

Fijnstof bronnen in en rondom woningen

Mensen zijn meer dan 90% van de tijd binnen, waarvan een groot deel in hun eigen woning. Dit artikel beschrijft de resultaten van onderzoek naar de concentratie van PM_{2.5} fijnstof in 9 woningen. In 2016 heeft TNO onderzoek gedaan naar fijnstof in woningen in het kader van het Technologiecluster Effectieve en energiezuinige Afzuigkappen. Dit onderzoek was toegespitst op het bepalen van de blootstelling in woningen aan PM_{2.5} fijnstof ten gevolge van koken. Echter, tijdens het onderzoek zijn ook andere fijnstofbronnen geïdentificeerd, zoals houtrook. De hoogste concentraties fijnstof waren geassocieerd met kookactiviteiten, daarna volgden gebruik van cosmetica, vuurwerk, een vuurkorf in de achtertuin en terugslag van rook uit een houtkachel. Opvallend was dat het vaak enkele uren duurde voordat de concentratie fijnstof weer op het achtergrondniveau terug was gekeerd.

Ir. P. (Piet) Jacobs PdEng, onderzoeker energie, comfort en binnenmilieu, TNO

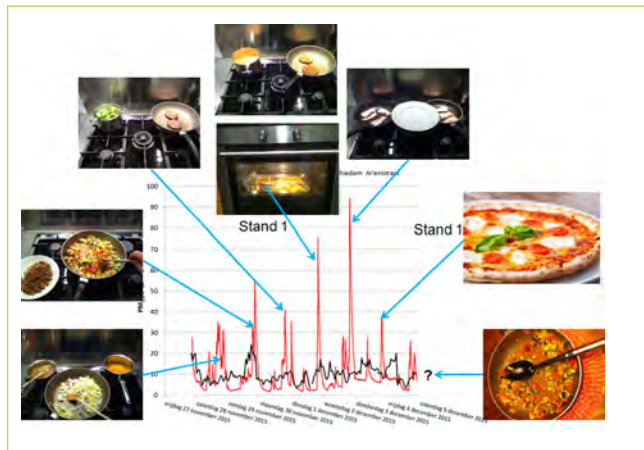
In de woonkamer/keuken van 9 woningen is gedurende een week fijnstof gemeten met optische deeltjestellers. In de woningen werd niet gerookt. Om het effect van open ramen uit te sluiten zijn de metingen in het stookseizoen verricht in de periode 4 december 2015 tot en met 23 februari 2016. In de meetcampagne zijn twee optische deeltjestellers gebruikt: een Grimm 11R en een Grimm 1.109. De optiek van deze twee instrumenten is identiek en voldoet aan de eisen uit het meetprotocol fijnstof bepaling in kantoren [1]. Voorafgaand aan het onderzoek zijn de twee deeltjestellers met elkaar vergeleken en bleek dat ze minder dan 5% van elkaar afwijken. Een van de deeltjestellers was voorzien van een temperatuur en relatieve vochtigheidssensor. De deelnemers aan het onderzoek waren geïnstrueerd om foto's te maken met hun

smarttelefoon tijdens het koken. Dit maakte het mogelijk om de met de deeltjestellers gevonden momenten met verhoogde fijnstofconcentratie, 'fijnstof pieken' te koppelen met koken. Daarnaast waren ook andere pieken te zien. Na afloop van de meting is zoveel mogelijk getracht om samen met de deelnemers de herkomst van deze pieken te achterhalen. Meer informatie over het type woningen, de grootte van de woonkamers/keukens, type ventilatiesysteem en ventilatiedebiet is gegeven in [2]. In dit artikel worden de resultaten de meetcampagne beschreven met de nadruk op drie woningen die in meer detail worden beschreven. In de eerste woning was een houtkachel aanwezig. In de tweede woning werd binnen het effect van vuurwerk tijdens de jaarwisseling vastgesteld en in de derde was sprake van een vuurkorf buiten in de tuin. Daarnaast

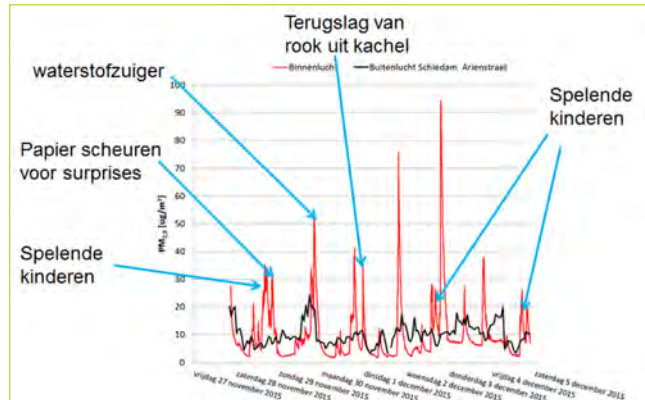
worden de resultaten gegeven van een vergelijking tussen een low-cost-deeltjessensor en een geavanceerde 31-kanaals-deeltjessensor.

■ HOUTKACHEL

In een van de woningen was een houtkachel (Stuv 30 up) aanwezig. In figuur 1a wordt een aantal pieken op basis van het tijdstip geïdentificeerd als kookpieken. De hoogste piek wordt veroorzaakt door pannenkoeken met spek bakken. Maar ook vegetarische burgers en groenten wokken veroorzaakt fijnstof. De concentraties zijn fors hoger dan de buitenconcentratie. Figuur 1b laat een aantal andere bronnen van fijnstof zien. Interessant is de piek ten gevolge van terugslag van rook uit de kachel. De gesloten kachel was uit gegaan, vervolgens wilde de bewoner er nieuw hout opleggen. Hierbij trad echter terugslag op van



-Figuur 1- Woning Delft 1, rode lijn: $PM_{2.5}$ in woonkamer eengezinswoning gerelateerd aan de gekookte maaltijden, zwarte lijn: $PM_{2.5}$ in buitenlucht (meetstation Arienstraat, Schiedam).



-Figuur 1b- Fijnstof ten gevolge van andere bronnen

JAARWISSELING

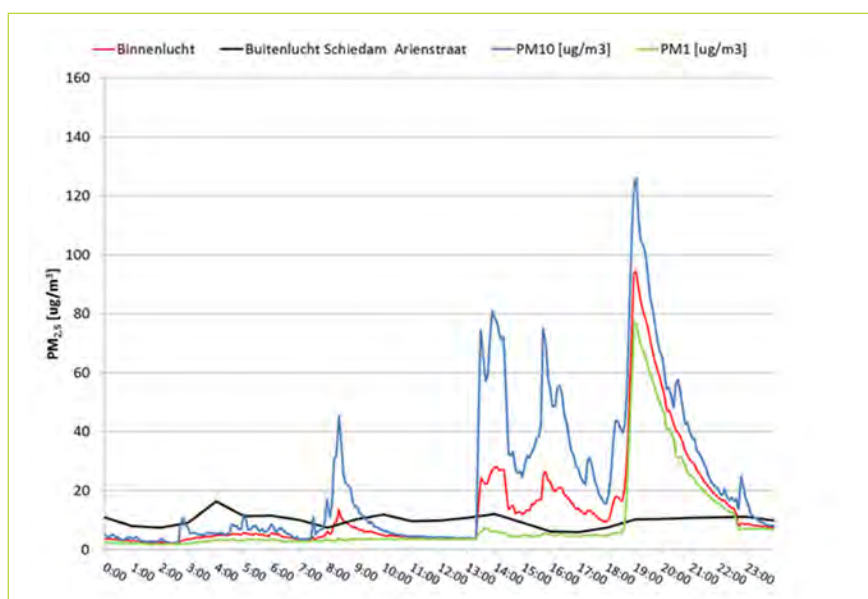
Figuur 3 laat de concentratie fijnstof zien in een eengezinswoning in den Haag rond de jaarwisseling. De woning is uitgevoerd met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. Direct na middernacht is de 'vuurwerk' piek duidelijk zichtbaar. Deze wordt veroorzaakt door infiltratie van fijnstof uit de buitenlucht. Echter, gourmetten veroorzaakt de hoogste piekconcentratie. Alle drie de pieken bestaan voor het merendeel uit PM_{10} .

VUURKORF

Het laatste voorbeeld is een vrijstaande woning in Etten Leur. Hier is bij wijze van proef een vuurkorf in de tuin ontstoken. Enkele minuten daarna is fijnstof in de woning waarneembaar. Figuur 4 laat het verloop van deeltjesaantallen van een viertal deeltjesgrootten in de tijd zien. Uit deze figuur is af te leiden dat vuurkorf zeer klein fijnstof genereert. De piekconcentratie $PM_{2.5}$ bedroeg $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ook duurt het hier weer enkele uren voordat het fijnstof is verdund.

MAXIMUM CONCENTRATIES

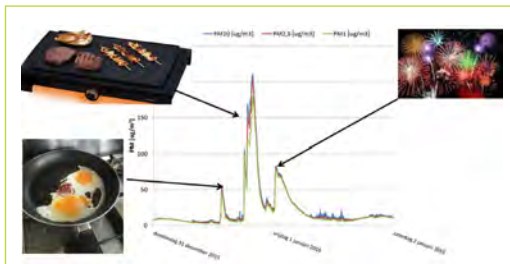
Tabel 1 geeft de maximum gemeten concentraties tijdens de meetcampagne weer voor een aantal geïdentificeerde bronnen. Fijnstofpieken ten gevolge van naburige kachels zijn, mogelijk ook door de onderzoekopzet, niet waargenomen. De concentraties zijn naast de bronsterkte ook afhankelijk van de grootte van het volume van de woonkamer/keuken. Een groter volume zal in een lagere concentratie resulteren. Echter, het zal dan ook langer duren om de concentratie weer tot het achtergrondniveau te verdunnen. Grosso modo is de blootstelling, concentratie maal tijdsduur, gelijk. Bewonersgedrag heeft grote invloed op de vorming, inname en verspreiding van fijnstof. Een voorbeeld hiervan is dat de hoogste concentratie fijnstof werd veroorzaakt door het in roomboter bakken van pannenkoeken met spek. Roomboter heeft een rookpunt van 150°C . Bij het pannenkoeken



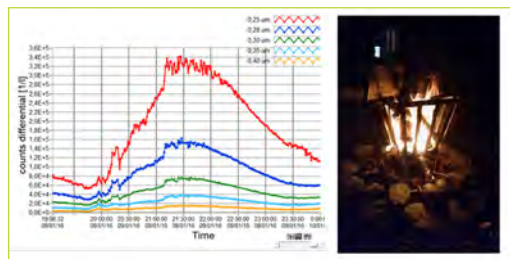
-Figuur 2- Woensdag 2 december 2015 woning Delft 1 pannenkoeken met spek, groene lijn PM_1 in woonkamer, rood $PM_{2.5}$ en blauw PM_{10} , zwarte lijn: $PM_{2.5}$ in buitenlucht (meetstation Arienstraat, Schiedam)

rook. Gedurende de rest van de week werd de kachel wel gestookt maar trad er geen terugslag op. De woensdag dat spekpannenkoeken zijn gebakken is in figuur 2 verder uitgelicht. Naast $PM_{2.5}$ zijn ook PM_{10} en PM_1 , de massaconcentraties (Particulate Matter) tot respectievelijk 1 en 10 μm afgebeeld. Duidelijk te zien is dat de kookpiek in de avond voor het grootste deel uit deeltjes kleiner dan $1 \mu\text{m}$ (PM_1) bestaat. Bij activiteiten zoals opstaan rond 8 uur in de ochtend en spelende kinderen in de middag wordt voornamelijk grover stof PM_{10} opgeweeld. $PM_{2.5}$ en met name PM_1 neemt nauwelijks toe. Op deze manier kan via de deeltjesgrootteverdeling vaak een inschatting worden gemaakt van wat de bron van de deeltjes is. In de nacht is de binnenconcentratie $PM_{2.5}$ lager dan buiten. Dit is het gevolg van filtering van de toevoerlucht met een M6-filter en

van adsorptie van deeltjes aan oppervlakken. Tijdens en na het koken is de binnenconcentratie $PM_{2.5}$ tot een factor 10 hoger dan de buitenconcentratie. Opvallend is dat het ongeveer 4 uur duurt voordat de binnenconcentratie weer tot het normale niveau is afgenomen. In dit geval als de bewoners naar bed gaan is de lucht in de woonkamer weer schoon. Deze langzame afname kan worden verklaard uit de verhouding van het volume van de keuken/woonkamer (123 m^3) ten opzichte van het ventilatie-debiet na het koken in de laagstand van circa $70 \text{ m}^3/\text{uur}$. Daarnaast is er nog sprake van infiltratie. De totale luchtverversing wordt geschat op $85 \text{ m}^3/\text{uur}$. Het ventilatievoud bedraagt dan 0,7 per uur. Om 95% van de verontreiniging weg te verdunnen is het noodzakelijk om de ruimte drie maal te doorspoelen. Dit duurt ruim 4 uur.



-Figuur 3- Woning Den Haag, fijnstof in woonkamer/keuken ten gevolge van gebakken ei met spek en gourmetten vergeleken met infiltratie van fijnstof ten gevolge van vuurwerk buiten



-Figuur 4- Fijnstof deeltjesaantallen bij woning met vuurkorf in de tuin, de vuurkorf is om 20.00 uur aangestoken

Koken	2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Haarlak	140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Deodorant spray	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Vuurwerk in de buitenlucht	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Kaarsen	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Spelende kinderen	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Terugslag van rook uit een kachel	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Vuurkorf in de achtertuin	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

-Tabel 1- Maximum concentratie $\text{PM}_{2.5}$ fijnstof in 9 woningen gedurende 1 week

bakken treden temperaturen op ruim boven 200 °C. Het is dan beter om bijvoorbeeld olijfolie toe te passen wat een rooktemperatuur heeft van 230 °C. Daarnaast blijkt uit onderzoek in het TNO laboratorium dat het gebruik van kwalitatief goede afzuigkappen [3] voor een veel lagere blootstelling aan fijnstof kan zorgen. In de veldstudie was dit ook waarneembaar. Bij de woningen met afzuigkappen met directe afvoer naar buiten was de blootstelling aan $\text{PM}_{2.5}$ fijnstof tussen 18.00 en 23.00 uur met minder dan 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ verhoogd. In woningen met motorloze afzuigkappen aangesloten op het ventilatiesysteem zijn verhogingen in de ordegrootte van 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemeten. Omdat koken een dagelijks terugkerende activiteit is kan dit een forse bijdrage leveren aan de jaargemiddelde blootstelling. De World Health Organisation (WHO) heeft voor $\text{PM}_{2.5}$ fijnstof een jaargemiddelde

advieswaarde van 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ uitgebracht. Deze waarde is gebaseerd op epidemiologisch onderzoek gerelateerd aan fijnstof in de buitenlucht. In welke mate fijnstof ten gevolge van koken en de andere geïdentificeerde bronnen schadelijk ten opzichte van fijnstof in de buitenlucht is, vereist nader onderzoek.

NIEUWE SENSOREN

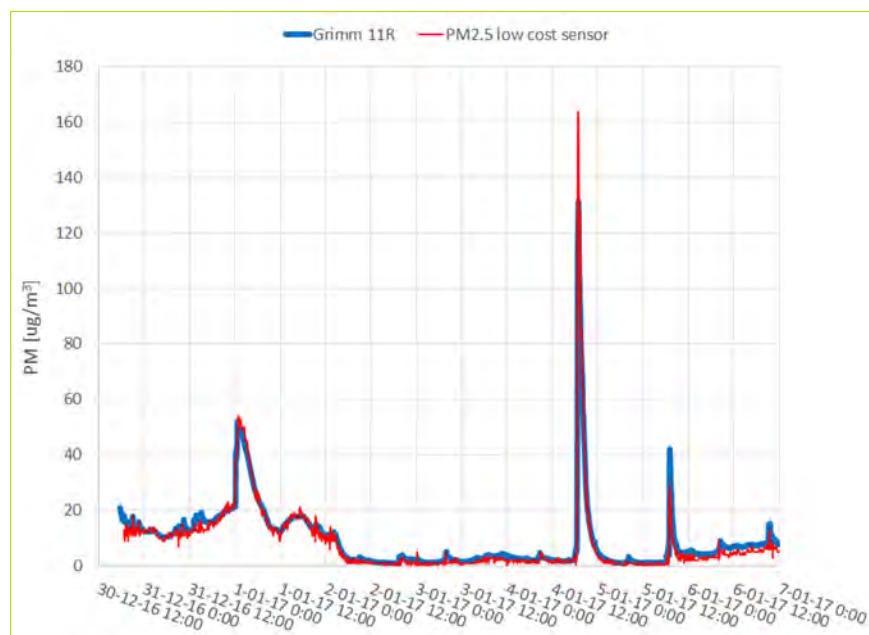
Recente studies door Logue [4] laten zien dat fijnstof het belangrijkste gezondheidsrisico in het binnenmilieu is en koken hiervan een belangrijke bron kan vormen. Fijnstofmetingen waren altijd lastig vanwege de hoge kosten van de apparatuur. De apparatuur die is getest voor het Meetprotocol fijnstofbepaling in kantoren [1] kost tussen 5.000 en 15.000 euro. Recent is er een aantal goedkopere fijnstofsensoren op de markt gekomen. Een van deze sensoren is gedurende 10 dagen in de woonkamer van een eengezinswoning vergeleken met een geavanceerde 31 kanaal Grimm 11R optische deeltjes teller. Figuur 5 laat zien dat er een vrij goede overeenstemming is tussen de low-cost-sensor (Airvisual) en de Grimm 11R. In de dagen rond de jaarwisseling was er sprake van een verhoogde buitenconcentratie met een piek direct na de jaarwisseling. De meetresultaten in deze periode komen zeer goed met elkaar overeen. De pieken op 4 en 5 januari zijn afkomstig van het bakken van pannenkoeken met spek en wokken van groente. De low-cost-sensor geeft respectievelijk een 12% hogere en 42% lagere $\text{PM}_{2.5}$ waarde dan de Grimm aan. Bij een meting naar kookemissies ten gevolge van het bakken van hamburgers onder gecontroleerde condities in het TNO-lab gaf

de low-cost-sensor een 58% hogere waarde aan dan de Grimm. Het is nog onduidelijk of de afwijkingen een gevolg zijn van variaties in het luchtdebiet of een gevolg zijn van een minder nauwkeurige berekening van de massa op basis van het aantal beschikbare kanalen voor deeltjesgrootten. Bijvoorbeeld, indien een deeltje van 0,35 μm wordt geclassificeerd als een deeltje van 0,30 μm dan kan dit tot een overschatting van 59% van de massa leiden: $(0,35/0,3)^3 = 1,59$. Uit dit beperkte onderzoek blijkt dat de low-cost-sensor in ieder geval geschikt is voor het signaleren van verhoogde concentraties $\text{PM}_{2.5}$ in de binnenlucht.

LITERATUUR

- Jacobs P., $\text{PM}_{2.5}$ meetprotocol voor kantoren, TVVL Magazine 04, 2015.
- Jacobs P, Borsboom W., Kemp R., $\text{PM}_{2.5}$ in Dutch dwellings due to cooking, 37th AIVC conference Alexandria (VS), 2016.
- Jacobs P., Cornelissen E, Borsboom W., Energy efficient measures to reduce $\text{PM}_{2.5}$ emissions due to cooking, Indoor Air Conference Gent, 2016.
- Logue M.L, Price P.N, Sherman M.H, Singer B.C. A Method to Estimate the Chronic Health Impact of Air Pollutants in U.S. Residences, Environmental Health Perspectives 120(2): 216-222, 2012.
- Borsboom W., Gids W., Logue J. Sherman M., Wargocki P. Technote AIVC 68 Residential ventilation and health, ISBN: 2-930471-46-8, 2016.

Dank aan de B.J. Max stichting voor de ondersteuning van dit artikel.



-Figuur 5- Vergelijking $\text{PM}_{2.5}$ gemeten door Grimm 11R en een low-cost-sensor in een woonkamer