslijnen Oost-West. Toch lijkt verandering in de monitoring op termijn onontkoombaar en de recente technologische vooruitgang in meetapparatuur maakt dat (nu al) mogelijk. Dit wordt in de volgende paragraaf beschreven.

4

Recente technologische ontwikkelingen

Nieuwe ontwikkelingen in apparatuur voor het meten van luchtkwaliteit zijn:

- A. Kleine, relatief goedkope, buiten plaatsbare of draagbare 'devices' met weinig of geen stroom verbruik.
- B. Geautomatiseerde 'multi-component' analysers.
- C. Instrumentarium voor het meten van fijnstofeigenschappen als aantallen en grootte van ('ultrafijne') deeltjes.

Daarnaast vinden er recentelijk stormachtige ontwikkelingen plaats in data-acquisitie, -verwerking en visualisatie van resultaten ('big data'). Een voorbeeld is het combineren van grote hoeveelheden data (bijvoorbeeld afkomstig van een sensornetwerk) met geo-data (GIS). Op deze wijze kan de ruimtelijke variabiliteit van luchtkwaliteitscomponenten (op stedelijke schaal) beter worden bepaald en als basis dienen voor de vaststelling van blootstelling van de bevolking. Een ander voordeel is dat de uitgebreidere informatiestroom (op meer plaatsen gemeten) een meer toegankelijke informatievoorziening naar het publiek mogelijk maakt. Bespreking hiervan valt echter buiten het blikveld van dit rapport. Hieronder wordt ingegaan op de meest interessante nieuwe ontwikkelingen in meetapparatuur.



A. Kleine, relatief goedkope, buiten plaatsbare of draagbare devices met weinig of geen stroom verbruik

Sinds enige jaren zijn tal van sensoren en sensorsystemen voor het meten van luchtkwaliteit op de markt verschenen. Deze sensoren worden in grote verscheidenheid aangeboden, variërend van goedkope 'gadgets' van enkele euro's tot geavanceerde sensorsystemen met een kostprijs oplopende tot duizenden euro's. Gesteld kan worden dat de meetkwaliteit en de duurzaamheid van het meetsysteem vergelijkbaar oploopt met de prijs. Meest geavanceerd zijn modulaire platform systemen met een array aan sensoren voor verschillende componenten.

De eenvoudige sensoren zijn veelal te koppelen aan mobiele telefoons via Wi-Fi of rechtstreeks voor uitleesfuncties en voeding. De data kwaliteit is zwak of vaak afwezig, waardoor de toepassing meestal slechts van symbolische waarde is. Gebruik van data van deze meetsystemen voor big-data doeleinden zou vooralsnog ontmoedigd moeten worden. De eerste reden is dat de data kwaliteit te slecht is; dit is niet door grote aantallen metingen te verhelpen omdat het niet alleen meetruis betreft maar vooral ook door systematische afwijkingen wordt veroorzaakt. Tweede reden is dat de bemeten lucht te vaak niet representatief zal zijn voor de locatie (in tas of broekzak, en of in de auto of binnenshuis).

Van geavanceerde sensor systemen voor gassen en fijnstof mag verwacht worden dat ze op termijn bruikbaar worden voor monitoring doeleinden met een formeel karakter. Vele sensoren technieken laten in het laboratorium al een prima performance zien, maar in de praktijk (buitenlucht condities) valt dat nog tegen als gevolg van snel veranderende weercondities en voor gassensoren een significante gevoeligheid voor andere gassen (zgn. cross contaminatie).

Fijnstof sensor technieken zijn meestal gebaseerd op een optisch meetprincipe. Dit houdt in dat deeltje in de sensor worden beschenen met licht met specifieke eigenschappen (golflengte, modulatie). De reflectie van deeltjes wordt gemeten en via een protocol in fijnstofconcentraties omgezet. Complicatie is dat ultrafijne deeltjes nauwelijks of niet gezien worden volgens dit meetprincipe. Verder behoort fijnstof gedroogd gemeten te worden. Dit vereist een extra behandelingsstap die veelal niet of niet correct wordt uitgevoerd. De gevoeligheid voor dit meetprincipe is hoog en de techniek vereist slechts 'low-cost' componenten.

Sensoren zijn voor de belangrijkste gassen beschikbaar, zoals CO, CO₂, NO, NO₂, O₃, VOC, SO₂, enz. Ze berusten veelal op twee verschillende meetprincipes nl. de elektrochemische (Citytech, Alphasense) en de metaaloxide (E2V) techniek. Andere technieken worden ontwikkeld (nanotubes) maar bevinden zich nog in een ontwikkelingsfase. De technieken zijn in principe flow onafhankelijk en statisch inzetbaar. Bij de elektrochemische cellen diffundeert het te meten gas door een membraan en veroorzaakt in de onderliggende met elektroden uitgeruste elektrolytische lagen een verandering in de diverse potentiaal verschillen die elektronisch uit leesbaar zijn. In het geval van metaaloxide sensoren wordt een elektronische weerstand gebruikt die bestaat uit bijv. molybdeen- of wolframoxide. De geleidbaarheid van deze oxides is gevoelig voor de blootstelling aan bepaalde gassen. Deze gevoeligheid is redelijk specifiek en temperatuurafhankelijk. Zo moet een sensor

bijvoorbeeld op 300 °C gehouden worden om ozon te meten. De gevoeligheid voor een specifiek gas is over het algemeen hoog en voldoende om normale variaties in de buitenlucht te volgen. Het probleem is dat zowel de elektrochemische cel als de metaaloxide weerstand een forse gevoeligheid behouden temperatuur variaties en voor andere gassen, waaronder waterdamp. De ontwikkeling gaat door en de performance verbetert steeds verder door fysisch-chemische modificaties en corrigerende software.

Ondertussen zijn meeteenheden voor luchtkwaliteit op de markt verschenen waarin op modulaire wijze meerdere componenten gelijktijdig bepaald kunnen worden (AQMesh, AirBox, Air Quality Egg). Deze eenheden zijn eenvoudig te plaatsen en als verdicht netwerk te gebruiken. Data wordt draadloos verzonden en de energie voorziening is veelal op batterijen gebaseerd. Kwaliteitsborging is echter een punt van zorg.

B. Geautomatiseerde 'multi-component' analysers

Voor het nemen van maatregelen om de fijnstof concentraties terug te dringen is het van belang te weten wat de herkomst is. Fijnstof is afkomstig emitterende sectoren (primair fijn stof) zoals industrie, verkeer, landbouw en natuur. Tevens ontstaat fijnstof vanuit chemische reacties in de atmosfeer; dit heet dan secundair fijnstof. Fijnstof is dus een complex mengsel van allerlei stoffen, zoals zouten, organische verbindingen, metalen, roet en mineralen. Sommige zouten en organische verbindingen zijn (semi-) vluchtig.

Van oudsher worden deze componenten, nadat het fijnstof op filters is bemonsterd, geanalyseerd in het laboratorium. Een bewerkelijke en kostbare procedure, waarmee na verloop van tijd pas resultaten beschikbaar komen met een beperkte tijdsresolutie.

In de afgelopen jaren zijn twee typen van multi-component analysers commercieel beschikbaar gekomen, de nat-chemische en de massa-spectrometers. Beide leveren semi online data met een tijdoplossend vermogen van een uur of beter. De nat-chemische analysers (Metrohm, URG) meten over het algemeen de anionen- en kationenconcentratie in fijnstof (dit is over het algemeen de grootste fractie) en de precursor gassen (verantwoordelijk voor de vorming van secundair fijnstof). De massa spectrometers (TSI) meten na verhitting van het fijnstof de moleculaire brokstukken en leiden daar de concentraties van anionen, ammonium en organische fracties uit af. Metalen (andere kationen) zijn op deze wijze niet goed te meten. Beide technieken zijn echter kostbaar in de aanschaf en arbeidsintensief in de bedrijfsvoering.

C. Instrumentarium voor het meten van fijnstofeigenschappen als aantallen en grootte van (ultrafijne) deeltjes

In het huidige gezondheidsonderzoek zijn de belangrijkste 'emerging' parameters met betrekking tot fijnstof:

- Aantallen deeltjes (per m³)
- Grootte deeltjes (in aantallen per diameterklasse)
- Oppervlakte (oppervlakte-eenheid per m³)
- Roet of zwart koolstof (BC; massa per m³)
- Elementair koolstof (EC; massa per m³)
- Organisch koolstof (OC; massa per m³)

- Oxiderend potentieel van het fijnstof (OP; diverse eenheden)

Naast de meer traditionele meting van massaconcentraties (uitgedrukt als PM_{10} en $PM_{2,5}$) is karakterisering van aantallen, oppervlakte en grootteverdeling van deeltjes mogelijk. Voor researchdoeleinden zijn er tegenwoordig verschillende deeltjestellers (CPC) en spectrometers (DMPS/SMPS) beschikbaar. De afgelopen jaren is veel energie gestopt om deze geschikt te maken voor monitoring. Door de ontwikkeling van bijvoorbeeld spectrometers die de grootteverdeling geven in enkele grootteklassen in combinatie met meer bedieningsgemak is dit nu mogelijk. De vergelijkbaarheid van dergelijke instrumenten is nog wel een probleem, zo is de omrekenfactor (van elektrisch signaal naar massa eenheid) iets waar zorgvuldig mee moet worden omgegaan. Dit verschilt namelijk niet alleen per instrument maar ook per meetlocatie. Daarnaast blijkt uit o.a. het JOAQUIN onderzoek dat de gradiënten voor aantallen deeltjes veel groter zijn dan die voor PM_{10} (en $PM_{2,5}$). Aantallenconcentraties zijn namelijk heel 'gevoelig' voor de nabijheid van bronnen, zo is bijvoorbeeld de afstand tot een verkeersweg van belang. Bij interpretatie en vergelijking van meetresultaten dient hiermee rekening te worden gehouden.

Het meten van zwart koolstof (Engels: 'Black Carbon' (BC)) dient als een 'proxy' voor de aanwezigheid van roet in fijn stof. Verschillende methodes om BC te kwantificeren maken gebruik van absorptie van opvallend licht. Absorptie wordt vooral veroorzaakt door donkere en bruine deeltjes die voornamelijk afkomstig zijn van verbrandingsprocessen. Andere methodes zijn gebaseerd op fotoakoestiek, infrarode diodelasers en lichtverzwakking door deeltjes gedeponereerd op een filter. Verscheidene van zulke instrumenten zijn nu geschikt voor routinemonitoring stedelijke netwerken, goed voorbeeld is de MAAP. De vergelijkbaarheid van de resultaten van verschillende instrumenten is echter matig en vereist verder onderzoek.



Figuur 1: Roet uit een schoorsteenkanaal

Voor roet wordt ook wel elementair koolstof (EC) gehanteerd. Hiervoor, en voor het organische koolstofdeel (OC) in fijnstof, bestaat nog geen meetstandaard, maar hieraan wordt wel gewerkt binnen de Europese Unie. De Europese meetstandaard is al grotendeels gedefinieerd: een kwartsvezelfilter wordt 24 uur bemonsterd volgens de $PM_{2.5}$ -standaard. Van dit filter wordt een gedeelte verhit volgens een bepaald protocol, waarbij koolstof vrijkomt. Wanneer koolstof vrijkomt (met of zonder zuurstof) wordt

bepaald of dit uit organisch (OC) of elementair koolstof (EC) bestaat. In Nederland worden twee protocollen gebruikt; het zogenaamde EUSAAR2 protocol voor analyses ten behoeve van klimaatonderzoek, en het NIOSH protocol, dat wordt toegepast bij de bepaling van de luchtkwaliteit. Het zal nog wel duren voordat hier een definitieve keuze gemaakt. Voor routinemonitoring zijn deze methodes minder geschikt en duur vanwege het vele 'handwerk'.

Nieuwe methoden zijn ook van belang bij toxicologisch onderzoek naar gezondheidseffecten van luchtverontreiniging. Dit heeft nieuwe methodieken geïnitieerd die gericht zijn op het meten van metabolische effecten. Eén voorbeeld: veelbelovend is de zgn. OP of ROS parameter. ROS staat voor 'Reactive Oxygen Species', het vermogen van fijnstofdeeltjes om radicalen te produceren in longweefsel, met ontstekingen als gevolg. Verschillende methodes bestaan inmiddels om de reactiviteit van fijnstof verzameld op filters vast te stellen. Er is onderzoek gaande naar een online methode maar dit is niet voorzien binnen 5 jaar. Hoewel interessant is deze ontwikkelingen dan ook nog niet in het stadium van een meer routinematige toepassing.

5

Aanbevelingen voor een nieuwe meetstrategie

Het inzicht groeit dat bij het meten van luchtkwaliteit met een landelijk meetnet er meer mogelijk is dan het vaststellen of grenswaarden gehaald worden. Vooruitkijkend, recente ontwikkelingen in meettechnieken, en verwerking en bewerking van meetdata bieden de mogelijkheid voor ‘gereguleerde’ monitoring verder te reiken dan alleen metingen op vaste stations met een hoge kwaliteit.

In een nieuwe strategie voor monitoring zijn volgende elementen van belang:

Uitbreiding doelstelling van bestaande netwerken.

De monitoring zou efficiënter (én mogelijk kosten-effectiever) zijn als resultaten ook gebruikt worden op andere gebieden zoals onderzoek naar gezondheidseffecten, identificeren van bronnen en evalueren van maatregelen in stedelijke gebieden, al dan niet gecombineerd met een bijpassende modellering en gegevens van andere metingen.

Maak nieuwe (additionele) luchtkwaliteit-indicatoren onderdeel van de nieuwe monitoringsstrategie.

Zoals al aangegeven, de introductie van een gemiddelde blootstellingsindex (AEI) voor $PM_{2,5}$ in 2011 was al een stap in deze richting. Nu betreft het hier $PM_{2,5}$ en PM_{10} , ‘traditionele’ indicatoren, massabepalingen waarmee andere eigenschappen van, in dit geval fijnstof, minder tot hun recht komen. Andere kandidaten zijn hier al genoemd: Black Carbon is het meest belovend, als indicator voor de aanwezigheid van roet dat in de lucht gebracht wordt door belangrijke emissiebronnen als verkeer, industrie en houtverbranding. Voordeel is dat BC op routinebasis met voldoende betrouwbaarheid kan worden gemeten en ook van belang is voor zowel gezondheidsstudies als onderzoek naar klimaatforcering.

Er zijn andere indicatoren mogelijk met relevantie zijn voor gezondheidsstudies, zoals aantallen deeltjes, oppervlakte van deeltjes, chemische samenstelling per massafractie, aanwezigheid vluchtige organische componenten, maar deze zijn, meet-technisch gezien, moeilijker meetbaar in een routinematige configuratie dan BC, met uitzondering

wellicht van de aantallen fijnstofdeeltjes. Dit laatste zou een goede aanvulling zijn op de massabepaling.

Integreer de verschillende faciliteiten van monitoring.

In een nieuwe opzet worden alle beschikbare 'monitoring' faciliteiten benut om de blootstelling van de bevolking aan luchtverontreiniging beter vast te stellen. Dit omvat de resultaten van:

- Vaste sites: traditionele data van hoge kwaliteit en tijdsresolutie maar met minder gedetailleerde ruimtelijke informatie.
- Mobiele en flexibele systemen: doorgaans kleine instrumenten ('devices') met een laag stroomverbruik, en de mogelijkheid bieden de temporele en spatiële resolutie te verbeteren en zo complementair zijn aan hoogwaardige metingen op de vaste sites. Voorbeelden zijn: i) passieve samplers voor benzeen en NO₂ (Pfeffer et al., 2010), en ii) optische en elektrochemische sensoren. Vergelijkbaarheid en kwaliteit hiervan staan nog ter discussie en daarom nu vooral geschikt voor indicatieve metingen. Te voorzien is dat deze ontwikkeling zal leiden tot de bouw van sensornetwerken in stedelijke gebieden (zoals het AiREAS netwerk in Eindhoven) die, bij voldoende kwaliteit, op termijn geïntegreerd zullen worden met de bestaande netwerk monitoring.
- Modelling: berekening van variaties in concentraties in tijd en ruimte mogelijk op elke gewenste plek. De onzekerheid in de uitkomsten is echter vaak hoog dan wel niet of beperkt gekwantificeerd. Bij deze toepassing dient men zich te realiseren dat modellen alleen iets vertellen over zogenaamde 'bekende' onbekenden, metingen blijven essentieel voor de kwaliteit van de uitkomsten van modeldata.

In ruimere zin kan dit gaan over het combineren van reken- en modelfunctionaliteiten met betrekking tot luchtkwaliteit. Voorbeeld hiervan is Aerius, het rekeninstrument van de Programmatische Aanpak Stikstof dat vergunningverlening en ruimtelijke planvorming rond Natura 2000-gebieden en monitoring van de PAS ondersteunt.

- Remote sensing: satelliet waarnemingen van luchtkwaliteit en meteorologie over een groter gebied. Dergelijke data kan gebruikt worden als informatie over de achtergrond situatie. Satelliet resultaten moeten nog wel gevalideerd worden aan feitelijke metingen. Een ander nadeel is dat er geen oplossend vermogen met de hoogte is en daardoor minder geschikt voor de vaststelling van blootstelling op leefniveau.

Versterking rol modellering

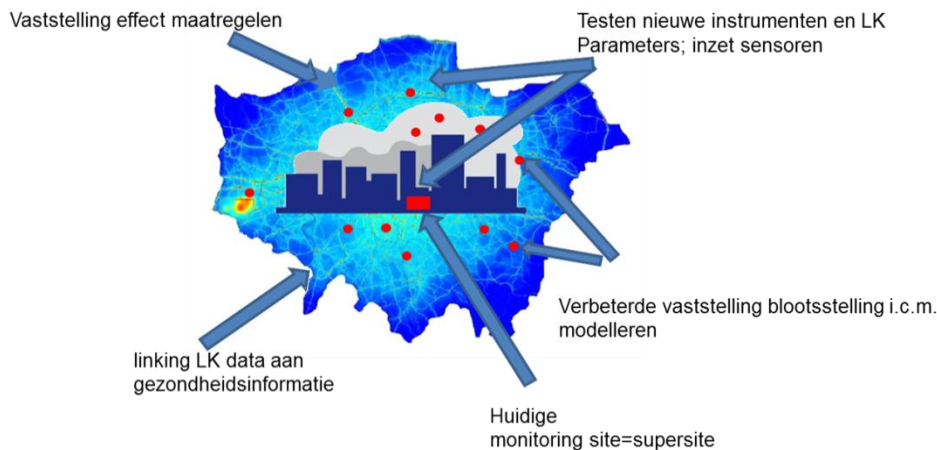
De inzet van (stedelijke) modellering zou gebaseerd moeten zijn op de beschikbaarheid van data van de vaste 'hoogwaardige' stations en een netwerk van mobiele, flexibele instrumenten zoals hierboven geschetst. Gevalideerde modelresultaten voor het bepalen van de lange-termijn blootstelling zouden wel eens een betrouwbaarder beeld kunnen geven dan die alleen gebaseerd op data van de vaste sites. In deze benadering worden meetdata van hoge kwaliteit gecombineerd met ruimtelijke informatie verkregen uit modellering.

Het gebruik van modellen maakt het verder mogelijk scenarioberekeningen te doen in het kader van reductiemaatregelen, voorspellingen en een verbeterde informatievoorziening naar het publiek en de visualisatie van de concentraties van luchtverontreiniging. Overigens, met alleen modellen zal het niet werken: zo was de onverwachte stijging in primaire NO₂ emissies afkomstig van dieselveertuigen (Carslaw, 2011) alleen detecteerbaar door metingen op vaste stations in stedelijk gebieden.

Integratie van wetenschappelijk onderzoek

De geschiedenis van monitoring laat zien dat uitdagingen en vragen bij voortdurend veranderen door nieuwe wetenschappelijke inzichten en causale factoren. Echter, uit ervaring blijkt dat het jaren duurt voordat dergelijke nieuwe onderzoeksresultaten landen in de gemeenschap die zich met luchtkwaliteit monitoring bezig houdt. Dit vraagt om een sterkere integratie van onderzoek in de toekomstige monitoring strategie. Zo leidt epidemiologisch onderzoek onder een gebrek aan ‘verfijnde’ data zoals samenstelling van fijnstof en karakterisering van fysische eigenschappen. Om hierin te voorzien worden zogenaamde ‘Areas for Research and Monitoring of Air Quality (ARMAQ)’ voorgesteld; deze zijn te vergelijken met ‘supersites’ uit het klimaat onderzoek maar dan voor metingen in stedelijke gebieden. Dit kan een station zijn uit de bestaande netwerkmonitoring. Praktisch betekent het dat dergelijke meetlocaties en/of regio’s zo gekozen worden dat deze ook relevant zijn voor solide epidemiologisch (en ander onderzoek). Een station wordt uitgerust met een zo volledige mogelijke verzameling meetinstrumenten met als doel blootstelling-response functies voor relevante meetbare componenten of eigenschappen. Op deze wijze zou een indicator gevonden kunnen worden die de sterkste relatie met gezondheidseffecten. Als deze ‘doorslaggevende’ metriek eenmaal gevonden is en bijpassende meetinstrumenten bestaan, kan dit de inspanning nodig voor de traditionele luchtkwaliteitsmonitoring aanzienlijk terugbrengen. Huidig onderzoek (bijvoorbeeld de al genoemde ROS parameter) zijn stappen in deze richting.

Uiteraard zijn nog meer activiteiten denkbaar binnen een ARMAQ (**Figuur 2**) zoals het testen van nieuwe meetinstrumenten voor vaste en mobiele metingen van zowel bestaande als nieuwe indicatoren, aanleveren van data voor modellering in stedelijk gebied, en het vaststellen van het effect van maatregelen.



Figuur 2: Area for Research and Monitoring of Air Quality (ARMAQ)

6

Tot slot

De kwaliteit van de lucht is nog steeds een onderwerp dat veel aandacht vraagt, en dan vooral in stedelijke gebieden waar veel mensen wonen. Dat is terecht daar in deze gebieden mensen eerder sterven en vaker ziek zijn. Door nieuwe wetenschappelijke inzichten en technologische ontwikkelingen op het gebied van meten is innovatie van de bestaande monitoring in nationale netwerken mogelijk en vanuit wetenschappelijk oogpunt wellicht gewenst. Toxicologische en epidemiologische studies laten zien dat andere luchtkwaliteitsparameters evenals typische eigenschappen (van fijnstof) ook van belang zijn voor een effectieve verbetering van de gezondheid en daarom deel moeten uitmaken van een nieuwe, toekomstbestendige strategie voor de monitoring van luchtkwaliteit in Europa.

De focus van de traditionele netwerkmonitoring is primair gericht op het routinematig verzamelen van hoogwaardige luchtkwaliteitsdata ten behoeve van de beoordeling van de luchtkwaliteit en bescherming van de gezondheid van burgers. De aanpassing van de huidige opzet van monitoring naar een uitgebreider informatienetwerk dat relevant is voor toepassingen in bijvoorbeeld gezondheidsstudies zou echter op de langere termijn wel eens een veel groter effect op de gezondheid van Europese burgers kunnen hebben, én mogelijk tot een effectiever gebruik van financiële middelen kunnen leiden.

Zo is er winst te behalen door een systematische integratie van metingen en assessment-technieken in één homogeen informatienetwerk. Niet alleen vermindert dit de gevolgen van fouten en uitval van apparatuur, het maximaliseert de voordelen van beide. Door combineren van meting (vast en mobiel) en modellering verbetert de kwaliteit van data en is er meer ruimtelijke informatie. Andere voordelen zijn het gebruik van deze data voor andere studies zoals het doorrekenen van effecten van maatregelen en de inpassing in moderne visualisatie van resultaten. Een dergelijk netwerk zou zich ook moeten richten op het aanleveren van hoogwaardige informatie met betrekking tot bronnen en trends, en data ter validatie en verbetering van modelberekeningen.

Dit alles is mogelijk door zorgvuldig uitgekozen stations uit te rusten met een volwaardige meetinfrastructuur afgestemd op de hierboven genoemde eisen. Op andere stations kan dan volstaan worden door het inzetten van goedkope 'devices'

zoals sensoren. Als eenmaal een 'doorslaggevende' gezondheidsindicator gevonden is, kan de effort (en kosten) nodig voor het meten van luchtkwaliteit aanzienlijk teruggebracht worden.

Referenties

- AirMonTech (2013). Final scientific report D5.9. (Europees Project 7e Kader Programma).
- Carslaw, D.C., Beevers, S.D. Tate, J.E. Westmoreland, E.J., Williams M.L. (2011). Recent evidence concerning higher NOx emissions from passenger cars and light duty vehicles. *Atmospheric Environment* 45, 7053-7063.
- European Commission (2008): Directive Air Quality 2008/50/EC.
- European Environmental Agency (2007). Report no. 2/2007, EEA, Copenhagen.
- Harrison, R., (2004): Key Pollutants – airborne particles. *Sci. Tot Environ.* 334-335, 3-8.
- Kelly, F.J., Fuller G.W., Walton, H.A., Fussell, J.C. (2012). Monitoring air pollution: Use of early warning systems for public health. *Respirology* 17, 7-19.
- Lamarque, J.F., Bond, T.C., Eyring, V. et al. (2010): Historical (1850-2000) gridded anthropogenic and biomass burning emissions of reactive gases and aerosols: methodology and application. *Atmos. Chem. Phys.* 10, 7017-7039.
- Maas, R., Fischer, P., Wesseling, J. en F. Cassée (2015): Gezondheidswinst door betere luchtkwaliteit. *Tijdschrift Lucht* n. 4, 8-11.
- Monks, P.S., Granier, C., Fuzzi, S., et al . (2009): Atmospheric composition change: Global and regional air quality. *Atmospheric Environment* 43, 5268-5350.
- Pfeffer, U., Zang, T., Rumpf, E.M., Zang, S.(2010). Calibration of diffuse samplers for nitrogen dioxide with the reference method – Evaluation of measurement uncertainty. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 70, 500-506.
- RIVM app (2015). App MijnLuchtkwaliteit. <https://itunes.apple.com/nl/app/mijn-luchtkwaliteit/id1038092081>

Smith, S.J., Aardenne, J. van, Klimont, Z., Andres, R.J., Volke, A., Delgado Arias, S. (2011). Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850-2005. Atmos. Phys. Chem. 11, 1101-1116.

Stern, N. (2006): Stern Review Report on the economics of Climate Change. HM Treasury. http://www.hm-treasury.gov.uk/d/closed_short_executive_summary.pdf.

Volz, A., Kley, D., (1988). Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the 19th century. Nature 332, 240-242.

WHO (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. Technical Report. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 LG Petten

T 088 515 4949
F 088 515 8338
info@ecn.nl
www.ecn.nl

