

Leeghwaterstraat 44  
2628 CA Delft  
Postbus 6012  
2600 JA Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 22 00

## TNO-rapport

**TNO 2020 R10627**

# Openbaar eindrapport TKI Be Aware Bewustwording van binnenluchtkwaliteit in woningen: bronnen en effectieve energie- efficiënte interventie strategieën

Datum	20 april 2020
Auteur(s)	ir. P. Jacobs ir. E.C.M. Hoes - van Oeffelen ing. O. Vijlbrief ing. W. Kornaat
Aantal pagina's	148 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	9
Opdrachtgever	TKI Urban Energy Project nr. 1621201 Penvoerder TNO Partners: Eneco Quby Philips Longfonds ISSO Dominus b.v.
Projectnaam	TKI Be Aware
Projectnummer	060.29734

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

## Samenvatting

De binnenluchtkwaliteit in woningen laat vaak te wensen over. Naarmate woningen energiezuiniger zijn, neemt het risico op een slechte binnenluchtkwaliteit toe. Het draagvlak voor de transitie naar energiezuinige woningen neemt hierdoor af. Inzicht over bronnen van vervuiling en passende energiebesparende interventies ontbreekt. De doelstelling van het Be Aware project is om inzicht te krijgen in de fundamentele aspecten die de binnenluchtkwaliteit bepalen, op basis van monitoringsdata automatisch bronnen van binnenluchtvervuiling te identificeren en passende energie-efficiënte interventies te bieden.

### **Metingen in 1000 woningen**

Het TKI project Be Aware bouwt voort op een meetcampagne ten aanzien van de binnenluchtkwaliteit (temperatuur, fijnstof, CO<sub>2</sub> en RV) in 1000 woningen die door het Inhome Air Quality Consortium is gestart in september 2017. Het Inhome Air Quality Consortium bestaat uit Philips, Eneco, Quby, Longfonds en de coalitie Awaire, bestaande uit het kennisinstituut ISSO en afgevaardigde partijen uit de ventilatie-industrie. Deze partijen zijn allen partner in dit TKI project. Initieel zouden de metingen lopen van september 2017 t/m maart 2018. Op advies van TNO zijn deze metingen echter uitgebreid tot oktober 2018, om zo een volledig jaar te kunnen analyseren. Binnen deze meetperiode zijn door Blauw Research meerdere keren enquêtes afgenomen bij de bewoners om hun ervaringen met de binnenluchtkwaliteit in kaart te brengen en een beeld te krijgen van de woningkenmerken en het gedrag van de bewoners. Bij aanvang van de meting waren in 859 woningen sensoren geplaatst. Nadat de sensordata op betrouwbaarheid is gecontroleerd, blijven voor de winterperiode, de zomerperiode en het volledige jaar respectievelijk 285, 137 en 101 woningen over. Ondanks de afname van het aantal woningen in de dataset blijkt op basis van 16 woning- en bewonerskenmerken de resulterende dataset op 2 kenmerken na nog steeds representatief te zijn voor de initiële dataset.

### **Overschrijding advieswaarden PM<sub>2.5</sub> fijnstof**

Uit literatuuronderzoek blijkt dat wat betreft de ziektelast veroorzaakt door binnenmilieu factoren PM<sub>2.5</sub> fijnstof dominant is. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) heeft aangegeven dat de advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub> van 10 µg/m<sup>3</sup> jaargemiddeld ook van toepassing is voor binnenruimtes<sup>1</sup>. De jaargemiddelde PM<sub>2.5</sub> concentratie in de woonkamer/keuken van de bemeeten woningen bedraagt 8,2 µg/m<sup>3</sup>. In 15% van deze woningen is de jaargemiddelde concentratie hoger dan de WHO jaargemiddelde advieswaarde. De concentratie op basis van aanwezigheid in de woonkamer/keuken is hoger, zie Tabel 1-1. Aangezien dit alleen de blootstelling bij aanwezigheid betreft, zijn deze waarden niet te vergelijken met de WHO jaargemiddelde advieswaarde.

---

<sup>1</sup> WHO Guidelines for indoor air quality, Selected pollutants, 2010, p. 4.

Tabel 1-1 PM<sub>2.5</sub> concentratie in de woonkamer/keuken op basis van 24 uur gemiddelde en op basis van aanwezigheid.

Binnenluchtconcentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		Winterperiode N=268	Zomerperiode N=131	Gehele jaar N=101
24 uur		9,0	8,1	8,2
Aanwezigheid obv CO <sub>2</sub>		10,0	8,6	8,9
Aanwezigheid obv tijd <sup>a</sup>		12,7	9,4	10,4

<sup>a</sup> Weekdagen tussen 18 en 23 uur, weekend tussen 10 en 14 uur en tussen 18 en 24 uur.

Voorgaand overschrijdingspercentage betreft de gemiddelde concentratie zoals deze is gemeten met de AirVibe sensor. Uit diverse onderzoeken is bekend dat fijnstof meters gebaseerd op optische meetprincipes in geval van koken als bron van fijnstof de concentratie onderschatten. In een simulatie is hiervoor gecorrigeerd. Dit leidt tot de situatie dat in bijna 50% van de woningen de jaargemiddelde WHO advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub> wordt overschreden.

De daggemiddelde advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub> van de WHO van 25 µg/m<sup>3</sup>, wordt ruim 10 dagen per jaar overschreden (ongecorrigeerd). Echter de spreiding is groot, er zijn woningen waarin deze waarde geen enkele dag wordt overschreden en woningen waar dit vaker dan 35 dagen per jaar voorkomt.

### Bronnen fijnstof

Op basis van zowel het aantal emissies als de bronsterkte blijkt koken de grootste binnenbron van PM<sub>2.5</sub> fijnstof te zijn. De meeste emissies vinden plaats tussen 18 en 20 uur. Gemiddeld bedraagt in het stookseizoen de bijdrage van de binnenbronnen 41%, met een spreiding tussen 0 en bijna 100%. De infiltratiefactor, het effect van de buitenconcentratie op de binnenconcentratie, is gemiddeld 0,52. Dit betekent dat bij afwezigheid van binnenbronnen, een buitenconcentratie van 11.5 µg/m<sup>3</sup> (gemiddelde waarde voor Nederland) leidt tot een binnenconcentratie van 6 µg/m<sup>3</sup>. De gemiddelde infiltratiefactor is vergelijkbaar met andere in de literatuur gerapporteerde onderzoeken.

### Overschrijding advieswaarden koolstofdioxide

Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) wordt als marker gebruikt voor de binnenluchtkwaliteit in woningen. Voor CO<sub>2</sub> wordt door de Gezondheidsraad<sup>2</sup> een advieswaarde van 1200 ppm gehanteerd. Gemiddeld komt de concentratie in de woonkamer in de winter 4 uur per week boven de 1200 ppm. Uit het onderzoek Landelijke monitoring<sup>3</sup> blijkt dat in circa 60% van de ruim 1200 woonkamers in het stookseizoen 2004/2005 de CO<sub>2</sub> concentratie voor kortere of langere tijd hoger was dan 1200 ppm. In de woningen waar dit het geval was, is dit gemiddeld 14 uur per week het geval. In het TKI project Monicair is in het stookseizoen van 2012/2013 in 62 woningen gemeten en was het aantal overschrijdingsuren in de woonkamer gemiddeld 11 uur per week. In Be Aware is het aantal CO<sub>2</sub> overschrijdingsuren dus duidelijk minder. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat plaatsing van de AirVibe sensor tot bewustwording en een beter ventilatiegedrag heeft geleid.

<sup>2</sup> Gezondheidsraad, Binnenluchtkwaliteit in basisscholen en de waarde van kooldioxide als indicator voor luchtkwaliteit, 2010.

<sup>3</sup> Dongen en Vos, Landelijke Monitoring, 2007.

### **Interventiestrategieën fijnstof**

Voor maatregelen ten behoeve van de reductie van fijnstof wordt bij voorkeur de arbeidshygiënische prioritering toegepast: als eerste stap worden bronnen weggenomen, als dat niet mogelijk is wordt in de tweede stap compartimentering en bronafzuiging toegepast, en dan pas wordt als derde stap de verontreiniging met ventilatie of filtering verdund. De bronaanpak zorgt voor 100% effectiviteit. Denk hierbij aan stoppen met roken, stoppen met koken op gas en stoppen met het branden van kaarsen in huis. Compartimentering en bronafzuiging kan bij goede uitvoering ook voor 100% effectiviteit zorgdragen. Dit is echter wel veel gevoeliger voor bewonersgedrag. Verdunning met ventilatie is bij fijnstof weinig effectief en zorgt vaak voor discomfort en extra energiegebruik. Filtering heeft deze nadelen minder. In de literatuur wordt aangegeven dat de plaatsing of verbetering van luchtfilters in het ventilatiesysteem of plaatsing van stand-alone luchtreinigers een kosteneffectiviteit heeft van meer dan een factor  $10^4$ . Dat wil zeggen dat de gezondheidswinst uitgedrukt in euro's een factor tien zo groot is als de kosten van de maatregel.

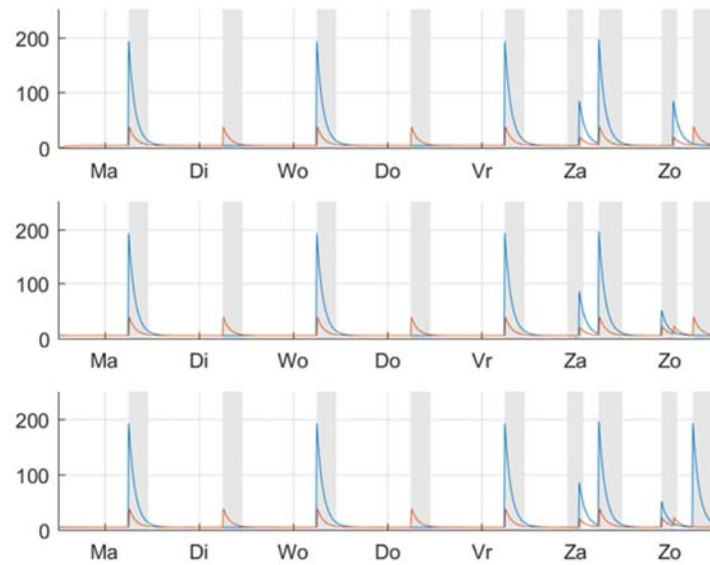
Om de effectiviteit van maatregelpakketten te bepalen zijn op basis van de meetdata uit dit project emissieprofielen opgesteld. De emissieprofielen zijn gebaseerd op de meetdata van woningen die geen adequate kookafzuiging hebben, omdat de berekende kookemissies voor deze woningen het meest representatief zijn. In woningen met een afzuigkap worden kookemissies immers (deels) direct naar buiten afgevoerd. Uit de enquêtes blijkt dat in 48 van de 285 woningen geen adequate kookafzuiging aanwezig is. Voor deze woningen zijn op basis van de emissiesterkte en de emissiefrequentie in de winterperiode 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentiel<sup>5</sup> emissieprofielen afgeleid, zie Figuur 1-1. De verhouding tussen het aantal emissies bij ontbijt, lunch en diner bedraagt ongeveer 1 : 3 : 10. Hierbij wordt opgemerkt dat met name bij de bereiding van het avondeten concentraties kunnen ontstaan die veel hoger zijn dan de jaargemiddelde buitenconcentratie die in Nederland momenteel circa  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bedraagt.

De fijnstof emissie tussen 21 en 24 uur in woningen waar door de bewoners is aangegeven dat kaarsen worden gebrand is significant verschillend ten opzichte van woningen waarin dit niet het geval is. Deze emissies ten gevolge van kaarsen zijn in onderstaand emissiepatroon niet meegenomen om het opstellen van het emissiepatroon te vereenvoudigen.

---

<sup>4</sup> Fisk W.J., Chan W.R., Effectiveness and cost of reducing particle-related mortality with particle filtration, Indoor Air, 2017

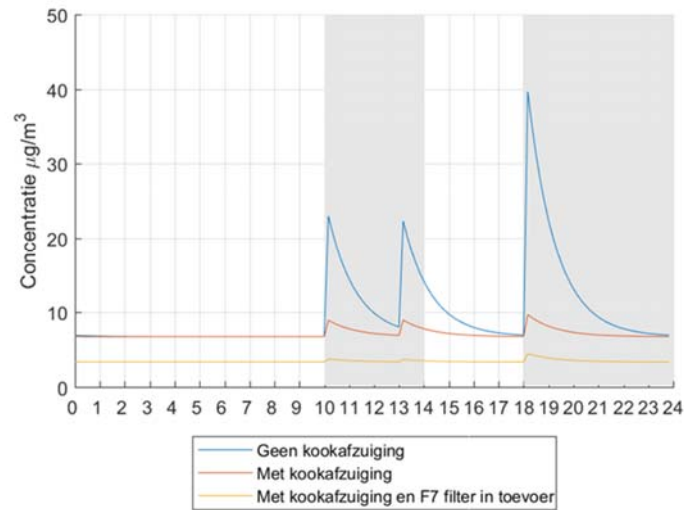
<sup>5</sup> 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentiel: in respectievelijk 50% en 90% van de woningen zijn de emissies kleiner of gelijk aan het getoonde emissiepatroon en in respectievelijk 50% en 10% van de woningen is de emissie groter dan het getoonde emissiepatroon.



Figuur 1-1 resulterende PM<sub>2.5</sub> concentratie bij het 50<sup>e</sup> (rood) en 90<sup>e</sup> (blauw) percentiel emissiepatroon in de woonkamer/keuken gedurende drie weken; de tijdsperiodes die voor aanwezigheid in de woonkamer/keuken zijn aangehouden zijn grijs gearceerd.

### Simulaties effect interventiestrategieën

Vervolgens zijn met deze emissieprofielen voor verschillende buitenluchtconcentraties, type ventilatiesysteem en woningluchtdichtheden COMIS simulaties uitgevoerd om het effect van maatregelen te kwantificeren. Met name bij lage buitenconcentraties is het effect van kookafzuiging groot op de fijnstof concentratie in de woonkamer. Dit is in versterkte mate bij het 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon zichtbaar. Dit is een gevolg van het feit dat in de simulaties de binnenbronnen voor het merendeel worden veroorzaakt door kookemissies. Bij hogere buitenconcentraties worden luchtreinigers effectiever omdat deze ook fijnstof ten gevolge van infiltratie van buitenlucht wegfilteren. Voor een woning met ventilatiesysteem D (balansventilatie met warmteterugwinning) zorgt kookafzuiging en de combinatie kookafzuiging met een F7 (ISO ePM<sub>2.5</sub> - 70%) filter in de ventilatieunit bij een 50<sup>e</sup> percentiel emissieprofiel voor respectievelijk 45% en 73% reductie tijdens de aanwezigheidsperiode in de woonkamer/keuken, zie Figuur 1-2.



Figuur 1-2 systeem D, 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon, verloop van de concentratie in de tijd, de grijze blokken geven de periode aan dat is aangenomen dat mensen in de woonkamer/keuken aanwezig zijn (zondag, week 3).

Daarna zijn de simulatieresultaten voor de concentratie fijnstof in de woonkamer tijdens aanwezigheid gecombineerd met typische scenario's voor het verblijf van mensen om tot een typische weekgemiddelde blootstelling te komen. Hierbij is een vast verblijfsscenario aangehouden voor de tijdsperiode dat personen in de woonkamer, in de slaapkamer, in de buitenlucht of op het werk verblijven. In Tabel 1-2 worden de resultaten voor de weekgemiddelde blootstelling aan fijnstof voor het 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon gegeven bij verschillende buitenluchtconcentraties. Uit simulaties blijkt dat de combinatie kookafzuiging met decentrale luchtreinigers in de verblijfsruimten de grootste reductie van de blootstelling geeft, namelijk 65% bij een buitenluchtconcentratie van 11,5 µg/m<sup>3</sup> (de gemiddelde buitenluchtconcentratie in Nederland). Dit komt omdat met deze combinatie zowel kookemissies als diffuse buitenlucht infiltratie door naden en kieren wordt aangepakt. Ook wordt door de luchtreiniger het gedeelte fijnstof wat bij de kookafzuiging ontsnapt afgevangen. Voordeel van deze interventiestrategie is ook dat deze bij alle ventilatiesystemen, zelfs in woningen zonder ventilatiesysteem (systeem A), kan worden toegepast. Nadeel van deze combinatie is dat het een relatief dure oplossing is, bestaande uit minimaal twee luchtreinigers, waarvan één in de woonkamer/keuken en de andere(n) in de slaapkamer(s). Ook het elektrische energiegebruik van dit scenario is met ruim 2 kWh per dag relatief hoog. Dit kan naar circa 1 kWh worden gereduceerd door vraagsturing toe te passen met in de luchtreinigers geïntegreerde fijnstof sensoren.

Tabel 1-2 weekgemiddelde blootstelling bij drie buitenluchtconcentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $q_{v,10}$  van 80 dm<sup>3</sup>/s en 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon

Buitenluchtconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1		11,5		22	
Blootstelling volgens scenario	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	redu	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie
		ctie				
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>3,0</b>		<b>7,4</b>		<b>11,8</b>	
C, met kookafzuiging	0,7	76%	5,3	29%	9,8	17%
C, met luchtreinigers in verblijfsruimten	0,9	70%	3,2	57%	4,7	60%
C, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,4	86%	2,6	65%	4,7	60%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>2,5</b>		<b>8,2</b>		<b>13,8</b>	
D, met kookafzuiging	0,8	67%	6,6	20%	12,3	11%
Idem + F7 filter in toevoer	0,6	75%	4,3	48%	8,0	43%
D, met luchtreinigers in verblijfsruimten	1,0	58%	3,8	54%	6,5	53%
D, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,5	80%	3,3	60%	6,0	56%
Idem + F7 filter in toevoer	0,4	83%	2,5	62%	4,6	67%

De combinatie kookafzuiging en een F7 filter in de luchttoevoer is alleen in woningen met balansventilatie (systeem D) toe te passen. Het is een relatief goedkoop, energiezuinig concept. In doorsnee woningen is de totale blootstellingsreductie 48%, in zeer luchtdichte ( $q_{v,10} \leq 20$  dm<sup>3</sup>/s) woningen zelfs 58%. Het warmteverlies ten gevolge van ventilatie en infiltratie is bij toepassing van dit concept een factor 7 lager dan bij een vergelijkbare zeer luchtdichte woning uitgerust met ventilatie systeem C. Het energiegebruik is laag vanwege warmteterugwinning uit de ventilatielucht en omdat ook de kookwarmte wordt teruggewonnen. In het TKI project VentKook is met dit concept de NeroZero demowoning ontwikkeld. Gezien de potentie, energiebesparing en verbetering luchtkwaliteit, is de aanbeveling om de combinatie van geïntegreerde kookafzuiging in balansventilatie met WTW met F7 fijnstof filtering verder uit te ontwikkelen tot een breed toepasbaar concept voor nieuwbouwwoningen en renovatie.

### Algoritmen

Vergeleken met eerdere studies is Be Aware zowel wat betreft schaalgrootte als de meetduur veel grootschaliger. Dit maakt het noodzakelijk om automatisch werkende algoritmen te ontwikkelen voor de data analyse. De ontwikkelde algoritmen kunnen ingezet worden voor automatische piekdetectie, bepalen van bronsterkte, automatische ruimtedetectie en brondetectie wat betreft koken op gas en kaarsen. Bedrijven kunnen hiermee op termijn nieuwe producten en diensten ontwikkelen die inspelen op de bewustwording van de consument, waarmee deze gerichte interventies kunnen plegen om het binnenklimaat te verbeteren.

### Aanbevelingen

Simulaties op basis van grootschalige monitoringsdata geven aan dat adequate kookafzuiging de totale PM<sub>2.5</sub> fijnstof blootstelling met 20 – 29% kan verlagen. Aanbevolen wordt om in bestaande woningen dergelijke kookafzuiging te combineren met decentrale luchtreinigers. Met deze combinatie kan de totale PM<sub>2.5</sub> fijnstof blootstelling zelfs met 65% worden gereduceerd. Om brede toepassing van deze kookafzuiging in energiezuinige woningen mogelijk te maken is het noodzakelijk dat de bouwregelgeving wordt herzien en aanvullende eisen worden gesteld, waardoor in de keuken 300 m<sup>3</sup>/uur toevoer- en afzuigcapaciteit beschikbaar is. Indien dergelijke kookafzuiging wordt gecombineerd

met een F7 filter in de luchttoevoer van woningen voorzien van balansventilatie kan de PM<sub>2.5</sub> fijnstof blootstelling met 48% en in zeer luchtdichte woningen zelfs met 58% worden gereduceerd (zonder toepassing van luchtreinigers). Energiebesparing en een gezond leefmilieu gaan hierbij hand in hand.

Om het effect van de verschillende interventies te kunnen toetsen, zou het wenselijk zijn een interventiestudie uit te voeren, waarbij de luchtkwaliteit bij meerdere huishoudens zowel voor als na de interventie langdurig wordt gemeten.

*Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.*



# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>11</b>
1.1	Aanleiding en probleemstelling.....	11
1.2	Doelstelling .....	12
1.3	Werkwijze .....	12
1.4	Gegevens project.....	13
<b>2</b>	<b>Dataverzameling (WP 1).....</b>	<b>14</b>
2.1	Werving deelnemers en plaatsing sensoren .....	14
2.2	Meetdata en enquêtes .....	15
2.3	Controle datakwaliteit .....	16
2.4	Representativiteit dataset .....	20
2.5	Beschrijving database .....	21
<b>3</b>	<b>Bronanalyse (WP 2).....</b>	<b>22</b>
3.1	Literatuuronderzoek.....	22
3.2	Detail analyse bron herkenning .....	22
3.3	Statistische analyse binnenluchtvervuiling .....	23
3.4	Effect gravimetrische kalibratiefactor.....	26
<b>4</b>	<b>Interventiestrategieën (WP 3).....</b>	<b>28</b>
4.1	Interventiestrategieën en selectie maatregelen.....	28
4.2	Emissieprofielen .....	31
4.3	Effect interventies op concentratie PM <sub>2.5</sub> .....	35
4.4	Effect interventies op ventilatie warmteverlies .....	38
4.5	Conclusie interventiestrategieën .....	39
<b>5</b>	<b>Algoritme ontwikkeling (WP 4).....</b>	<b>40</b>
5.1	Inleiding .....	40
5.2	Algoritmes controleren datakwaliteit.....	40
5.3	Algoritme herkennen binnenbronnen fijnstof.....	40
5.4	Algoritme herkennen fijnstof emissies ten gevolge van koken.....	40
5.5	Algoritme herkennen fijnstof emissies ten gevolge van het branden van kaarsen ..	42
5.6	Algoritme correctie piekconcentratie indien fijnstof sensor dicht op een bron .....	43
5.7	Algoritme afweging interventies.....	43
5.8	Algoritme sensorbox locatie .....	44
<b>6</b>	<b>Conclusies en mogelijkheden voor spin off en vervolgvactiteiten .....</b>	<b>46</b>
6.1	Conclusies en aanbevelingen.....	46
6.2	Mogelijkheden voor spin off en vervolgvactiteiten .....	48
6.3	PR en wijze van kennisverspreiding.....	48
<b>7</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>49</b>

**Bijlage(n)**

- A Detail analyse bron herkenning
- B Interventie simulatie studie
- C Fijnstof concentratie bij aanwezigheid
- D Analyse meetdata luchtmeetnet.nl
- E Literatuurstudie
- F Gravimetrische meting voor controle datakwaliteit
- G Beschrijving informatie uit enquête
- H Representativiteit dataset
- I Hypotheses

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en probleemstelling

De binnenluchtkwaliteit in woningen laat vaak te wensen over. Het project Monicair<sup>6</sup> laat bijvoorbeeld zien dat in een aanzienlijk deel van de woningen de CO<sub>2</sub> concentratie regelmatig ver boven de gezondheidshygiënische grenswaarde van 1200 ppm uitkomt, zelfs nadat de ventilatiecapaciteit op Bouwbesluit niveau is gebracht. Naarmate woningen energiezuiniger, en daarmee luchtdichter worden, is een goede werking van het ventilatiesysteem steeds belangrijker voor de binnenluchtkwaliteit. Uit een Ierse studie<sup>7</sup> bleek dat na retrofit van een serie van 15 woningen ter verbetering van de energieprestatie en verhoging van het comfort, door onvoldoende aandacht voor ventilatie, de binnenluchtkwaliteit (in dit geval de concentratie formaldehyde, TVOC en fijnstof) een factor 1,5 tot 2 slechter was dan vóór renovatie. Het risico bestaat dat door dit soort voorbeelden het draagvlak voor renovatie naar of bij nieuwbouw van energiezuinige woningen afneemt, terwijl juist een versnelling nodig is.

Daarnaast groeit het besef dat niet alle vervuiling van de binnenlucht door een goed functionerend ventilatiesysteem (conform Bouwbesluit) afdoende te reduceren is. Een belangrijk voorbeeld is fijnstof. Het fijnstof in woningen wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door koken, de rest komt van overige bronnen in huis en van buiten. Bij voldoende schone buitenlucht kan de fijnstofconcentratie worden teruggebracht naar acceptabele niveaus door gebruik te maken van de hoogstand van het ventilatiesysteem. Het is echter veel effectiever (zowel in termen van snelheid van fijnstofafname als van warmteverlies) om de vervuiling bij de bron aan te pakken, bijvoorbeeld door een efficiënte kookafzuiging<sup>8</sup>. Bij te hoge NO<sub>x</sub> emissies kan worden gedacht aan inductief koken omdat daar een gasvlam ontbreekt. In de VS zijn in een interventiestudie<sup>9</sup> hiermee goede resultaten behaald. Voor andere binnenbronnen liggen weer andere oplossingen voor de hand, zoals bijvoorbeeld het gebruik van luchtreinigers. Afhankelijk van de bron zal dus gekeken moeten worden hoe de binnenluchtkwaliteit het meest effectief is te verbeteren.

Verder is het duidelijk zijn dat de concentratie fijnstof binnenshuis niet zal afnemen door ventilatie als de buitenconcentratie te hoog is, zoals kan voorkomen bij woningen nabij drukke verkeersaders. Een fijnstoffilter op het toevoerrooster zou in dit geval een effectieve oplossing kunnen zijn, maar dergelijke oplossingen worden in het Bouwbesluit niet vereist.

Echter, effectieve handvatten voor het verbeteren van de luchtkwaliteit kunnen pas worden geboden indien er inzicht is in de daadwerkelijke bronnen van luchtvervuiling, wat hun frequentie en bijdrage is, en welke interventiestrategieën effectief en energie-efficiënt zijn. Dat inzicht ontbreekt momenteel waardoor

---

<sup>6</sup> van Holsteijn, et al., "Monitoringonderzoek naar en verbetering van de IAQ- en energieprestatie van ventilatiesystemen" Monicair project, Openbare eindrapportage deel A, 2016

<sup>7</sup> Coggins, M., "Indoor Air Quality and thermal comfort in Irish retrofitted energy efficient homes", AIVC Workshop 14-15 March 2017, Brussels

<sup>8</sup> Effect van kookafzuiging op fijnstof concentratie in woningen, P. Jacobs, W. Kornaat, W. Borsboom, Bouwfysica juni 2017.

<sup>9</sup> Home interventions are effective at decreasing indoor nitrogen dioxide concentrations, L.M. Paulin, et al, Indoor Air 2014

marktpartijen niet in staat zijn consumenten handvatten in de vorm van passende producten en diensten aan te bieden.

De beschikbaarheid van goedkope sensoren om luchtverontreinigingen te meten, biedt een 'enabling technology' om de binnenluchtkwaliteit op grote schaal te kunnen monitoren. Interpretatie van de sensorgegevens en die vervolgens om te zetten in oplossingen is daarbij de stap die in dit project wordt beoogd te zetten.

## 1.2 Doelstelling

Het doel van dit project is om inzicht te krijgen in de fundamentele aspecten die de binnenluchtkwaliteit bepalen, op basis van monitoringsdata automatisch bronnen van binnenluchtvervuiling te kunnen identificeren en passende energie-efficiënte interventies te bieden. Met deze kennis kunnen bedrijven op termijn nieuwe producten en diensten ontwikkelen. Hiermee krijgen bewoners energie-efficiënte alternatieven voor het openen van ramen. Daarnaast neemt dit de vrees voor slechte binnenluchtkwaliteit weg, waardoor het risico op draagvlakverlies voor zeer energiezuinige nieuwbouw en renovatie naar energie efficiënte woningen wordt verlaagd.

## 1.3 Werkwijze

Dit TKI project bouwt voort op een meetcampagne ten aanzien van de binnenluchtkwaliteit (temperatuur, fijnstof, CO<sub>2</sub> en RV) in 1000 woningen die door het Inhome Air Quality Consortium is gestart in september 2017. Het Inhome Air Quality Consortium bestaat uit Philips, Eneco, Quby, Longfonds en de coalitie Awaire, bestaande uit het kennisinstituut ISSO en afgevaardigde partijen uit de ventilatie-industrie. Deze partijen zijn allen partner in dit TKI project.

Binnen de meetperiode zijn door Blauw Research meerdere keren enquêtes afgenomen bij de bewoners om hun ervaringen met de binnenluchtkwaliteit in kaart te brengen en een beeld te krijgen van de woningkenmerken en het gedrag van de bewoners.

Op advies van TNO is besloten om de duur van de metingen uit te breiden naar een volledig jaar. Op deze manier is het mogelijk om wat betreft fijnstof een vergelijking te kunnen maken met de WHO jaargemiddelde advieswaarde. In het kader van het TKI project Be Aware zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Controle datakwaliteit en opschonen data (hoofdstuk 2).
- Literatuuronderzoek naar vervuillingsbronnen in huis en de gezondheidseffecten ervan, alsmede het effect van sensoren op bewustwording (Bijlage E).
- Bronanalyse van optredende vervuilers, waarbij is onderzocht welke vormen van binnenluchtvervuiling in Nederlandse woningen regelmatig optreden en welke bronnen hiervoor verantwoordelijk zijn (Hoofdstuk 3).
- Simulaties om te bepalen wat de consequenties zijn van die bronnen voor de binnenluchtkwaliteit in Nederlandse woningen, met name in energiezuinige woningconcepten (Hoofdstuk 4).
- Ontwikkeling van effectieve en energiebesparende interventiestrategieën ter verbetering van de binnenluchtkwaliteit (Hoofdstuk 4).
- Algoritme ontwikkeling voor automatische datakwaliteit controle, detectie van fijnstof binnenbronnen en bronherkenning om bedrijven op termijn in staat te

stellen de monitoringsdata te kunnen gebruiken om interventies voor te stellen (Hoofdstuk 5).

- Regelmatige interactie met marktpartijen over mogelijke interventies en daaraan gekoppelde businesscases die voor de betrokken marktpartijen interessant kunnen zijn (Hoofdstuk 6).

#### 1.4 Gegevens project

Projectnummer: 1621201

Projecttitel: Be Aware: Bewustwording van binnenluchtkwaliteit in woningen: bronnen en effectieve energie-efficiënte interventiestrategieën

Penvoerder en medeaanvragers: TNO (penvoerder), Philips, Eneco, ISSO, Longfonds, Dominus b.v.

Projectperiode: januari 2018 t/m maart 2020

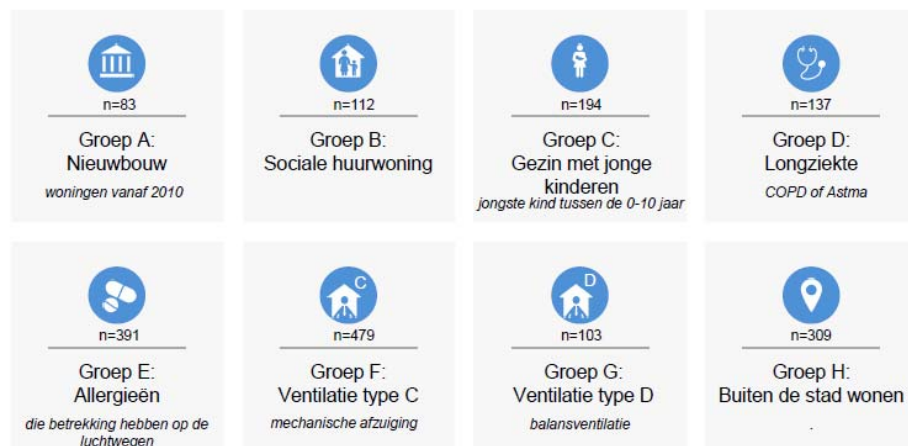
## 2 Dataverzameling (WP 1)

### 2.1 Werving deelnemers en plaatsing sensoren

De deelnemers aan het onderzoek zijn klanten van Eneco die hebben aangegeven mee te willen werken aan onderzoek naar luchtkwaliteit binnenshuis<sup>10</sup>. Om te kunnen deelnemen aan het onderzoek moesten respondenten voldoen aan bepaalde voorwaarden:

- in het bezit zijn van een smartphone;
- Wifi in huis hebben;
- binnen nu en 1 jaar geen verhuisplannen hebben;
- niet roken binnenshuis (geldt ook voor medebewoners).

Op basis hiervan zijn 1000 woningen geselecteerd. Om verschillen tussen groepen mensen en woningkenmerken te onderzoeken zijn er vooraf 8 subgroepen gedefinieerd, zie Figuur 2-1. Voorafgaand aan deelname hebben geïnteresseerden een zogenaamde selectievragenlijst ingevuld. De uitkomsten hiervan zijn gebruikt om een groep deelnemers te selecteren zodanig dat in de uiteindelijke groep alle subgroepen vertegenwoordigd waren door bij voorkeur minimaal 100 huishoudens. Deelnemers kunnen in meerdere groepen zitten.



Figuur 2-1 subgroepen en verdeling van de deelnemers over de verschillende groepen (bron: Blauw<sup>6</sup>)

De grootte van de nieuwbouw, ventilatie systeem C en D groepen komen redelijk overeen met de steekproef die in landelijke monitoring<sup>11</sup> is genomen waarbij ook 1000 woningen zijn geselecteerd en het streven was om een steekproef te nemen representatief voor het bestaande woningbestand.

De groep sociale huurwoningen is veel kleiner dan de 30% conform CBS data. De groep Allergieën is oververtegenwoordigd ten opzichte van de naar schatting 25% van de Nederlandse bevolking die last heeft van een allergie aan de luchtwegen.

<sup>10</sup> Inhome Air Quality 2 meting

<sup>11</sup> De Gids W.F., Op 't Veld P.J.M., Onderzoek naar ventilatie in relatie tot gezondheidsaspecten en energiegebruik voor een representatieve steekproef van het Nederlandse woningbestand, 2004

Uiteindelijk zijn bij 859 huishoudens in Nederland sensoren geplaatst voor het meten van fijnstof, koolstofdioxide, relatieve luchtvochtigheid en temperatuur. Hierbij is gebruik gemaakt van de AirVibe sensor van Philips, zie Figuur 2-2. Helaas kon door verschillende oorzaken niet alle meetdata worden gebruikt. Denk hierbij aan het feit dat er toestemming moet zijn vanuit de huishoudens, of dat een groot aantal sensoren tijdens de meetperiode voor langere tijd is uitgeschakeld. Dit doordat bijvoorbeeld de voeding voor de sensor uit het stopcontact is gehaald omdat er een mobiele telefoon moest worden opgeladen. Ook is een groot aantal sensoren in storing gegaan met name voor de fijnstof meting. Daarnaast is in een aantal gevallen de locatie van de meetapparatuur gedurende de meetperiode gewijzigd. Door bovengenoemde factoren is het aantal huishoudens in de uiteindelijke dataset flink afgenomen. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de procedure die is gehanteerd om een betrouwbare dataset te creëren. Vervolgens wordt gekeken naar de representativiteit van de resulterende kleinere dataset.



Figuur 2-2 AirVibe luchtkwaliteitssensor van Philips

## 2.2 Meetdata en enquêtes

Binnen dit project is er de beschikking over data afkomstig uit twee verschillende bronnen. Als eerste is er de meetdata afkomstig van de geplaatste AirVibe sensoren. Daarnaast is er een aantal enquêtes afgenomen onder de bewoners. Hieronder wordt ingegaan op zowel de meetdata als de enquêtes.

### 2.2.1 Meetdata

De AirVibe sensoren meten de fijnstof concentratie, de temperatuur, de CO<sub>2</sub> concentratie en de relatieve luchtvochtigheid. De sensoren meten deze waarden één keer per 10 minuten. De meetperiode was van september 2017 t/m oktober 2018. De gegevens van alle sensoren zijn verzameld en als databestand aan TNO geleverd. In paragraaf 2.3 wordt in detail gekeken naar de datakwaliteit en de wijze waarop de dataset is opgeschoond.

### 2.2.2 Enquêtes

Tijdens de meetperiode is er door Blauw Research een aantal keer een enquête uitgezet onder de deelnemers aan dit onderzoek.

- een nulmeting in juli 2017 (voorafgaand aan de meetperiode met de AirVibe sensoren);

- een eerste meting in november 2017;
- een tweede meting in februari 2018.

Deze enquêtes waren geïnitieerd door het Inhome Air Quality consortium en met name gericht op vragen met betrekking tot de ervaren luchtkwaliteit, bekendheid met luchtkwaliteit en de ervaringen met de AirVibe sensor.

In opdracht van TNO heeft Blauw Research in december 2018 een aanvullende enquête uitgezet onder de deelnemers met betrekking tot kenmerken van de woning, het gebruik van apparaten en het gedrag van de bewoners.

Een volledig overzicht van de data die beschikbaar is uit de enquêtes is te vinden in bijlage G.

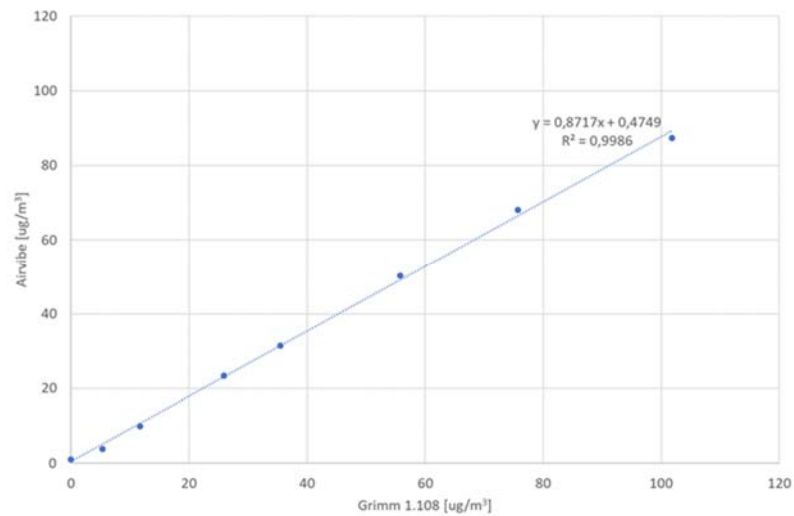
## 2.3 Controle datakwaliteit

De datakwaliteit van de door Philips geleverde sensor is gecontroleerd door deze te vergelijken met 'laboratory grade' meetapparatuur voor temperatuur, CO<sub>2</sub>, RV en fijnstof. Dit om een beeld te krijgen van de betrouwbaarheid van de meetresultaten. In deze paragraaf wordt zowel ingegaan op de laboratorium metingen die door Philips zijn uitgevoerd als op de laboratorium metingen die door TNO zijn uitgevoerd. Aan het eind van deze paragraaf wordt ingegaan op het opschonen van de dataset.

### 2.3.1 Laboratorium metingen Philips

Philips heeft voorafgaande aan de meetcampagne een validatie van de AirVibe sensor uitgevoerd gebaseerd op een steekproef van 14 sensoren. De conclusie was dat de getoonde waarden voor T en RV gemiddeld redelijk goed overeenkwamen met de werkelijke waarde, maar dat er een redelijk grote spreiding was. Bij een temperatuur van 25,2 °C was de gemiddelde gemeten waarde van de temperatuur 25,5 °C met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 22,4 - 28,0 °C. Bij 54% RV was de gemiddelde gemeten waarde 58,6% met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 44,2 - 63,8%. Eventuele drift van de CO<sub>2</sub>-sensor wordt na 72 uur gecompenseerd, uitgaande van de veronderstelling dat door afwezigheid van menselijke bronnen minimaal één maal gedurende deze periode in de binnenlucht de buitenluchtconcentratie van 400 ppm wordt bereikt. Na deze compensatie was de afwijking maximaal ongeveer 50 ppm. Philips vergeleek de PM<sub>2.5</sub>-sensor met een Grimm 1.108 optische deeltjes teller op basis van sigarettenrook. De onderstaande afbeelding laat zien dat gemiddeld over de 14 sensoren er een lineair verband bestaat tussen de AirVibe-waarden en de Grimm 1.108. Er is echter een relatief grote spreiding in de AirVibe-waarden. Op het meetpunt 101,8 µg/m<sup>3</sup> (uiterst rechts) was de gemiddelde waarde bijvoorbeeld 87,4 met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 78,0 - 125,6 µg/m<sup>3</sup>.





Figuur 2-3 meting met sigarettenrook, verticaal meetwaarden AirVibe luchtkwaliteitssensor, horizontaal meetwaarden Grimm 1.108 (bron: Philips, PPT, 14 augustus 2017).

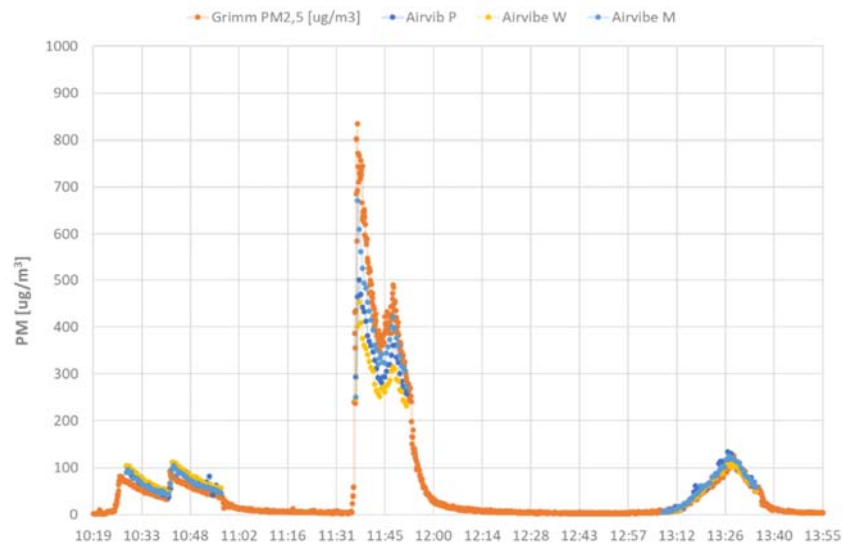
### 2.3.2 Laboratorium metingen door TNO

Uit diverse onderzoeken<sup>12,13</sup> blijkt dat optische deeltjestellers in geval van kleine deeltjes (< 0,3 µm) leiden tot een onderschatting van de PM<sub>2.5</sub> concentratie omdat deze deeltjes te klein zijn om door de laser/lichtbron te worden gedetecteerd. Door TNO zijn aanvullende metingen verricht om de AirVibe PM<sub>2.5</sub>-sensor met gravimetrische metingen te valideren voor drie typische binnenbronnen: kaarsen, wokken en bakken. Drie AirVibe-sensoren zijn in augustus 2017 aan TNO-personeel verstrekt. De sensoren hebben gedurende 12 maanden thuis in hun woning gemeten. Na deze periode zijn met deze sensoren de laboratoriummetingen uitgevoerd, zie Bijlage F. Ze laten zien dat, ook na een jaar gebruik, er een goede overeenkomst is tussen de drie AirVibe-sensoren en ook met een laboratorium grade sensor als de Grimm 11R, zie Figuur 2-4.

In vergelijking met de gravimetrische meting geeft de AirVibe-sensor en feitelijk alle optische deeltjessensoren een te lage waarde aan. Bijlage E vermeldt kalibratiefactoren voor kaarsen, roerbakken en bakken van respectievelijk 2,63, 1,96 en 3,78 voor de AirVibe. Voor binnenbronnen zou daarom eigenlijk per type bron een kalibratiefactor voor de AirVibe moeten worden toegepast. Dit is echter geen praktische benadering, omdat de exacte bron niet bekend is in dit veldonderzoek. Om deze reden is op de data geen kalibratiefactor toegepast. Dit betekent echter wel dat er een onderschatting is van de PM<sub>2.5</sub> concentratie en emissies die in dit onderzoek worden gepresenteerd. In paragraaf 3.4 is een berekening gemaakt om het effect van de gravimetrische correctiefactor inzichtelijk te maken.

<sup>12</sup> O'Leary C. et al., Investigating measurements of fine particle (PM<sub>2.5</sub>) emissions from the cooking of meals and mitigating exposure using a cooker hood, *Indoor Air*, 2019.

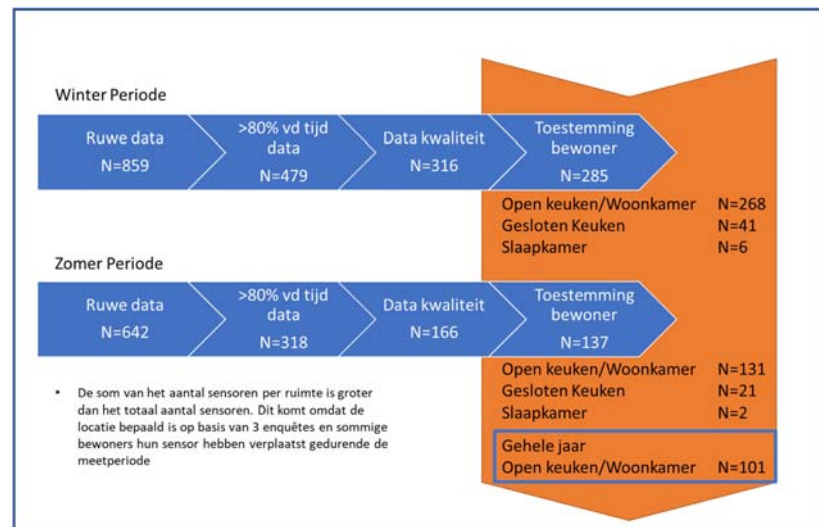
<sup>13</sup> Singer B.C., Delp W.W., Response of consumer and research grade indoor air quality monitors to residential sources of fine particles, *Indoor Air*, 2018.



Figuur 2-4 vergelijking PM<sub>2,5</sub> meetwaarden 3 AirVibe sensoren met Grimm 11-R voor drie bronnen: kaarsen 10.27 – 10.57 uur, roerbakken groente 11.37 – 11.52 uur en gebakken aardappeltjes met kipfilet 13.08 – 13.36 uur.

### 2.3.3 Algoritmes om data op te schonen

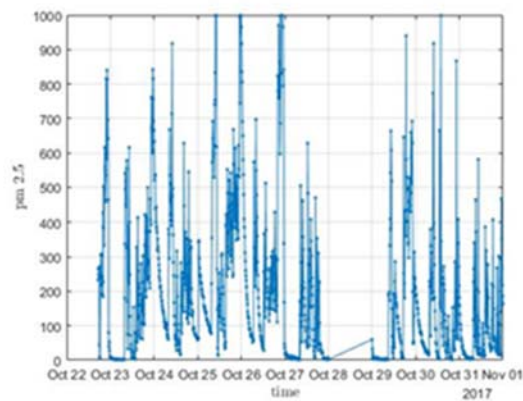
De ruwe dataset over de periode oktober 2017 t/m maart 2018 bevat meetresultaten van 859 woningen. Na het filteren op datakwaliteit, locatie van de sensor en het feit of er een gebruiksovereenkomst is getekend door de bewoners, blijven er nog 285 woningen over, zie Figuur 2-5. Dit betreft de eerste periode (winter) van de totale meetperiode. In het half jaar dat daarop volgt (april t/m september 2018) bedraagt het aantal woningen dat aan alle eisen voldoet 137. Voor de jaaranalyses waarin beide periodes worden gebruikt is er een overlap van 101 woningen.



Figuur 2-5 effect van opschonen dataset op aantal huishoudens wat beschikbaar is voor jaargemiddelden.

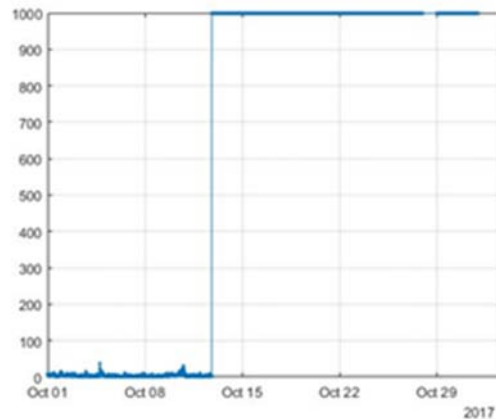
Hieronder worden de gebruikte criteria voor het opschonen van de dataset kort omschreven en enkele voorbeelden gegeven.

1. Gebruikersovereenkomst  
Als er geen door de bewoner getekende gebruikersovereenkomst is, kan en mag de data niet worden gebruikt.
2. 80% van de tijd data  
Als er voor een sensor in een woning minder dan 80% van de tijd data beschikbaar is, is deze uit de dataset verwijderd.
3. 4 uur 's nachts criterium  
In dit criterium wordt gekeken naar de concentratie fijnstof om 4 uur 's nachts. De gemiddelde waarde voor dit tijdstip gedurende de gehele meetperiode moet kleiner of gelijk zijn aan  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en de standaard deviatie moet ook kleiner of gelijk zijn aan  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De reden dat voor deze waarden en dit tijdstip is gekozen, is dat de concentratie fijnstof om 4 uur 's nachts het laagst is van de gehele dag. Dit komt omdat de bronnen van fijnstof in de periode van middernacht tot een uur of vijf het laagst zijn. Dit omdat de meeste mensen slapen of als ze nachtdienst hebben op het werk zijn. Om te compenseren voor afwijkend gedrag is er gekozen om ook te kijken naar de standaard deviatie. Een voorbeeld is gegeven in Figuur 2-6.



Figuur 2-6 voorbeeld van  $\text{PM}_{2.5}$  sensordata die op basis van het 4 uur 's nachts criterium is verwijderd, gedurende meerdere dagen is de concentratie hoger dan  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

4. Frozen data  
In het geval van frozen data, dat wil zeggen dat de meetwaarde gedurende langere tijd onveranderd blijft, wordt deze sensor verwijderd uit de dataset, zie het voorbeeld in Figuur 2-8.



Figuur 2-7 voorbeeld van PM<sub>2.5</sub> sensordata van een 'geblokkeerde' sensor.

## 2.4 Representativiteit dataset

Initieel is er bij 859 huishoudens een sensor geplaatst. Na het opschonen van de data zijn er 3 datasets ontstaan: de dataset voor de winterperiode, de dataset voor de zomerperiode en de dataset voor het gehele jaar. Om te controleren of het opschonen van de dataset invloed heeft op de samenstelling van de groep zijn een zestiental vergelijkingen gemaakt, zie bijlage H.

In de vergelijkingen valt een aantal zaken op. De geografische spreiding blijft nagenoeg gelijk tussen de ongefilterde en de gefilterde dataset voor de winterperiode. Echter, als we naar de dataset kijken van het gehele jaar neemt de geografische spreiding af. Dat valt te verklaren omdat het aantal huishoudens ook significant is afgenomen (10% van de oorspronkelijke dataset). Als er wordt gekeken naar de verdeling over woningtypen, bouwjaar en ligging zijn er nauwelijks verschillen tussen de drie datasets. Er valt wel waar te nemen dat het aantal huishoudens zonder afzuigkap afneemt tussen de volledige dataset en de twee gefilterde datasets. Veel zaken blijven ongeveer gelijk voor de drie datasets, zoals het type kookplaat, type afzuigkap, type ventilatie, aanwezigheid van airco's en van luchtreinigers. Ook de verhouding van huishoudens met en zonder longziektes is ongeveer gelijk. Het aantal personen per huishouden en het aantal huishoudens met jonge kinderen verandert wel duidelijk tussen de datasets, waar de dataset van de winter nagenoeg gelijk is aan de gehele dataset, is er een duidelijk verschil met de dataset voor het gehele jaar.

Wat betreft de representativiteit blijkt dat het aandeel oudere woningen voor 1960 circa twee maal zo klein is dan uit CBS data blijkt. Anderzijds is het aantal nieuwbouw woningen na 2010 hoger dan in werkelijkheid. Lastig hierbij is dat de bouwjaarclassen die in de vragenlijst zijn gehanteerd verschillen van de CBS data. Ondanks de sterke afname van het aantal woningen in de dataset blijkt op basis van 16 woning- en bewonerskenmerken de resulterende dataset nog steeds representatief te zijn voor de initiële dataset. Uitzonderingen hierop zijn dat het aandeel van één- en tweepersoonshuishoudens is toegenomen en het aandeel huishoudens zonder afzuigkap is afgenomen.

## 2.5 Beschrijving database

Om alle ontvangen data geschikt te maken voor de dataverwerking is een database ontworpen waarin alle data per woning/huishouden is samengebracht. Deze data is afkomstig uit drie verschillende bronnen. Als leidraad is gekozen voor de gemeten waarden van de AirVibe sensor. De beschikbare data zijn de gemeten tijdreeksen van temperatuur, RV, CO<sub>2</sub> en PM<sub>2.5</sub>, deze hebben een meetinterval van 10 minuten. Om deze data te verrijken zijn de meetwaarden van de fijnstofconcentratie buiten van het dichtstbijzijnde meetstation van het luchtmeetnet (RIVM) toegevoegd. Dit gaat over een tijdreeks van de uurlijkse gemiddelde PM<sub>2.5</sub> concentraties. Om de database verder aan te vullen zijn ook de gegevens van de enquêtes (zie bijlage G) toegevoegd aan de database. Door het toevoegen van deze data aan de database is het mogelijk de dataset te filteren naar bepaalde kenmerken.

Huishouden
- Informatie Enquêtes
- Type woning
- Bouwjaar
- .....
- .....
- Meetwaardes Airvibe
- Tijdsvector
- Temperatuur [tijdsreeks per 10 minuten]
- CO2 [tijdsreeks per 10 minuten]
- RV [tijdsreeks per 10 minuten]
- PM2.5 [tijdsreeks per 10 minuten]
- Meetwaardes luchtnet
- Tijdsvector
- PM2.5 [tijdsreeks per 60 minuten]

Figuur 2-8 Overzicht van de database

## 3 Bronanalyse (WP 2)

### 3.1 Literatuuronderzoek

Voor we de onderzoeksvraag in deelvragen hebben uitgewerkt, hebben we eerst onderzocht wat er in de literatuur bekend is over vervuilingbronnen in huis en de gezondheidseffecten ervan, en ook het effect van sensoren op bewustwording. In Bijlage E wordt een overzicht gegeven van de gevonden literatuur. Hierbij is met name toegespitst op fijnstof omdat dit de grootste gezondheidseffecten geeft. Wat betreft het effect van sensoren op bewustwording wordt met name ingegaan op ervaringen met CO<sub>2</sub> sensoren aangezien deze veel langer op de markt zijn dan fijnstof sensoren. Hieronder volgt een beknopte samenvatting.

Wat betreft de ziektelast veroorzaakt door binnenmilieufactoren is fijnstof dat ontstaat bij verbranding in de binnen- en buitenlucht dominant. De verbrandingsdeeltjes veroorzaken hart- en vaatziekten en ook COPD en longkanker. Tabel 3-1 geeft een overzicht van advies- en grenswaarden voor PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub>. In dit onderzoek hanteren we de WHO advieswaarden voor PM<sub>2.5</sub>.

Tabel 3-1 overzicht van advies- en grenswaarden voor PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> (WHO, 2005)

	period	PM <sub>10</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	PM <sub>2.5</sub> [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
WHO	jaargemiddeld	20	10
	daggemiddeld	50	25
EU	jaargemiddeld	40	25
	daggemiddeld	50*	-
US	jaargemiddeld	50	15**
	daggemiddeld	150	35

\*Max 35 dagen hoger dan 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

\*\*3 jaar gemiddelde

De belangrijkste bron van fijnstof in huis is afkomstig van koken. Met name tijdens het stookseizoen in luchtdichte woningen kan de fijnstof concentratie sterk verhoogd zijn, tot boven de concentratie in de buitenlucht en in één onderzoek tot zelfs boven de daggemiddelde EU grenswaarde voor PM<sub>2.5</sub>. Pas sinds kort is er een aantal sensoren op de markt die voor een aanvaardbare prijs (<300 euro) een redelijk betrouwbare waarde aangeven. Dit wil zeggen dat deze in staat zijn om binnen een factor twee de concentraties te meten. Vanwege de recente beschikbaarheid wordt er in woningen nog niet of nauwelijks fijnstof gemeten. CO<sub>2</sub> sensoren zijn reeds langer op de markt en betaalbaarder.

### 3.2 Detail analyse bron herkenning

Een bestaand algoritme voor bronherkenning is aangepast zodat het grootschalig kan worden toegepast met consumenten sensoren. Het algoritme detecteert fijnstof pieken en maakt onderscheid tussen binnen- en buitenbronnen. Voor de buitenlucht fijnstof concentratie wordt gebruik gemaakt van het dichtstbijzijnde PM<sub>2.5</sub> fijnstof meetstation van [www.luchtmeetnet.nl](http://www.luchtmeetnet.nl). Het algoritme corrigeert ook

voor bronnen die dermate dicht bij de sensor staan dat het fijnstof nog niet is opgemengd. Het algoritme is in detail beschreven in bijlage A.

### 3.3 Statistische analyse binnenluchtvervuiling

#### 3.3.1 Onderzoeksvragen

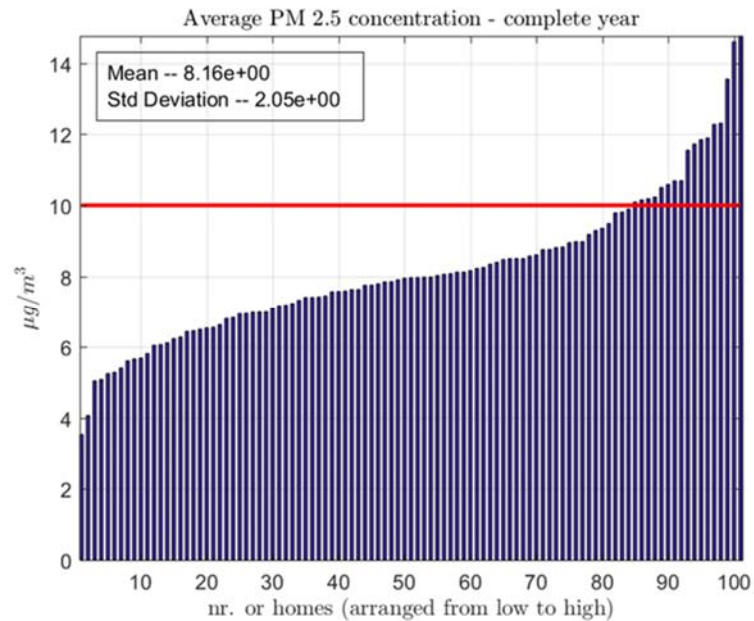
Op basis van het literatuuronderzoek zijn verschillende onderzoeksvragen opgesteld.

- Welke vormen van binnenluchtvervuiling treden op in Nederlandse woningen en vooral met welke frequentie en in welke concentraties?
  - In hoeveel woningen in de dataset wordt de WHO (2010) jaargemiddelde  $PM_{2.5}$  advieswaarde van  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  overschreden?
  - En in hoeveel woningen in de dataset en gedurende hoeveel dagen wordt de WHO (2010) daggemiddelde  $PM_{2.5}$  advieswaarde van  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  overschreden?
  - Zien we een verschil tussen stookseizoen en zomerdata in de dataset?
  - In hoeveel woningen in de dataset wordt de grenswaarde van 1200 ppm  $\text{CO}_2$  in de woonkamer en slaapkamer overschreden en gedurende hoeveel uur per week is dat gemiddeld? Hoe relateert dit met de waarden gevonden in Monicair (2014) en Landelijke monitoring (Dongen en Vos, 2007)?
  
- Kunnen uit monitoringsdata de bronnen van de binnenluchtvervuiling worden achterhaald? Wat is de bijdrage van binnen- en buitenbronnen?

#### 3.3.2 Resultaten

Afhankelijk van de vraag wordt een specifieke dataset gebruikt om de onderzoeksvraag te beantwoorden. Meestal is gekozen voor de dataset van het stookseizoen, omdat hierin de meeste woningen zitten. Voor vergelijkingen tussen de zomer- en winterperiode wordt gebruik gemaakt van de dataset van het gehele jaar. Zodat er een eerlijk vergelijk kan worden gemaakt met dezelfde woningen.

De jaargemiddelde  $PM_{2.5}$  concentratie in de woonkamer/keuken bedraagt  $8,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In 15% van deze woningen is de jaargemiddelde concentratie hoger dan de door de WHO (2010) gestelde jaargemiddelde  $PM_{2.5}$  advieswaarde van  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , zie Figuur 3-1. In de winterperiode is dit percentage 20% en in de zomerperiode 10%. Dit verschil kan worden verklaard door hogere ventilatie tijdens aanwezigheid in de zomer door het openen van ramen en deuren, waardoor verhoogde concentraties door emissies sneller worden verdund.



Figuur 3-1 Jaargemiddelde concentratie PM<sub>2.5</sub>.

Voorgaande overschrijdingspercentages betreffen de gemiddelde concentratie over de gehele dag. Indien alleen de periode van aanwezigheid wordt geanalyseerd, in de woonkamer/keuken (maandag t/m vrijdag, tussen 18 en 23 uur en in het weekend tussen 10 en 14 uur en tussen 18 en 24 uur), is de concentratie beperkt hoger, zie Tabel 3-2 en bijlage C.

Tabel 3-2 PM<sub>2.5</sub> concentratie in de woonkamer op basis van 24 uur gemiddelde en op basis van aanwezigheid.

Binnenluchtconcentratie [µg/m <sup>3</sup> ]	Winterperiode N=268	Zomerperiode N=131	Gehele jaar N=101
24 uur	9,0	8,1	8,2
Aanwezigheid obv CO <sub>2</sub>	10,0	8,6	8,9
Aanwezigheid obv tijd <sup>a</sup>	12,7	9,4	10,4

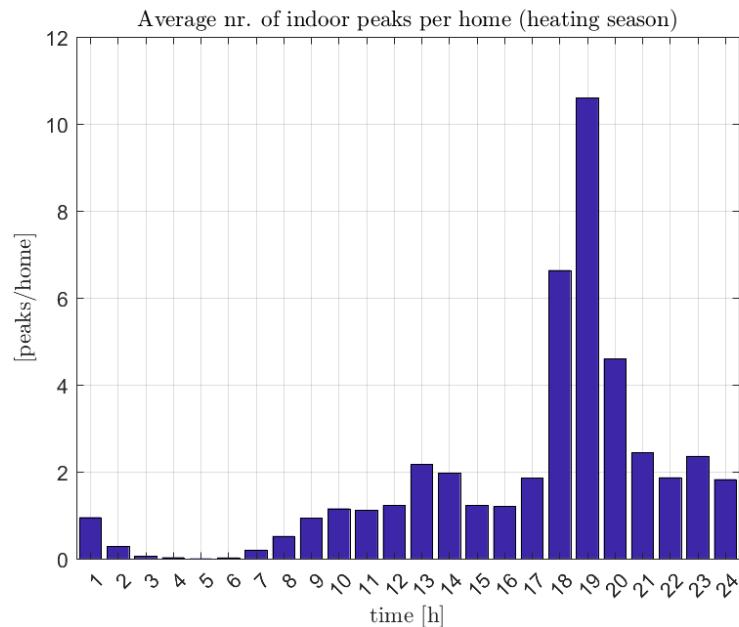
<sup>a</sup> Wekdagen tussen 18 en 23 uur, weekend tussen 10 en 14 uur en tussen 18 en 24 uur.

De daggemiddelde advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub> van de WHO van 25 µg/m<sup>3</sup>, wordt gemiddeld ruim 10 dagen per jaar overschreden (ongecorrigeerd). In vrijwel alle woningen vindt minimaal enkele dagen overschrijding plaats, dit komt omdat begin maart 2018 in de buitenlucht over heel Nederland gedurende enkele dagen hoge concentraties PM<sub>2.5</sub> aanwezig waren (zie bijlage C).

De spreiding is groot, er zijn woningen waarin deze waarde geen enkele dag wordt overschreden en woningen waar dit vaker dan 35 dagen per jaar voorkomt. Er is een duidelijk verschil tussen de winter- en zomerperiode. In de winter zijn er gemiddeld 7 dagen per woning dat de daggemiddelde concentratie boven de 25 µg/m<sup>3</sup> komt. In de zomer slechts 3 dagen. Waarschijnlijk wordt dit verschil veroorzaakt door meer ventilatie in de zomer.



Er is ook onderzocht waar de hogere concentraties in deze periode van afkomstig zijn. Daarom is er gekeken in welke uren de meeste pieken in PM<sub>2.5</sub> concentratie plaatsvinden. Uit de analyse blijkt dat de meeste pieken plaatsvinden tussen 18 en 20 uur. Deze emissiepieken worden hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door het bereiden van eten. Het algoritme voor het bepalen van binnenbronnen wordt in bijlage A toegelicht.



Figuur 3-2 Aantal emissiepieken per woning als functie van het tijdstip op de dag.

Gemiddeld wordt in de winterperiode 41% van de concentratie binnen veroorzaakt door binnenbronnen, met een spreiding tussen 0 en bijna 100%. In de zomerperiode is 52% van het fijnstof afkomstig van binnenbronnen. De lagere waarde in de winter kan worden verklaard omdat in de winter de buitenconcentratie PM<sub>2.5</sub> 16% hoger was dan in de zomer. In de literatuur worden vergelijkbare waarden gevonden. Bij Chan<sup>14</sup> varieerde de bijdrage van binnenbronnen van 15 tot 85% en bedroeg deze gemiddeld 56%.

De infiltratiefactor is gemiddeld 0,52. Dit betekent dat bij afwezigheid van binnenbronnen een buitenconcentratie van 11,5 µg/m<sup>3</sup> leidt tot een binnenconcentratie van 6 µg/m<sup>3</sup>. De gemiddelde infiltratiefactor is vrijwel gelijk aan de 0,54 berekend door Chan.

Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) wordt als marker gebruikt voor de luchtkwaliteit. Voor CO<sub>2</sub> wordt door de Gezondheidsraad een advieswaarde van 1200 ppm gehanteerd. Gemiddeld komt de concentratie in de woonkamer in de winter 4 uur per week boven de 1200 ppm, zie Bijlage I. Aan het eind van de avond rond 22 uur treden de meeste overschrijdingen op. Er is een grote spreiding tussen de verschillende

<sup>14</sup> W.R. Chan, J.M. Logue, X. Wu, N.E. Klepeis, W.J. Fisk, F. Noris, B.C. Singer, Quantifying fine particle emission events from time-resolved measurements: Method description and application to 18 California low-income apartments, Indoor Air, 2017

woningen. Bij ongeveer 80% van de woningen komt de concentratie maximaal 5 uur per week boven de grenswaarde. In de resterende 20% zijn er uitschieters tot wel 40 uur per week (24% van de tijd). In de winterperiode zijn er meer periodes boven de grenswaarde dan in de zomerperiode.

Uit het onderzoek Landelijke monitoring<sup>15</sup> blijkt dat in circa 60% van de ruim 1200 woonkamers in het stookseizoen 2004/2005 de CO<sub>2</sub> concentratie voor kortere of langere tijd hoger was dan 1200 ppm. In de woningen waar dit het geval was is dit gemiddeld 14 uur per week het geval. In Monicair<sup>16</sup> is in het stookseizoen van 2012/2013 in 62 woningen het aantal overschrijdingsuren in de woonkamer gemiddeld 11 uur per week. In Be Aware is het aantal CO<sub>2</sub> overschrijdingsuren dus duidelijk minder. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de AirVibe sensor tot bewustwording en een beter ventilatiegedrag heeft geleid. Halverwege de meetperiode gaf 55% van de deelnemers aan dat ze vaker waren gaan ventileren<sup>17</sup>. Uit enquête resultaten blijkt ook dat ruim de helft van de deelnemers de sensor waarden dagelijks bekijkt, 38% zelfs meerdere malen per dag. De waarden van de bijbehorende app werden slechts door één op de vijf dagelijks bekeken.

### 3.4 Effect gravimetrische kalibratiefactor

Figuur 3-3 geeft de verdeling weer van de jaargemiddelde concentratie. Uit de linker figuur kan worden geconcludeerd dat in 1 op de 6 woningen de WHO jaargemiddelde advieswaarde van 10 µg/m<sup>3</sup> voor PM<sub>2.5</sub> in de woonkamer/keuken wordt overschreden. Uit twee recente onderzoeken is bekend dat optische deeltjestellers in geval van koken als fijnstof bron de concentratie PM<sub>2.5</sub> onderschatten. O'Leary<sup>18</sup> rapporteert op basis van laboratorium onderzoek dat, afhankelijk van het type maaltijd, de mate van onderschatting tussen een factor 1,5 en 5 bedraagt. Franken<sup>19</sup> rapporteert metingen in 6 Nederlandse woningen waarbij zowel met een deeltjesteller als gravimetrisch is gemeten gedurende 5 dagen. Gemiddeld blijkt bij Franken de deeltjesteller de massa met 40% (een factor 1,67) te onderschatten. Op basis van Franken is een simulatie uitgevoerd waarbij de concentratie ten gevolge van interne bronnen is verdubbeld, zie Figuur 3-3 rechts. Toepassing van deze kalibratiefactor leidt ertoe dat in bijna 50% van de woningen de WHO advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub> wordt overschreden. Aangezien de kalibratiefactor per bron verschilt en de exacte bronnen onbekend zijn is er voor de rest van de rapportage ervoor gekozen om de meetwaarden niet te corrigeren.

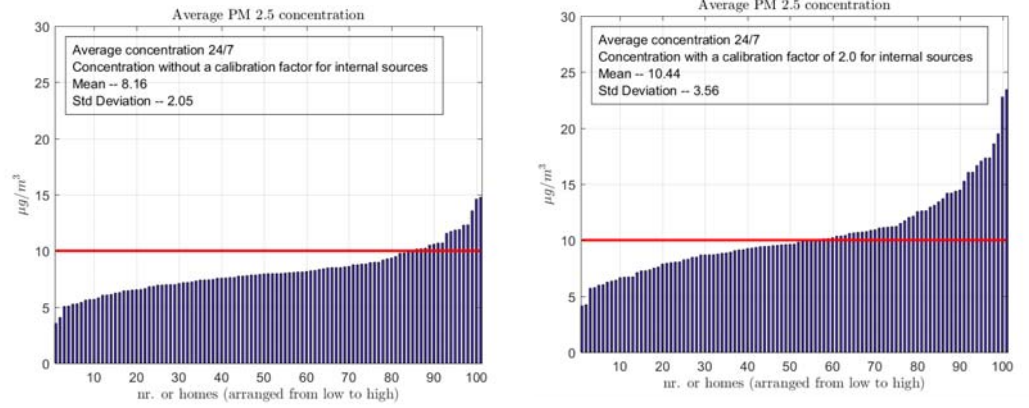
<sup>15</sup> Dongen en Vos, Landelijke Monitoring, 2007.

<sup>16</sup> van Holsteijn, et al., "Monitoringonderzoek naar en verbetering van de IAQ- en energieprestatie van ventilatiesystemen" Monicair project, Openbare eindrapportage deel A, 2016

<sup>17</sup> Inhome Air Quality 2-meting, Bureau Blauw, maart 2017.

<sup>18</sup> O'leary C., Kluizenaar Y., Jacobs P., Borsboom W., Hall I., Jones B.G., Investigating measurements of fine particle (PM<sub>2.5</sub>) emissions from the cooking of meals and mitigating exposure using a cooker hood, Indoor Air, februari 2019.

<sup>19</sup> Franken et al, Comparison of methods for converting Dylos particle number concentrations to PM<sub>2.5</sub> mass concentrations, Indoor Air, februari 2019.



Figuur 3-3 jaargemiddelde  $\text{PM}_{2.5}$  concentratie, links: ongecorrigeerd, rechts: met een correctiefactor 2 voor binnenbronnen.

## 4 Interventiestrategieën (WP 3)

### 4.1 Interventiestrategieën en selectie maatregelen

Er is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar mogelijke interventies en de bronnen waarop deze interventies van toepassing zijn, zie Tabel 4-1. Voor de indeling van de maatregelen in de tabel is de arbeidshygiënische prioritering toegepast: als eerste stap worden bronnen weggenomen, als dat niet mogelijk is wordt in de tweede stap compartimentering en bronafzuiging toegepast, en dan pas wordt als derde stap de verontreiniging met ventilatie of filtering verdund.

De bronaanpak zorgt voor 100% effectiviteit. Compartimentering en bronafzuiging kan bij goede uitvoering ook voor 100% effectiviteit zorgdragen. Dit is echter wel veel gevoeliger voor bewonersgedrag. Verdunning met ventilatie is bij fijnstof weinig effectief en zorgt voor discomfort en extra energiegebruik. Verdunning met ventilatie is met name bruikbaar voor verontreinigingen die door de mens zelf worden veroorzaakt, bijvoorbeeld bio-effluenten of andere niet plaatsgebonden bronnen.

Voor de overstap van koken op gas naar inductief koken, het plaatsen van een afzuigkap met afvoer naar buiten en het plaatsen van een rooster is de hulp van professionals nodig. Verbetering van ventilatie in de slaapkamer, kan meerdere disciplines vereisen en is in bijna alle gevallen gecompliceerd. De overige maatregelen kunnen door de bewoner zelf worden uitgevoerd.

In de literatuur is alleen de kosteneffectiviteit bij filtering vermeld. Plaatsing of verbetering van luchtfilters in het ventilatiesysteem of plaatsing van stand-alone luchtreinigers hebben beiden een kosteneffectiviteit van meer dan een factor 10<sup>20</sup>. Dat wil zeggen dat de gezondheidswinst uitgedrukt in euro's een factor tien zo groot is als de kosten van de maatregel.

---

<sup>20</sup> Fisk W.J., Chan W.R., Effectiveness and cost of reducing particle-related mortality with particle filtration, Indoor Air, 2017

Tabel 4-1 overzicht van in de literatuur genoemde maatregelen om de luchtkwaliteit in woningen te verbeteren met een inschatting van de effectiviteit en de complexiteit om de maatregel zelf te implementeren (\*kosten effectiviteit, \*\*2476 MJ extra energiegebruik door spuiventilatie).

Contaminant	Type	Maatregel	Effect	professional noodzakelijk	Literatuur ref.
PM <sub>2.5</sub> door roken	Bron	Stoppen met binnen roken	100%	-	
NO <sub>2</sub> koken op gas	Bron	Inductief of elektrisch koken	100%	+	
PM <sub>2.5</sub> door kaarsen	Bron	Geen kaarsen meer branden	100%	-	
PM <sub>2.5</sub> door stoken	Bron	Geen openhaard of kachel meer stoken	100%	-	
PM <sub>2.5</sub> bij bakken en braden	Bronafz.	Afzuigkap met 95 dm <sup>3</sup> /s en koken op voorste pitten	75%	+	Singer 2012
		Goede afzuigkap 83 dm <sup>3</sup> /s bij bereiden 4 typische NL maaltijden	> 93%	+	O'Leary 2019
		Afzuigkap 83 dm <sup>3</sup> /s die voorste pitten niet bereikt (slechte afz.kap)	70%	+	VentKook, 2018
		Goede motorloze afzuigkap op afzuigventiel met 21 dm <sup>3</sup> /uur	50%	-	
		Slechte motorloze afzuigkap op afzuigventiel met 21 dm <sup>3</sup> /uur	25%	-	
PM <sub>2.5</sub> bij bakken	Comp+filter	Recirculatie afzuigkap	< 30%	-	Jacobs, 2017
PM <sub>2.5</sub>	Comp+filter	HEPA filters in ademzone van astmatici	99%	-	Fisk, 2013
PM <sub>2.5</sub>	Filtering	Verbeteren filterkwaliteit in US woning ventilatiesysteem	> 10*	-	Fisk, 2017
		Plaatsen stand alone HEPA filters	> 10*	-	
PM <sub>2.5</sub>	Filtering	Verhogen filterkwaliteit ventilatietoever (reductie% t.o.v. buiten)	> 97%	-	Singer, 2017
PM <sub>2.5</sub>	Filtering	Plaatsen luchtreiniger in 8 interventie studies	40 – 60%	-	Day, 2018
PM <sub>2.5</sub>	Filtering	Ionisatie recirculatie filter op basis van ozon productie	negatief	-	Waring, 2008
PM <sub>2.5</sub>	Filtering	HEPA filter op stofzuiger	99%	-	Lioy, 1999
PM <sub>2.5</sub>	Ventilatie	Met spuiventilatie dezelfde luchtkwaliteit verkrijgen als met een afzuigkap die 95% direct invangt	Discomfort > energie**	-	Jacobs, 2017b
CO <sub>2</sub>	Ventilatie	Verbeteren luchtkwaliteit in slaapkamer door beter roostergebruik		-	Jacobs, 2019
		Idem door plaatsen zelfregelende roosters		+	
		Idem, mechanische toe- of afvoer in elke verblijfsruimte		++	Monicaire, 2016

**Literatuurlijst Tabel 4-1**

Day D.B., Xiang J. Mo J. Clyde M.A., Weschler C.J., Li F., Gong J., Chung M., Zhang Y., Zhang J., Combined use of an electrostatic precipitator and a high efficiency particulate air filter in building ventilation systems: effects on cardiorespiratory health indicators in healthy adults, *Indoor Air*, 28: 360 – 372, 2018.

Fisk W.J., Health benefits of particle filtration, *Indoor Air* 23: 357 – 368, 2013.

Fisk W.J., Chan W.R., Effectiveness and cost of reducing particle-related mortality with particle filtration, *Indoor Air*, 2017.

Jacobs P., Cornelissen E., Efficiency of recirculation hoods with regard to PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub>, *Healthy Buildings 2017*, Lublin, Polen, 2017.

Jacobs P., Kornaat W., Borsboom W., Fijnstof bij het koken - Het effect van kookafzuiging op fijnstofconcentraties in woningen, *Bouwfysica*, 1, 2017b

Jacobs P. Borsboom W., TNO rapport R11564, Kennisdossier voor bewoners, 2019.

O'leary C., Kluzenaar Y., Jacobs P., Borsboom W., Hall I., Jones BG., Investigating measurements of fine particle (PM<sub>2.5</sub>) emissions from the cooking of meals and mitigating exposure using a cooker hood, *Indoor Air*, februari 2019.

Lioy P.J., Wainman T., Junfeng J.Z., Goldsmith S., Typical Household Vacuum Cleaners: The Collection Efficiency and Emissions Characteristics for Fine Particles, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1999.

Monicair project, van Holsteijn, et al., "Monitoringonderzoek naar en verbetering van de IAQ- en energieprestatie van ventilatiesystemen", *Openbare eindrapportage deel A*, 2016.

Singer B.C., Delp W.W., Price P.N., Apte M.G., Performance of installed cooking exhaust devices, *Indoor Air*, 22: 224 – 234, 2012.

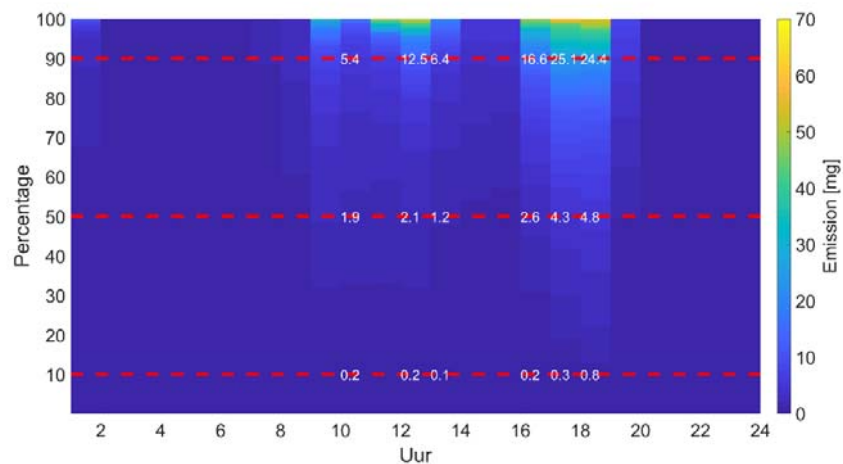
Singer B. C., Delp W. W., Black D. R. Walker I. S., Measured performance of filtration and ventilation systems for fine and ultrafine particles and ozone in an unoccupied modern California house, *Indoor Air*, 27: 780 – 790, 2017.

VentKook, Jacobs P., TNO 2018 R11055 Openbaar eindrapport TKI Urban Energy VentKook - Ventilatiesysteem met goede kookafzuiging, 2018.

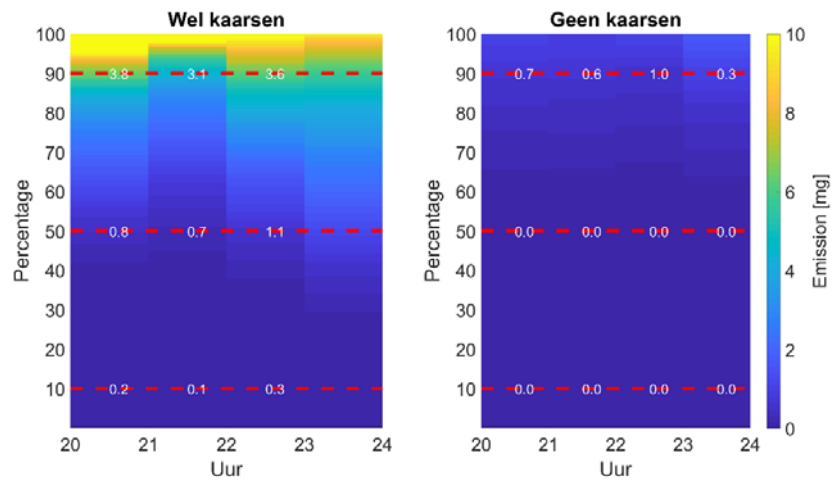
Waring M.S., Siegel J.A., Corsi R.L., Ultrafine particle removal and generation by portable air cleaners, *Atmospheric environment*, 2008.

## 4.2 Emissieprofielen

Alvorens met het programma TRNSYS simulaties uit te voeren om het effect van verschillende interventies op de blootstelling aan  $PM_{2.5}$  fijnstof te bepalen moet eerst een emissieprofiel worden afgeleid. De emissiepatronen zijn afgeleid op basis van de meetdata en de dataverwerking zoals beschreven in bijlage A. Om het effect van kookafzuiging als interventie vast te stellen, is een selectie gemaakt van woningen waarvan de bewoners hebben aangegeven dat er geen afzuigkap aanwezig is of dat ze een recirculatiekap gebruiken, omdat de berekende kookemissies voor deze woningen het meest representatief zijn. In woningen met een afzuigkap worden kookemissies immers (deels) direct naar buiten afgevoerd.. Woningen met een recirculatiekap zijn wel meegenomen in de analyses omdat in eerder onderzoek is vastgesteld dat het koolfilter in recirculatiekappen uit de door de afzuigkap ingevangen kooklucht maximaal 30% van het fijnstof afvangt, het restant wordt weer in de woning geblazen. Om emissieprofielen voor deze woningen af te leiden zijn van de winterperiode alle emissies per uur gerangschikt, zie Figuur 4-1. Er is specifiek voor de winterperiode gekozen omdat hiervoor een grotere dataset beschikbaar is en dan het gebruik van ramen minimaal is, waardoor de emissies beter zijn in te schatten. Daarnaast is nog ingezoomd op verschillen in woningen waarvan de bewoners hebben opgegeven dat ze wel en geen kaarsen branden. In Figuur 4-2 zijn in de linker figuur in de periode 21 tot 24 uur duidelijk emissies waarneembaar ten gevolge van het branden van kaarsen, terwijl dit in de rechter figuur niet het geval is.

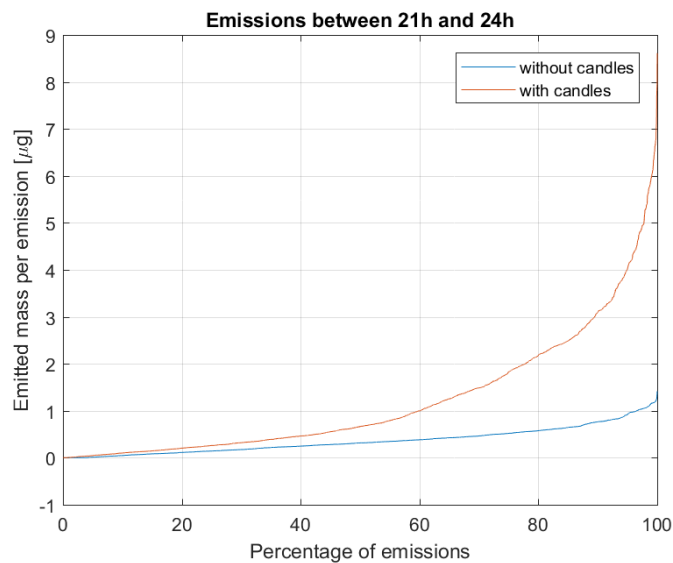


Figuur 4-1 distributie van  $PM_{2.5}$  fijnstof emissies tijdens stookseizoen in 48 woningen zonder afzuigkap of met recirculatiekap.



Figuur 4-2 distributie van PM<sub>2.5</sub> fijnstof emissies in woningen waarvan is aangegeven dat kaarsen worden gebrand (links, n= 67) en in woningen waarvan aangegeven is dat geen kaarsen worden gebrand (rechts, n = 201).

In Figuur 4-3 is voor de groepen met en zonder kaarsen de distributieverdeling van de cumulatieve emissie tussen 21 en 24 uur weergegeven. Er is een statistisch significant ( $p = 0.000563$ ) verschil waarneembaar.



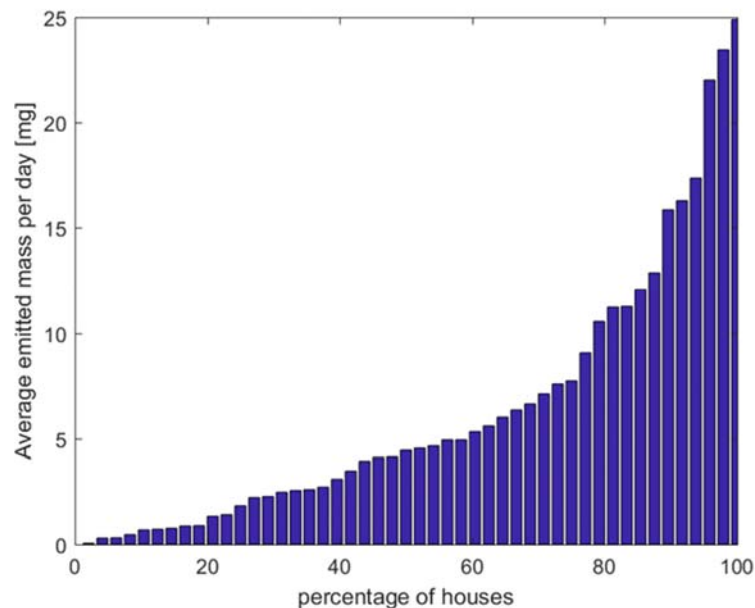
Figuur 4-3 cumulatieve emissies tussen 21 en 24 uur in woningen waarvan de bewoners hebben aangegeven dat ze wel en niet kaarsen branden.



Op basis van Figuur 4-1, Figuur 4-2 en Figuur 4-3 zijn in Tabel 4-2 de 90<sup>e</sup> en 50<sup>e</sup> percentiel waarden<sup>21</sup> van de emissies vermeld. Deze waarden zijn afgeleid voor de winterperiode.

Tabel 4-2 90<sup>e</sup> en 50<sup>e</sup> percentiel emissie karakteristiek voor de 48 woningen zonder afzuigkap of met recirculatiekap en de 67 woningen waarin kaarsen worden gebrand.

	Ontbijt (10 uur)	Lunch (13 uur)	Avondeten (18 uur)	Kaarsen (21 uur)
90 percentiel	5,4 mg in 10 min.	9,4 mg in 10 min.	22 mg in 10 min.	3,4 mg in 3 uur
50 percentiel	1,9 mg in 10 min.	1,7 mg in 10 min.	3,9 mg in 10 min.	0,9 mg in 3 uur



Figuur 4-4 verdeling van de daggemiddelde emissie per woning voor het winterseizoen voor de 48 woningen zonder afzuigkap of met recirculatiekap.

De verhouding tussen het aantal emissies bij ontbijt, lunch en diner bedraagt ongeveer 1 : 3 : 10 (zie figuur Figuur 3-2). Samen met de 50<sup>e</sup> percentiel waarde voor de daggemiddelde emissie van 4,4 mg uit Figuur 4-4 is een drie wekelijks emissiepatroon afgeleid, zie Tabel 4-3. Ook voor het 90<sup>e</sup> percentiel (daggemiddelde emissie van 16 mg) is een dergelijk emissiepatroon afgeleid.

De emissie ten gevolg ven kaarsen is in het emissiepatroon niet meegenomen, omdat het een kleiner aantal woningen betreft en om het opstellen van het emissiepatroon te vereenvoudigen.

<sup>21</sup> 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentiel: in respectievelijk 50% en 90% van de woningen is de emissie kleiner of gelijk aan de getoonde emissie en in respectievelijk 50% en 10% van de woningen is de emissie groter dan de getoonde emissie.

Tabel 4-3 90<sup>e</sup> en 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatronen gebaseerd op 48 woningen zonder afzuigkap of met recirculatiekap voor het winterseizoen

Emissiepatronen	50 <sup>e</sup> percentiel			90 <sup>e</sup> percentiel		
	Ontbijt [mg]	Lunch [mg]	Diner [mg]	Ontbijt [mg]	Lunch [mg]	Diner [mg]
1 – maandag			3,9			22,0
2 – dinsdag			3,9			
3 – woensdag			3,9			22,0
4 – donderdag			3,9			
5 – vrijdag			3,9			22,0
6 – zaterdag		1,7	3,9		9,4	22,0
7 – zondag		1,7	3,9		9,4	
8 – maandag			3,9			22,0
9 – dinsdag			3,9			
10 – woensdag			3,9			22,0
11 – donderdag			3,9			
12 – vrijdag			3,9			22,0
13 – zaterdag		1,7	3,9		9,4	22,0
14 – zondag	1,9	1,7	3,9	5,4		
15 – maandag			3,9			22,0
16 – dinsdag			3,9			
17 – woensdag			3,9			22,0
18 – donderdag			3,9			
19 – vrijdag			3,9			22,0
20 – zaterdag		1,7	3,9		9,4	22,0
21 – zondag	1,9	1,7		5,4		22,0
<b>Totaal</b>	<b>3,8</b>	<b>10,2</b>	<b>78</b>	<b>10,8</b>	<b>37,6</b>	<b>286,0</b>
<b>Daggemiddelde</b>	<b>4,4</b>			<b>15,9</b>		

### Vergelijking emissiepatroon met literatuur data

O'Leary<sup>22</sup> heeft voor vier typische avondmaaltijden de volgende kookemissies afgeleid: 4,4, 4,6, 20, en 37 mg. Dit zijn de waarden zoals de deeltjesterler ze rapporteerde, dus zonder gravimetrische correctie. Deze waarden komen goed overeen met de emissiewaarden voor het diner in het 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon. Chan<sup>23</sup> rapporteert op basis van metingen in 18 appartementen gedurende 2 weken 12 en 30 mg voor respectievelijk de mediane en gemiddelde waarde van in totaal 836 emissies. Als 5-95 percentiel waarden rapporteert Chan 1,4-154 mg, dit geeft aan dat de spreiding groot is. Een 154 mg emissie in een woonkamer/keuken met een inhoud van 100 m<sup>3</sup> correspondeert met een piekconcentratie van meer dan 1000 µg/m<sup>3</sup>.

Op 27 augustus 2018 is in het MEC lab van TNO de fijnstof emissie van kaarsen bepaald. Op basis van AirVibe concentratie metingen is afgeleid dat drie kaarsen

<sup>22</sup> O'leary C., Kluizenaar Y., Jacobs P., Borsboom W., Hall I., Jones B.G., Investigating measurements of fine particle (PM<sub>2.5</sub>) emissions from the cooking of meals and mitigating exposure using a cooker hood, Indoor Air, februari 2019.

<sup>23</sup> Chan W.R., et al., Quantifying fine particle emission events from time-resolved measurements: method description and application to 18 California low-income apartments, Indoor Air, 28: 89–101, 2018.

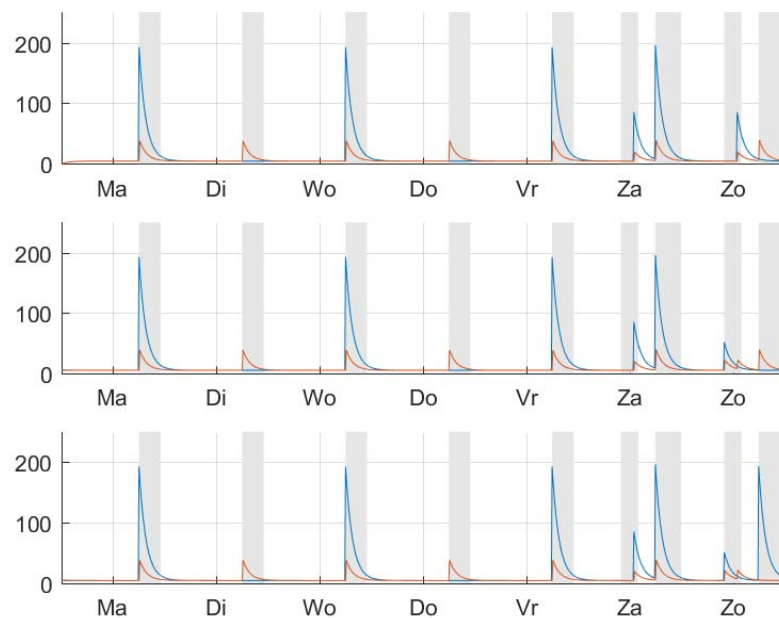
een emissie van circa 4 mg/uur veroorzaken. Op basis hiervan kan worden afgeleid dat bij de 90<sup>e</sup> percentiel waarde in Tabel 4-2 sprake is van het branden van 1 kaars.

#### 4.3 Effect interventies op concentratie PM<sub>2.5</sub>

Op basis van Tabel 4-1 in paragraaf 4.1 zijn drie interventies geselecteerd, waarvoor met behulp van simulaties de effectiviteit voor een range aan woningsituaties is onderzocht:

- Effect van kookafzuiging op PM<sub>2.5</sub>
- Effect van een F7 (ISO ePM<sub>2.5</sub> - 70%) filter in de luchttoevoer van balansventilatie op PM<sub>2.5</sub>
- Effect van decentrale filtering op PM<sub>2.5</sub>

Naast het enkelvoudige effect, is ook het effect van combinaties van deze interventies bepaald. Als eerste stap voor de bepaling van het effect zijn in paragraaf 4.2 twee emissiepatronen opgesteld: een 50<sup>e</sup> en een 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon, de resulterende PM<sub>2.5</sub> concentratie van deze emissiepatronen is te zien in Figuur 4-5.



Figuur 4-5 resulterende PM<sub>2.5</sub> concentratie bij het 50<sup>e</sup> (rood) en 90<sup>e</sup> (blauw) percentiel emissiepatroon in de woonkamer/keuken gedurende drie weken; de tijdsperiodes die voor aanwezigheid in de woonkamer/keuken zijn aangehouden, zijn grijs gearceerd.

Vervolgens zijn simulaties uitgevoerd met COMIS, zie Bijlage A. De blootstelling tijdens aanwezigheid in de woonkamer en de reductie door de maatregelen zijn voor de 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatronen in Tabel 4-4 en Tabel 4-5 weergegeven. Met name bij lage buitenconcentraties is het effect van kookafzuiging groot op de fijnstof concentratie in de woonkamer. Dit is in versterkte mate bij het 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon zichtbaar. Dit is een gevolg

van het feit dat in de simulaties de binnenbronnen voor het merendeel worden veroorzaakt door kookemissies. Bij hogere buitenconcentraties wordt de luchtreiniger effectiever omdat deze ook fijnstof ten gevolge van infiltratie van buitenlucht weg filtert.

Tabel 4-4 blootstelling tijdens aanwezigheid in de woonkamer bij drie buitenluchtconcentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $qv,10$  van  $80 \text{ dm}^3/\text{s}$  en 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Buitenluchtconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1		11,5		22	
	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>9,3</b>		<b>13,6</b>		<b>17,9</b>	
C, met kookafzuiging	0,8	91%	5,6	59%	10,4	42%
C, met luchtreiniger	0,2	98%	3,1	77%	3,7	79%
C, met kookafzuiging en luchtreiniger	0,2	98%	1,0	93%	1,8	90%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>7,1</b>		<b>13,3</b>		<b>19,6</b>	
D, met kookafzuiging	0,9	87%	7,3	45%	13,8	29%
Idem + F7 filter in toevoer	0,6	92%	3,5	73%	6,5	67%
D, met luchtreiniger	2,4	67%	4,0	70%	5,6	71%
D, met kookafzuiging en luchtreiniger	0,3	96%	2,0	85%	3,8	80%
Idem + F7 filter in toevoer	0,2	98%	0,8	94%	1,3	93%

Tabel 4-5 blootstelling tijdens aanwezigheid in de woonkamer bij drie buitenluchtconcentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $qv,10$  van  $80 \text{ dm}^3/\text{s}$  en 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Buitenluchtconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1		11,5		22	
	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>30,1</b>		<b>34,3</b>		<b>38,5</b>	
C, met kookafzuiging	1,7	94%	6,3	82%	10,8	72%
C, met luchtreiniger	6,4	79%	6,9	80%	7,5	81%
C, met kookafzuiging en luchtreiniger	0,3	99%	1,0	97%	1,7	96%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>21,3</b>		<b>27,5</b>		<b>33,7</b>	
D, met kookafzuiging	1,5	93%	7,8	71%	14,2	58%
Idem + F7 filter in toevoer	1,2	94%	4,2	85%	7,2	79%
D, met luchtreiniger	5,5	70%	7,1	74%	8,7	74%
D, met kookafzuiging en luchtreiniger	0,4	98%	2,1	93%	3,5	90%
Idem + F7 filter in toevoer	0,3	99%	0,9	97%	1,3	96%

### Weekgemiddelde blootstelling

De simulatieresultaten voor de concentratie fijnstof in de woonkamer tijdens aanwezigheid zijn vervolgens gecombineerd met typische scenario's voor het verblijf van mensen om tot een typische weekgemiddelde blootstelling te komen. Hierbij is een vast verblijfsscenario aangehouden voor de tijdsperiode dat personen in de woonkamer, in de slaapkamer, in de buitenlucht of op het werk verblijven (zie Bijlage A). De weekgemiddelde blootstelling en de reductie door de maatregelen zijn voor de 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatronen in Tabel 4-6 en Tabel 4-7 weergegeven.

Bij de Nederlandse jaargemiddelde buitenluchtconcentratie van  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zorgt kookafzuiging voor een reductie van 29 en 20% voor respectievelijk systeem C en

D bij het 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon. De lagere reductie bij systeem D komt omdat hier gemiddeld een hogere infiltratiestroom optreedt dan bij systeem C, waardoor meer fijnstof uit de buitenlucht naar binnen komt. De hoogste blootstellingsreductie wordt behaald indien een woning met ventilatiesysteem C met kookafzuiging en luchtreinigers is uitgevoerd (reductie van 65% bij de jaargemiddelde buitenluchtconcentratie van 11,5 µg/m<sup>3</sup>). Dit komt omdat met deze combinatie zowel kookemissies als buitenlucht infiltratie door ventilatieroosters wordt aangepakt. Hierdoor dienen de luchtreinigers wel 7 dagen per week 24 uur per dag aan te staan. Ook wordt door de luchtreiniger het gedeelte fijnstof wat bij de kookafzuiging ontsnapt (aannee 5% in de simulatie) afgevangen. Voordeel van deze interventiestrategie is ook dat deze bij alle typen ventilatiesystemen, zelfs in woningen zonder ventilatiesysteem (systeem A), kan worden toegepast. Nadeel van deze combinatie is dat het een relatief dure oplossing is, bestaande uit minimaal twee luchtreinigers, waarvan één in de woonkamer/keuken en de andere(n) in de slaapkamer(s). Ook het energiegebruik is relatief hoog. Bij aanname van 2 units die elk 50 W verbruiken bedraagt het elektriciteitsverbruik 2,4 kWh/dag. Dit kan worden gereduceerd naar circa 1 kWh/dag door vraagsturing toe te passen met in de luchtreinigers geïntegreerde fijnstof sensoren.

In een woning met ventilatiesysteem D zorgt de combinatie van kookafzuiging en een F7 filter in de luchttoevoer bij een gemiddelde buitenconcentratie van 11,5 µg/m<sup>3</sup> reeds voor een reductie van 48%, oplopend tot 62% indien dit wordt gecombineerd met luchtreinigers. De combinatie kookafzuiging en F7 filter in de luchttoevoer is met name in luchtdichte woningen met balansventilatie (systeem D) een relatief goedkoop, energiezuinig en effectief concept. In deze luchtdichte woningen is het energiegebruik laag vanwege warmteterugwinning uit de ventilatielucht, zeker bij terugwinning van de kookwarmte in het stookseizoen.

Tabel 4-6 weekgemiddelde blootstelling bij drie buitenluchtconcentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $q_{v,10}$  van 80 dm<sup>3</sup>/s en 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon

Buitenluchtconcentratie [µg/m <sup>3</sup> ]	1		11,5		22	
	[µg/m <sup>3</sup> ]	reductie	[µg/m <sup>3</sup> ]	reductie	[µg/m <sup>3</sup> ]	reductie
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>3,0</b>		<b>7,4</b>		<b>11,8</b>	
C, met kookafzuiging	0,7	76%	5,3	29%	9,8	17%
C, met luchtreinigers in verblijfsruimten	0,9	70%	3,2	57%	4,7	60%
C, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,4	86%	2,6	65%	4,7	60%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>2,5</b>		<b>8,2</b>		<b>13,8</b>	
D, met kookafzuiging	0,8	67%	6,6	20%	12,3	11%
Idem + F7 filter in toevoer	0,6	75%	4,3	48%	8,0	43%
D, met luchtreinigers in verblijfsruimten	1,0	58%	3,8	54%	6,5	53%
D, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,5	80%	3,3	60%	6,0	56%
Idem + F7 filter in toevoer	0,4	83%	2,5	62%	4,6	67%

In Tabel 4-7 is het effect van maatregelen voor het 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon weergegeven. Aangezien bij dit emissiepatroon binnenbronnen een veel groter aandeel hebben - en in de simulaties wordt verondersteld dat deze worden veroorzaakt door kookemissies - neemt met name de effectiviteit van kookafzuiging toe.

Tabel 4-7 weekgemiddelde blootstelling bij drie buitenluchtconcentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $q_{v,10}$  van 80 dm<sup>3</sup>/s en 90° percentiel emissiepatroon

Buitenluchtconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1		11,5		22	
	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>8,6</b>		<b>13,0</b>		<b>17,4</b>	
C, met kookafzuiging	1,0	89%	5,4	58%	9,9	73%
C, met luchtreinigers in verblijfsruimten	2,1	76%	4,2	68%	5,8	67%
C, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,5	95%	2,6	80%	4,7	73%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>6,3</b>		<b>12,0</b>		<b>17,6</b>	
D, met kookafzuiging	1,0	84%	6,7	44%	12,4	30%
Idem + F7 filter in toevoer	0,8	87%	4,4	63%	8,1	54%
D, met luchtreinigers in verblijfsruimten	1,9	70%	4,6	61%	7,3	58%
D, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,5	92%	3,3	73%	5,9	66%
Idem + F7 filter in toevoer	0,5	93%	2,5	79%	4,6	74%

Alle blootstellingsberekeningen zijn uitgevoerd voor een typische woning met een luchtdichtheid  $q_{v,10}$  van 80 dm<sup>3</sup>/s. Echter, aangezien bij balansventilatie de laagste luchtdichtheid het energiegebruik voor ventilatie sterk reduceert is ook een blootstellingsberekening gemaakt voor deze luchtdichtheid van 20 dm<sup>3</sup>/s, de resultaten zijn samengevat in onderstaande tabel. Hieruit blijkt dat bij een woning luchtdichtheid  $q_{v,10}$  van 20 dm<sup>3</sup>/s de gemiddelde blootstelling met 10%punt wordt gereduceerd ten opzichte van de  $q_{v,10}$  van 80 dm<sup>3</sup>/s (respectievelijk 58% en 48%). Interessant is om te zien dat in de referentie door de hogere luchtdichtheid de blootstelling bij het 90° percentiel emissiepatroon toeneemt bij een luchtdichtere woning. Dit illustreert de noodzaak voor kookafzuiging in energiezuinige woningen.

Tabel 4-8 weekgemiddelde blootstelling bij drie buitenluchtconcentraties in een woning met ventilatiesysteem D, een  $q_{v,10}$  van 20 en 80 dm<sup>3</sup>/s en 50° en 90° percentiel emissiepatroon

Emissie patroon	$q_{v,10}$ [dm <sup>3</sup> /s]	Geen kookafzuiging (referentie) [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Wel kookafzuiging + F7 filter [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Reductie [%]
50	80	8,2	4,3	48
50	20	7,9	3,3	58
90	80	12,0	4,4	63
90	20	12,4	3,5	72

#### 4.4 Effect interventies op ventilatie warmteverlies

In Tabel 4-9 wordt een overzicht gegeven van het warmteverlies door ventilatie voor de verschillende scenario's. De berekeningswijze van dit warmteverlies door ventilatie is in Bijlage A toegelicht. Bij systeem D kan de kookwarmte deels worden teruggewonnen. Volgens Milieuceentraal verbruikt een inductieplaat 175 kWh per jaar. Gedurende het stookseizoen betreft dit circa 90 kWh, of circa 0,5 kWh per dag. Stel dat hiervan 80% kan worden teruggewonnen dan is dit 0,4 kWh per dag.

Bij een zeer luchtdichte woning is het warmteverlies door ventilatie en afzuigkap bij systeem D in dat geval een factor 7 lager dan bij systeem C.

Tabel 4-9 ventilatie warmteverlies woning (kWh/dag) in stookseizoen door bij toepassing van ventilatiesysteem C en D, wel en geen kookafzuiging bij verschillende luchtdichtheden ( $q_{v,10}$ ).

$q_{v,10}$ [dm <sup>3</sup> /s]	20	80	150	236
<b>C</b>	2,8	3,2	5,5	8,2
<b>C met kookafzuiging</b>	3,0	3,4	5,7	8,4
<b>D</b>	0,8	2,7	4,9	7,6
<b>D met kookafzuiging</b>	0,4	2,3	4,5	7,1

Wel is bij systeem D het elektriciteitsverbruik hoger. Bij systeem C bedraagt dit bij aanname van een gemiddeld verbruik van 20 W door de afzuigbox 175 kWh/jaar. Bij systeem D wordt het verbruik van de unit met F7 filter geschat op 50 W, wat op jaarbasis neerkomt op een verbruik van 438 kWh. Deze getallen zijn in hoge mate afhankelijk van het gebruik van het ventilatiesysteem en de drukval over de ventilatiekanalen.

#### 4.5 Conclusie interventiestrategieën

De combinatie van kookafzuiging met decentrale luchtreinigers in de verblijfsruimten zorgt voor de grootste reductie van de totale weegemiddelde blootstelling, namelijk 65%. Voordeel van deze interventiestrategie is dat deze in bestaande woningen bij alle ventilatiesystemen, zelfs in woningen zonder ventilatiesysteem (systeem A) kan worden toegepast. Nadeel van deze combinatie is dat het een relatief dure oplossing is, bestaande uit minimaal twee luchtreinigers, waarvan één in de woonkamer/keuken en de andere(n) in de slaapkamer(s). Ook het energiegebruik van dit scenario is relatief hoog. Dit kan worden gereduceerd door vraagsturing toe te passen met in de luchtreinigers geïntegreerde fijnstof sensoren.

De combinatie kookafzuiging en een F7 (ISO ePM<sub>2.5</sub> - 70%) filter in de luchttoevoer is alleen in woningen met balansventilatie (systeem D) toe te passen. Het is een relatief goedkoop, energiezuinig concept. In doorsnee woningen is de totale blootstellingsreductie 48%, in zeer luchtdichte ( $q_{v,10} \leq 20$  dm<sup>3</sup>/s) woningen zelfs 58%. Het energiegebruik is laag vanwege warmteterugwinning uit de ventilatielucht en omdat ook de kookwarmte kan worden teruggewonnen. In het TKI project VentKook is met dit concept de NeroZero demowoning ontwikkeld.

## 5 Algoritme ontwikkeling (WP 4)

### 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de algoritmes toegelicht die binnen dit project zijn ontwikkeld om de data-analyse te automatiseren. Het betreft algoritmes voor:

- Het controleren van de datakwaliteit (paragraaf 5.2)
- Het herkennen van binnenbronnen van fijnstof (paragraaf 5.3)
- Het herkennen van fijnstof emissies ten gevolge van koken (paragraaf 5.4)
- Het herkennen van fijnstof emissies ten gevolge van het branden van kaarsen (paragraaf 5.5)
- Het corrigeren van de piekconcentratie indien de fijnstof sensor dicht op een bron staat (paragraaf 5.6)
- Het afwegen van interventies (paragraaf 5.7)
- Het bepalen in welke ruimte van de woning de sensor staat (paragraaf 5.8)

### 5.2 Algoritmes controleren datakwaliteit

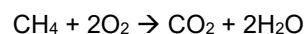
Voor grootschalige toepassing van luchtkwaliteitssensoren waarbij gedurende langere tijd wordt gemeten is het uitermate van belang om de datakwaliteit automatisch te kunnen controleren en om automatisch corrupte sensor data te kunnen verwijderen. De Matlab algoritmes die in dit project zijn ontwikkeld voor het opschonen van de data zijn in paragraaf 2.3.3 nader toegelicht.

### 5.3 Algoritme herkennen binnenbronnen fijnstof

Meestal wordt gebruik gemaakt van dagboekjes om de herkomst van pieken te achterhalen. Een andere methode is het gebruik van smart phone foto's. Een korte search op google scholar (peak detection algorithms indoor sources PM<sub>2.5</sub>) gaf geen resultaten. Volgens het in Be Aware ontwikkelde algoritme is er sprake van een binnenbron van fijnstof indien de binnenconcentratie hoger is dan op basis van de buitenconcentratie en de infiltratie zou worden verwacht, zie bijlage A. Bij grootschalige toepassing van sensoren is het praktisch gezien niet mogelijk om in de nabijheid van de woning de hiervoor benodigde buitenlucht fijnstof sensor te plaatsen. Om in de buitenlucht bij vochtige condities nauwkeurig fijnstof te kunnen meten dient de lucht te worden voorverwarmd. De sensor wordt hierdoor een stuk duurder. De sensor dient van stroom te worden voorzien en ook tegen vandalisme of diefstal te worden beschermd. Om dit probleem op te lossen is een algoritme ontwikkeld waarbij op basis van postcode 4 gegevens gebruik wordt gemaakt van het meest nabijgelegen stadsachtergrond fijnstof meetstation van [www.luchtmeetnet.nl](http://www.luchtmeetnet.nl). Deze methode is nader onderbouwd en toegelicht in Bijlage D.

### 5.4 Algoritme herkennen fijnstof emissies ten gevolge van koken

Fijnstof ten gevolge van koken op gas is met een algoritme te identificeren op basis van de CO<sub>2</sub> afgifte door de gasverbranding bij het koken.



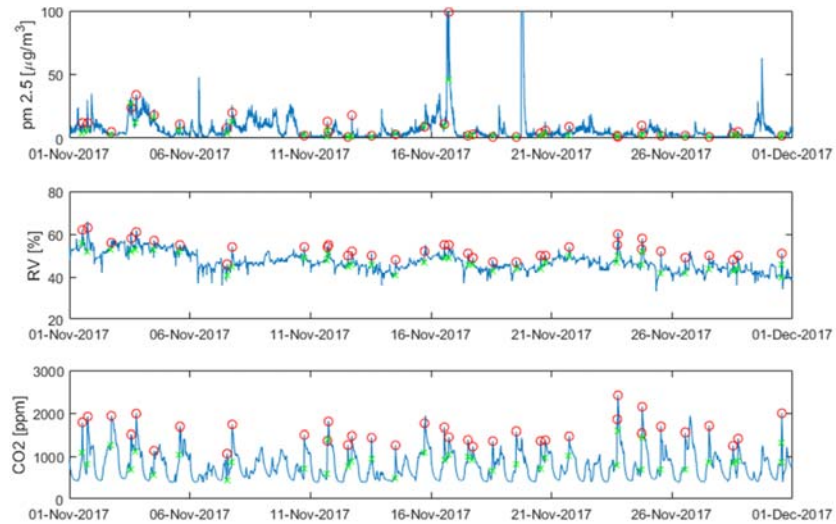


O'leary (2019) heeft het gasverbruik bij het bereiden van een aantal typische maaltijden beschreven, waaronder: kip, gebakken aardappelen en boontjes. Gemiddeld vermogen 2500 W. In 28 minuten werd in totaal 118 liter methaan verbrand. Hierbij wordt 118 liter CO<sub>2</sub> en 236 liter waterdamp gevormd. Stel een woonkamer/keuken met volume van 100 m<sup>3</sup> en er wordt geen gebruik gemaakt van een afzuigkap of er wordt een recirculatiekap gebruikt. Dan treedt een CO<sub>2</sub> concentratie verhoging door koken van een maaltijd op gas op van 1178 ppm. Door de kok wordt in dezelfde periode 8 liter CO<sub>2</sub> afgegeven. Dit is 7% van de gasverbranding. Met andere woorden, koken van een typische maaltijd op gas veroorzaakt dezelfde CO<sub>2</sub> productie als 14 personen. Bij de aanwezigheid van 1 persoon is koken op gas dus duidelijk waarneembaar. Indien meerdere personen aanwezig zijn of indien een afzuigkap aanwezig is die de verbrandingsgassen gedeeltelijk direct afvoert is het moeilijker vast te stellen wat de bron van de CO<sub>2</sub> concentratieverhoging is. Dit geldt ook indien bijvoorbeeld voor deze maaltijd het water voor de groenten in een elektrische waterkoker wordt opgewarmd. Of dat de aardappels niet worden gebakken maar in de oven worden bereid.

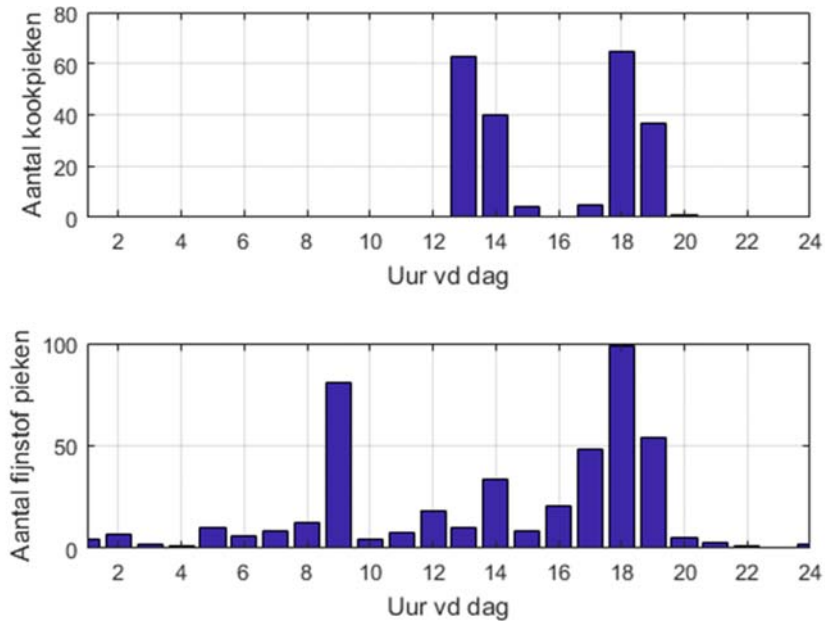
In principe is het ook mogelijk om op basis van een snelle verhoging van de relatieve vochtigheid fijnstof te duiden als afkomstig van koken. Bij het koken van dezelfde maaltijd wordt 173 g waterdamp gevormd door de gasverbranding. Dit resulteert in een verhoging van absolute waterdamp concentratie met 1,7 g/m<sup>3</sup>, wat bij typische condities correspondeert met een toename van 12% in relatieve vochtigheid. De relatieve vochtigheid neemt ook toe door waterverdamping uit de pannen. Daarnaast geven ook de aanwezige personen waterdamp af, de waterdampproductie per persoon per uur bedraagt 60 g/uur, dus 30 g per 30 minuten. De vochtgiftige ten gevolge van gasverbranding is dus circa 3 maal zo hoog als die van een persoon. Aangezien vocht in tegenstelling tot CO<sub>2</sub> ook deels kan absorberen is vocht een minder goede indicator voor gasverbranding dan CO<sub>2</sub>.

### **Kook detectie algoritme**

Indien een fijnstof piek waarneembaar is en gelijktijdig binnen een half uur meer dan 50 liter CO<sub>2</sub> wordt geëmitteerd (500 ppm verhoging) en in de vragenlijst is aangegeven dat op gas wordt gekookt is het waarschijnlijk dat bakken en braden op gas de bron van het fijnstof is. Een logische interventie is dan het implementeren van adequate kookafzuiging. In Figuur 5-1 is voor één woning het resultaat van het algoritme te zien. De rode cirkeltjes indiceren mogelijke kookpieken. Op basis van de toename van CO<sub>2</sub> wordt er bepaald of er wel of niet gekookt wordt. In Figuur 5-2 staan zowel de kookpieken als de fijnstof emissies per uur weergegeven. Hieruit is op te maken dat niet alle fijnstof pieken voor deze woning komen door koken, en niet alle kookpieken leiden tot fijnstof emissies. De kookpieken rond 18 uur hebben wel een sterke correlatie met de fijnstofemissies.



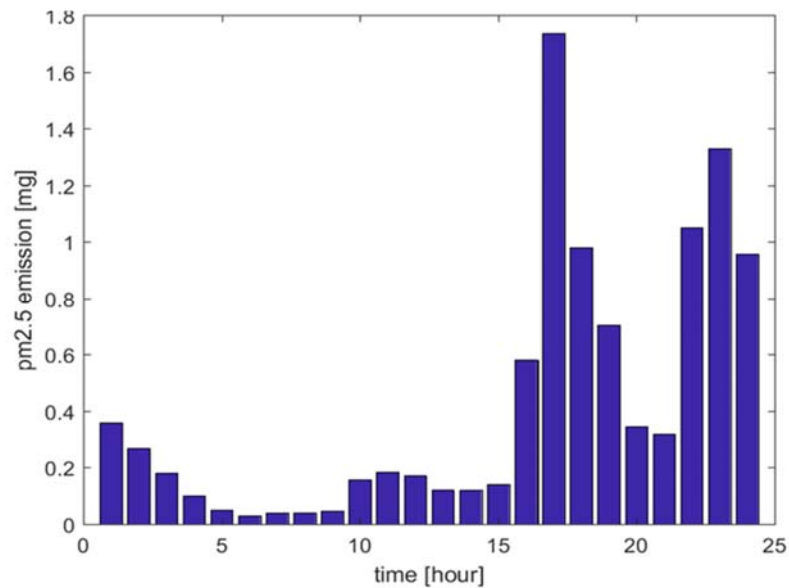
Figuur 5-1: Automatische detectie van kookpieken op basis van CO<sub>2</sub> toename



Figuur 5-2 Het aantal kookpieken en het aantal fijnstof emissies.

### 5.5 Algoritme herkennen fijnstof emissies ten gevolge van het branden van kaarsen

Uit de emissieprofielen in paragraaf 4.2 blijkt dat fijnstof emissies ten gevolge van kaarsen met name optreden na 21.00 uur in de avond. In Figuur 5-3 is een typisch emissieprofiel te zien van een huishouden dat kaarsen brandt. Indien de emissie tussen 21 en 24 uur hoger is dan 1 mg dan is de kans groot dat het branden van kaarsen de oorzaak is.



Figuur 5-3 Typisch emissiepatroon voor een huishouden dat kaarsen brandt.

## 5.6 Algoritme correctie piekconcentratie indien fijnstof sensor dicht op een bron

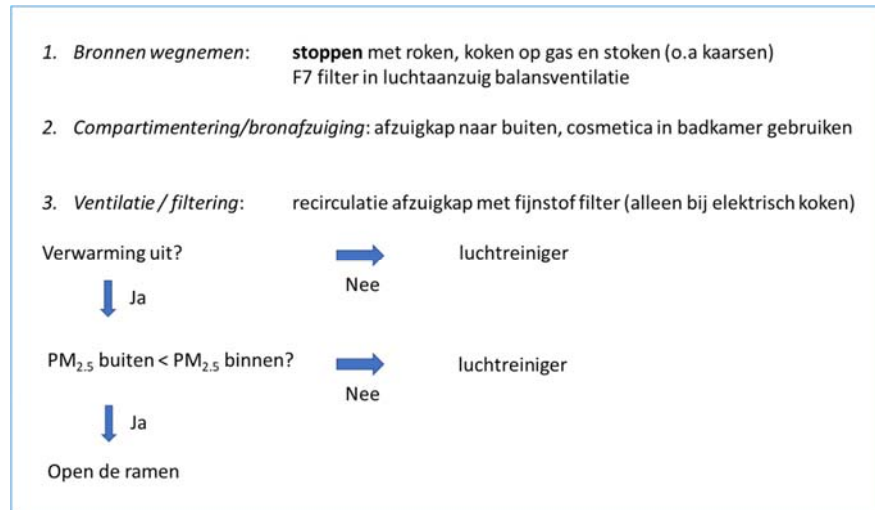
Indien de fijnstof sensor in de keuken staat is er een vrij grote kans dat op basis van de gemeten concentratie met het algoritme van Chan (2017) een te hoge emissie wordt berekend. Deze emissie kan bijvoorbeeld meer dan een factor twee te hoog worden ingeschat, zie bijvoorbeeld de situatie in Figuur A-5. Dit komt omdat dat algoritme uitgaat van volledige menging in de keuken/woonkamer. Echter, indien consumenten hun sensor in de directe nabijheid, 0,5 tot 1 m van de kookplaat, plaatsen dan bestaat de mogelijkheid dat de bij het koken vrijgekomen fijnstof wordt gemeten voordat deze in de ruimte is opgemengd. Volgens Ott<sup>24</sup> kan hierdoor de concentratie met een factor drie worden overschat. In bijlage A is het algoritme nader toegelicht hoe hiermee de piekconcentratie wordt gecorrigeerd.

## 5.7 Algoritme afweging interventies

Voor de afweging van maatregelen (zie Figuur 5-4) wordt zoals in paragraaf 4.1 is toegelicht bij voorkeur de arbeidshygiënische prioritering toegepast: als eerste stap worden bronnen weggenomen, als dat niet mogelijk is wordt in de tweede stap compartimentering en bronafzuiging toegepast, en dan pas wordt als derde stap de verontreiniging met ventilatie of filtering verdund. De bronaanpak zorgt voor 100% effectiviteit. Denk hierbij aan stoppen met roken, stoppen met koken op gas en stoppen met het branden van kaarsen in huis. Maar ook aan het beter filteren van fijnstof in de luchtaanzuig bij balansventilatie. Als dat niet mogelijk is kunnen binnen emissies in de zomer door extra ventilatie met open ramen relatief snel worden weg

<sup>24</sup> Ott, Mathematical modeling of indoor air quality, p.422, 2006

geventileerd. In de winter leidt dit tot extra energiegebruik. In deze situatie is luchtreiniging door filtering te prefereren. Luchtreiniging is ook te prefereren indien buiten de fijnstof concentratie hoger is dan binnen. Bij kookemissies wordt bij voorkeur betere kookafzuiging toegepast met afvoer naar buiten. Indien dat niet mogelijk is dan kan indien niet op gas wordt gekookt worden gekozen voor een recirculatieafzuigkap met fijnstof filter.



Figuur 5-4 schema voor afweging interventies.

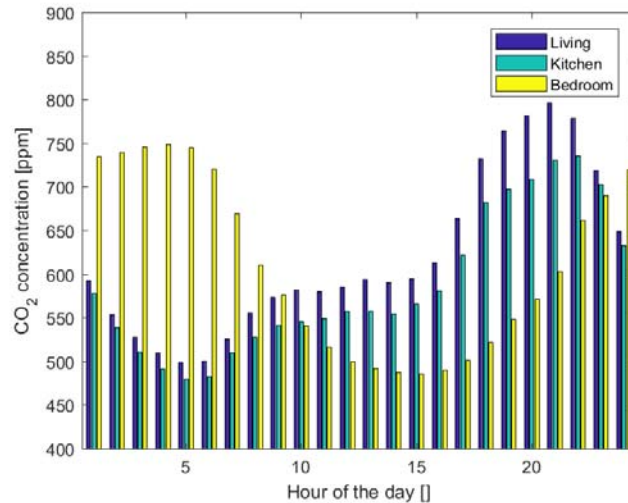
## 5.8 Algoritme sensorbox locatie

De huishoudens die hebben deelgenomen in het onderzoek hebben een sensorbox ontvangen die ze naar eigen inzicht in een vertrek in huis mochten plaatsen. Om te kunnen detecteren in welke ruimte de sensorbox is geplaatst, kan gebruik worden gemaakt van typische concentratieprofielen ten aanzien van CO<sub>2</sub> en de luchtvochtigheid in de verschillende ruimtes, zie Figuur 5-5 en Figuur 5-6. De locatie van de sensorbox is van belang voor het uitvoeren van verdere analyses op de meetdata.

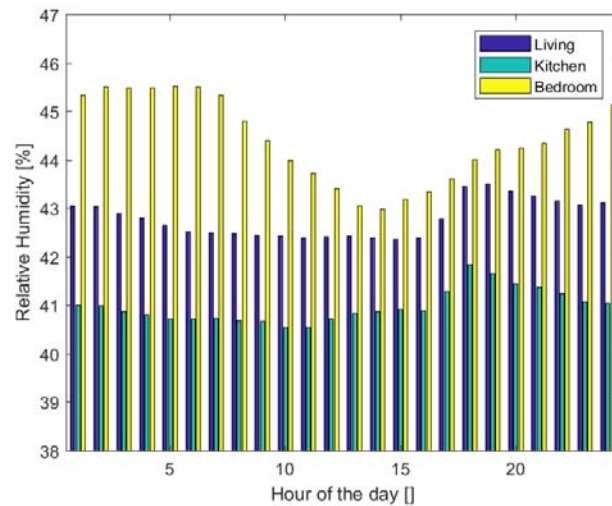
- Woonkamer/Keuken
  - Overdag is de CO<sub>2</sub> concentratie verhoogd ten opzichte van buiten en de slaapkamer, gemiddeld genomen is de concentratie rond 20.00 uur het hoogst, zie Figuur 5-5. Na 12 uur 's nachts treedt een daling op. Omdat in veel woningen een deel van de ventilatielucht vanuit de slaapkamers overstroomt naar de woonkamer/keuken kan ook in de nacht de concentratie ten opzichte van buiten verhoogd zijn.
- Slaapkamer
  - CO<sub>2</sub> concentratie is 's nachts hoger dan overdag
  - Relatieve luchtvochtigheid is 's nachts hoger dan overdag
- Badkamer
  - Relatieve luchtvochtigheid vertoont hoge pieken, afkomstig van douchen. Hierdoor kan in korte tijd, bijvoorbeeld in 10 minuten, de relatieve vochtigheid met tientallen procenten stijgen tot verzadiging optreedt. Dit in tegenstelling

tot de relatief beperkte veranderingen in de woonkamer en slaapkamer, zie Figuur 5-6.

Bij eenpersoonshuishoudens kan met name in de zomer het lastig zijn om te detecteren of de sensor zich in de woonkamer/keuken of in de slaapkamer bevindt. Dit omdat dan de bronsterkte relatief klein is ten opzichte van de mate van ventilatie waardoor er dan maar een beperkte CO<sub>2</sub> concentratie stijging optreedt.



Figuur 5-5 Uurlijkse gemiddelde CO<sub>2</sub> concentratie, gemeten in verschillende vertrekken.



Figuur 5-6 Uurlijkse gemiddelde relatieve luchtvochtigheid, gemeten in verschillende vertrekken.

## 6 Conclusies en mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

In dit hoofdstuk worden eerst de conclusies en aanbevelingen uit het onderzoek puntsgewijs samengevat. Vervolgens wordt ingegaan op mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten.

### 6.1 Conclusies en aanbevelingen

#### 6.1.1 Conclusies

Op basis van de meetdata kan het volgende worden geconcludeerd:

- De jaargemiddelde PM<sub>2.5</sub> concentratie in de woningen bedraagt 8,2 µg/m<sup>3</sup>. In 15% van deze woningen is de jaargemiddelde concentratie hoger dan de WHO jaargemiddelde advieswaarde van 10 µg/m<sup>3</sup>.
- De concentratie op basis van aanwezigheid in de woonkamer/keuken is hoger, respectievelijk 10 en 12,7 µg/m<sup>3</sup> op basis van CO<sub>2</sub> data en op basis van tijds patroon. Aangezien dit alleen de blootstelling bij aanwezigheid in de woonkamer/keuken betreft zijn deze waarden niet te vergelijken met de WHO jaargemiddelde advieswaarde.
- Voorgaand overschrijdingspercentage betreft de gemiddelde concentratie zoals deze is gemeten met de AirVibe sensor. Uit diverse onderzoeken is bekend dat fijnstof meters gebaseerd op optische meetprincipes in geval van koken als bron van fijnstof de concentratie onderschatten, de kalibratiefactor is echter sterk afhankelijk van het type bron, waardoor correctie niet mogelijk is. In een simulatie is een inschatting gemaakt van het effect van de onderschatting. Dit leidde tot de situatie dat in bijna 50% van de woningen de jaargemiddelde WHO advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub> wordt overschreden.
- De daggemiddelde advieswaarde voor PM<sub>2.5</sub> van de WHO van 25 µg/m<sup>3</sup>, wordt ruim 10 dagen per jaar overschreden (ongecorrigeerd). Echter, de spreiding is groot, er zijn woningen waarin deze waarde geen enkele dag wordt overschreden en woningen waar dit vaker dan 35 dagen per jaar voorkomt.
- Op basis van zowel het aantal emissies als de bronsterkte blijkt koken de grootste binnenbron van fijnstof te zijn. De meeste emissies vinden plaats tussen 18 en 20 uur.
- Gemiddeld bedraagt de bijdrage van de binnenbronnen 41%, met een spreiding tussen 0 en bijna 100%.
- De infiltratiefactor, het effect van de buitenconcentratie op de binnenconcentratie, is gemiddeld 0,52. Dit betekent dat bij afwezigheid van binnenbronnen, een buitenconcentratie van 11.5 µg/m<sup>3</sup> (gemiddelde waarde voor Nederland) leidt tot een binnenconcentratie van 6 µg/m<sup>3</sup>. De gemiddelde infiltratiefactor is vergelijkbaar met andere in de literatuur gerapporteerde onderzoeken.
- Gemiddeld komt de concentratie koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) in de woonkamer in de winter 4 uur per week boven de 1200 ppm. Volgens de Gezondheidsraad duidt dit op onvoldoende luchtverversing. Dit is lager dan in eerdere onderzoeken, Mogelijk heeft de AirVibe sensor tot bewustwording en een beter ventilatiegedrag geleid.

Op basis van de simulaties van interventiestrategieën kan het volgende worden geconcludeerd:

- Combinatie van kookafzuiging met decentrale luchtreinigers in de verblijfsruimten zorgt voor de grootste reductie van totale weekgemiddelde blootstelling, namelijk 65%. Voordeel van deze interventiestrategie is dat deze in bestaande woningen bij alle ventilatiesystemen, zelfs in woningen zonder ventilatiesysteem (systeem A) kan worden toegepast. Nadeel van deze combinatie is dat het een relatief dure oplossing is, bestaande uit minimaal twee luchtreinigers, waarvan één in de woonkamer/keuken en de andere(n) in de slaapkamer(s). Ook het energiegebruik van dit scenario is relatief hoog. Dit kan worden gereduceerd door vraagsturing toe te passen met in de luchtreinigers geïntegreerde fijnstof sensoren.
- De combinatie kookafzuiging en een F7 (ISO ePM<sub>2.5</sub> - 70%) filter in de luchttoevoer is alleen in woningen met balansventilatie (systeem D) toe te passen. Het is een relatief goedkoop, energiezuinig concept. In doorsnee woningen is de totale blootstellingsreductie 48%, in zeer luchtdichte ( $q_{v,10} \leq 20$  dm<sup>3</sup>/s) woningen zelfs 58%. Het energiegebruik is laag vanwege warmterugwinning uit de ventilatielucht en omdat ook de kookwarmte kan worden teruggewonnen. In het TKI project VentKook is met dit concept de NeroZero demowoning ontwikkeld.

### 6.1.2 Aanbevelingen

Simulaties op basis van grootschalige monitoringsdata geven aan dat adequate kookafzuiging de totale PM<sub>2.5</sub> fijnstof blootstelling met 20 tot 29% kan verlagen. Aanbevolen wordt om in bestaande woningen dergelijke kookafzuiging te combineren met decentrale luchtreinigers. Met deze combinatie kan de totale PM<sub>2.5</sub> fijnstof blootstelling zelfs met 65% worden gereduceerd. Om brede toepassing van deze kookafzuiging in energiezuinige woningen mogelijk te maken is het noodzakelijk dat de bouwregelgeving wordt herzien en aanvullende eisen worden gesteld, waardoor in de keuken 300 m<sup>3</sup>/uur toevoer- en afzuigcapaciteit beschikbaar is. Indien dergelijke kookafzuiging wordt gecombineerd met een F7 filter in de luchttoevoer van woningen voorzien van balansventilatie kan de PM<sub>2.5</sub> fijnstof blootstelling met 48% en in zeer luchtdichte woningen zelfs met 58% worden gereduceerd (zonder toepassing van luchtreinigers). Energiebesparing en een gezond leefmilieu gaan hierbij hand in hand.

Gezien het potentieel is de aanbeveling om de combinatie van geïntegreerde kookafzuiging in balansventilatie met WTW en F7 fijnstof filtering verder uit te ontwikkelen tot een breed toepasbaar concept voor nieuwbouwwoningen en renovatie.

Vergeleken met eerdere studies is Be Aware zowel wat betreft schaalgrootte als de meetduur veel grootschaliger. Dit maakt het noodzakelijk om automatisch werkende algoritmen te ontwikkelen voor de data analyse. De ontwikkelde algoritmen kunnen ingezet worden voor automatische piekdetectie, bepalen van bronsterkte, automatische ruimtedetectie en bron detectie wat betreft koken op gas en kaarsen. Bedrijven kunnen hiermee op termijn nieuwe producten en diensten ontwikkelen die inspelen op de bewustwording van de consument, waarmee deze gerichte interventies kunnen plagen om het binnenklimaat te verbeteren.

Om het effect van de verschillende interventies te kunnen toetsen, zou het wenselijk zijn een interventiestudie uit te voeren, waarbij de luchtkwaliteit bij meerdere huishoudens zowel voor als na de interventie langdurig wordt gemeten.

## 6.2 Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

Aan het eind van het project zijn twee stakeholder workshops gehouden waarin de onderzoeksresultaten zijn besproken en is gediscussieerd over mogelijke interventies en daaraan gekoppelde businesscases die voor de aanwezige marktpartijen interessant zouden kunnen zijn.

Daarnaast is op basis van de resultaten van het Be Aware project kennis overgedragen in twee trajecten:

1. Literatuuronderzoek voor Longfonds/Philips/ABN Amro en DHV Haskoning  
TNO rapport 2019 R10969
2. Gezond Gasloos voor Professionals  
TNO rapport 2019 R11882

## 6.3 PR en wijze van kennisverspreiding

**Artikelen in wetenschappelijke magazines en conferentiebijdragen:**  
Indoor air quality in Nearly Zero Energy Buildings, reduction of exposure, AIVC conferentie, oktober 2019, Gent

### Magazines

De nieuwste inzichten over fijnstof in huis, Eigen huis magazine, p. 16 – 21, april 2018.

1000 huishoudens monitoren op CO<sub>2</sub> en fijnstof, VV+, januari, 2019.

Fijnstof en roet in de buitenlucht komen ongehinderd naar binnen, VV+ januari, 2019

### Krantenartikelen

Volkskrant 7 februari 2018: Koken verhoogt peil fijnstof in huis



## 7 Ondertekening

Delft, 20 april 2020




TNO



Ir. A.C. Westerlaken  
Research Manager



E.C.M. Hoes - van Oeffelen



ir. P. Jacobs  
ir. E.C.M. Hoes – van Oeffelen  
ing. O. Vijlbrief  
ing. W. Kornaat  
Auteurs

## A Detail analyse bron herkenning

In deze bijlage wordt beschreven welke analyses zijn gedaan om onderscheid te kunnen maken tussen binnen- en buitenbronnen en om de emissies van binnenbronnen te kunnen berekenen.

Als basis voor de deze analyses is gebruik gemaakt van de methode zoals beschreven door Chan<sup>25</sup>. In deze methode wordt een stappenplan gevolgd bestaande uit zeven stappen:

1. Verkrijgen van buitenlucht data
2. Berekenen van de infiltratiewaarde en de binnenconcentratie ten gevolge van fijnstof van buiten
3. Filteren van data en het vaststellen van pieken als indicator van emissies
4. Vaststellen van het begin van de emissie en de duur van de concentratie afname
5. Vaststellen van de afname factor
6. Vaststellen van gerelateerde emissies
7. Berekenen van de emissies

In de paragrafen hierop volgend worden deze 7 stappen besproken. Maar vooral hoe de toegepaste methode afwijkt van de methode volgens Chan. Voor de beschrijving van de methode van Chan, zie de referentie. De berekende emissies worden in hoofdstuk 4 gebruikt om een emissiepatroon af te leiden als input voor simulaties ten behoeve van het bepalen van de efficiëntie van verschillende interventies.

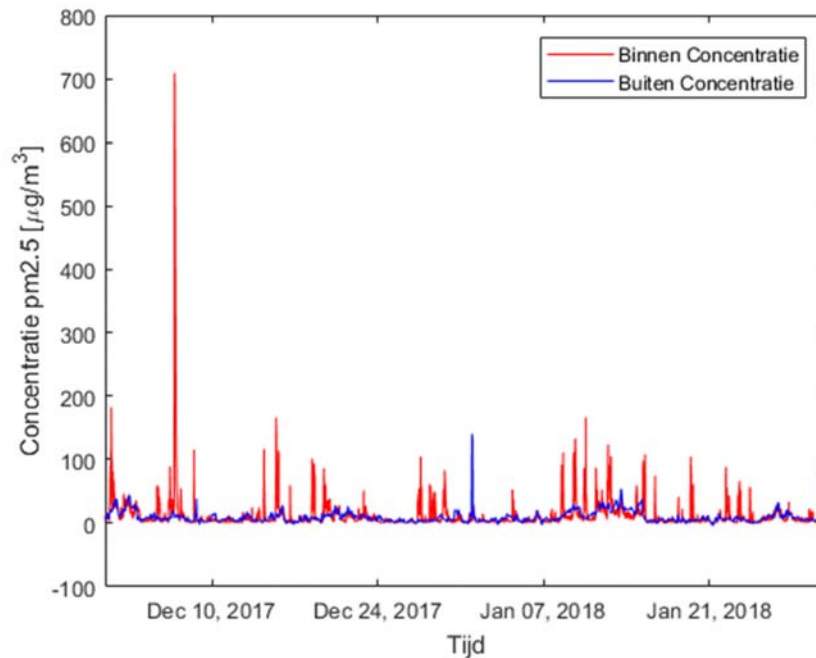
### A.1 Verkrijgen van buitenlucht data

Het verkrijgen van buitenluchtdata is afwijkend van het algoritme van Chan (2017), waar gedurende twee weken naast de binnenconcentratie in 18 dichtbij elkaar gelegen woningen ook met 1 sensor de buitenconcentratie PM<sub>2.5</sub> nabij de woning werd gemeten. Deze methode is bijzonder kostbaar voor grootschalig en langdurig onderzoek bij woningen die over heel Nederland zijn verspreid. Voor Be Aware is daarom een alternatieve methode ontwikkeld op basis van openbare informatie van luchtkwaliteit meetstations ([www.luchtmeetnet.nl](http://www.luchtmeetnet.nl)). Hiervoor is het dichtstbijzijnde meetstation genomen voor iedere woning. In totaal worden 12 meetstations gebruikt. De gemiddelde afstand tussen de woningen en de meetstations bedraagt circa 10 km. In bijlage D wordt de meetdata van een aantal stations met elkaar vergeleken en hieruit blijkt dat zeker tot op een afstand van 23 km de stations dezelfde trends volgen wat betreft fijnstof concentratie en dat ook de gemiddelde waarde vergelijkbaar is. In het slechtste geval kan de afstand wel 50 kilometer zijn tussen de woning en het meetpunt. Ook het meetinterval is anders, in de methode wordt gewerkt met meetdata met een interval van 2 minuten. In de voor ons beschikbare data is dat 10 minuten voor de binnenconcentratie en 60 minuten voor de buitenconcentratie. In Figuur A-1 staat een voorbeeld van de gemeten

---

<sup>25</sup> W.R. Chan, J.M. Logue, X. Wu, N.E. Klepeis, W.J. Fisk, F. Noris, B.C. Singer, Quantifying fine particle emission events from time-resolved measurements: Method description and application to 18 California low-income apartments, *Indoor Air*, 2017

binnenconcentratie en de gemeten buitenconcentratie. Mooi te zien is dat de buitenconcentratie aan het begin van de maand december wat verhoogd is en dat is ook te zien aan de concentratie binnen. Ook duidelijk te zien zijn een grote binnen emissie op 6 december en een verhoogde buitenconcentratie op nieuwjaarsnacht.



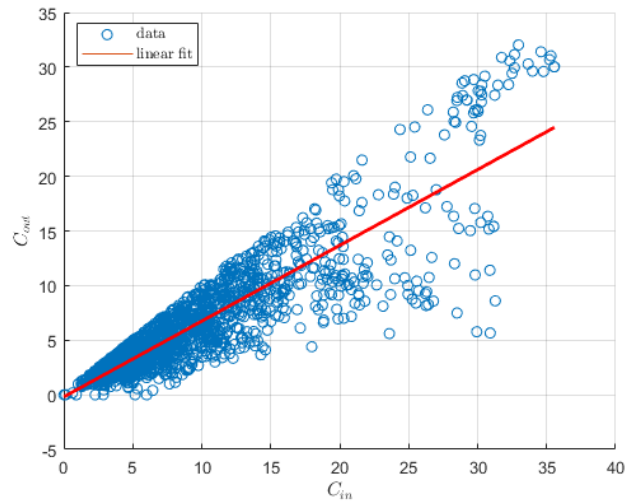
Figuur A-1 Voorbeeld van een tijdreeks binnen- en buitenlucht PM<sub>2.5</sub> data.

## A.2 Berekenen van de infiltratiewaarde en de binnenconcentratie ten gevolge van fijnstof van buiten

De infiltratiefactor  $F_{inf}$  wordt berekend door middel van het maken van een lineaire correlatie tussen de gemeten binnen- en buitenconcentratie PM<sub>2.5</sub>. Hiervoor is het van belang dat er geen interne pieken worden meegenomen, daarom worden alleen de waardes gebruikt die kleiner zijn dan de gemeten buitenconcentratie  $C_{out}$ . In de analyse wordt de infiltratiefactor constant verondersteld. Echter, in de realiteit kan deze veranderen door windbelasting, meer mechanische ventilatie of door het openen van ramen. In Figuur A-2 is een puntenwolk geplot van de binnen- en buitenconcentratie. Op basis hiervan is lineaire regressie toegepast, welke de rode lijn oplevert. Op basis hiervan kan worden afgeschat wat de binnenconcentratie is ten gevolge van buiten.

$$C_{IFO} = F_{inf} C_{out} \left[ \frac{\mu g}{m^3} \right]$$

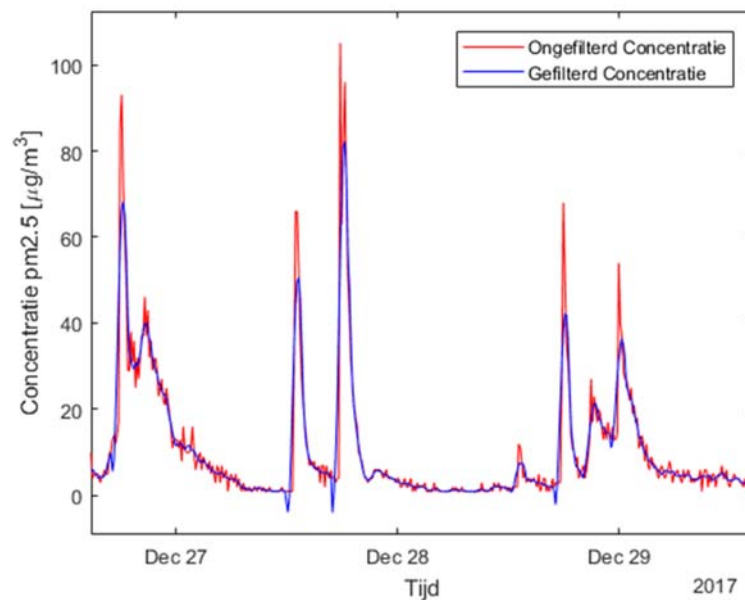
De berekende waarde  $C_{IFO}$  mag niet lager zijn dan nul en niet hoger dan de gemeten binnenconcentratie.



Figuur A-2 Correlatie tussen de buiten- en binnenconcentratie

### A.3 Filteren van data en het vaststellen van pieken als indicator voor emissies

In de methode die Chan gebruikt wordt de data eerst gefilterd, hiervoor wordt een smooth-functie gebruikt (3<sup>de</sup> orde Savitzky Golay, 11 punts gemiddelde). Dit is niet toepasbaar op de beschikbare data, omdat de beschikbare data een meetinterval heeft van 10 minuten en niet 2 minuten zoals beschreven in het artikel van Chan. Ook voor het detecteren van de pieken kan geen gebruik worden gemaakt van de methode vanwege het verschil in meetinterval. Daarom is er gekozen voor een andere methode. Er worden drie identificatiecriteria gebruikt om de emissiepieken vast te stellen.



Figuur A-3 Effect van een smooth functie op de te detecteren emissies, zowel in aantal als in hoogte.

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen binnen- en buitenbronnen op basis van de "tijdconstante". Waar binnenbronnen vrijwel direct zorgen voor een verhoging van de gemeten concentratie  $C_{in}$  (typisch minder dan 10 minuten) geldt dat niet voor buitenbronnen. De concentratie binnen zal langzaam stijgen afhankelijk van het ventilatiedebiet. Bij een typisch ventilatievoud van 1 á 2 keer per uur, wordt de maximale concentratie binnen pas gehaald na 1,5 tot 3 uur (3 keer de tijdconstante). In het eerste criterium wordt dan ook gebruik gemaakt van dit verschil. De snelheid van concentratieverandering,  $dC_{threshold}$ , dient groter te zijn dan  $0,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per 10 minuten. Het tweede criterium stelt wat de minimale verhoging ( $C_{threshold} = 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) is ten opzichte van het achtergrondniveau. Het derde criterium stelt dat het einde van de emissie gekenmerkt wordt doordat de concentratie in de volgende drie periodes lager is dan de huidige waarde.

1.  $\frac{d}{dt}(C_{in} - C_{out}) > dC_{threshold}$
2.  $C_{in} - C_{IFO} > C_{threshold}$
3.  $C_{in(nn)} - C_{IFO(nn)} > C_{in(nn+1)} - C_{IFO(nn+1)}$   
 $C_{in(nn)} - C_{IFO(nn)} > C_{in(nn+2)} - C_{IFO(nn+2)}$   
 $C_{in(nn)} - C_{IFO(nn)} > C_{in(nn+3)} - C_{IFO(nn+3)}$

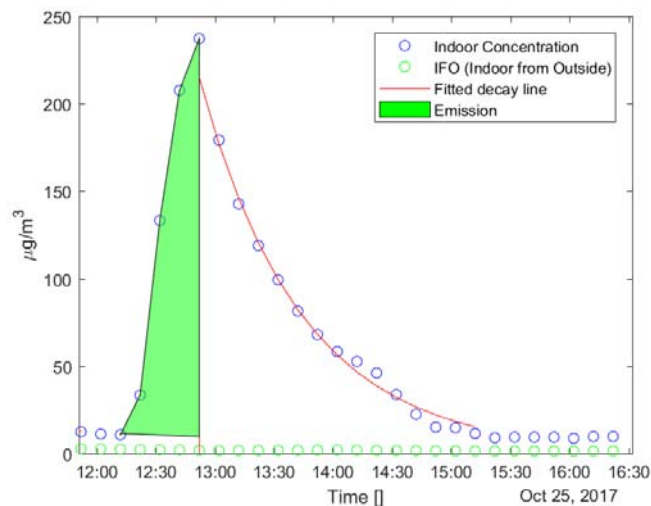
#### A.4 Vaststellen van het begin van de emissie en de afnameduur van de concentratie

Om de begintijd van de emissie te vinden wordt er teruggekeken naar een set van 3 meetpunten die een delta hebben die nul is of negatief. Deze methode die Chan

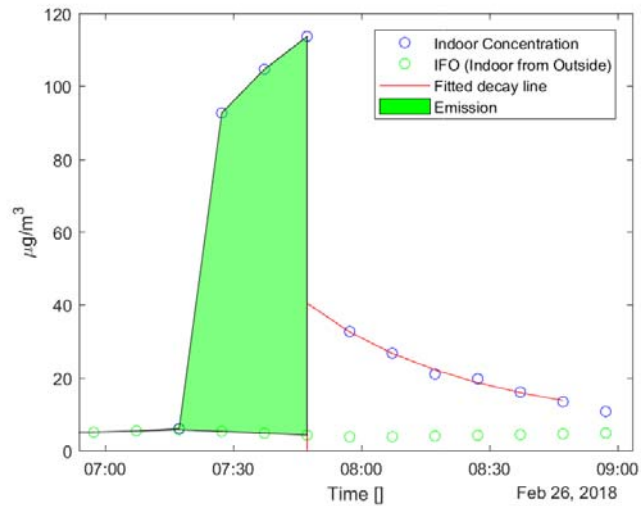
gebruikt kan niet één op één worden overgenomen ook hier weer door het verschil in meetinterval. Voor de beschikbare dataset is slechts gekeken naar 1 voorgaand meetpunt en niet 3 zoals in de methode. Om het einde vast te stellen van de afnameperiode wordt een vergelijkbaar criterium toegepast alleen nu moet de hellingshoek nul of positief zijn om het eind aan te duiden.

## A.5 Vaststellen van de maximale concentratie en de afnamefactor

Op basis van de gemeten concentratie, direct na de emissie tot de volgende emissie of tot de concentratie voldoende is afgenomen, kan de tijdconstante van de concentratie afname worden bepaald. Binnen dit project is ervoor gekozen dit te doen door een exponentiële functie te fitten door de meetdata. In Figuur A-4 is hier een voorbeeld van gegeven. De blauwe rondjes zijn de gemeten concentraties. De groene rondjes zijn de berekende binnenconcentraties ten gevolge van buitenbronnen. Het groene vlak is de emissie, de rode lijn de exponentiële fit. De exponentiële fit geeft 2 uitkomsten, de tijdconstante, maar ook de beginconcentratie. Het voordeel daarvan is dat er gecorrigeerd kan worden voor bronnen die dusdanig dicht bij de meetapparatuur staan dat er onvoldoende menging plaatsvindt en de gemeten concentratie daardoor te hoog is. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur A-5.



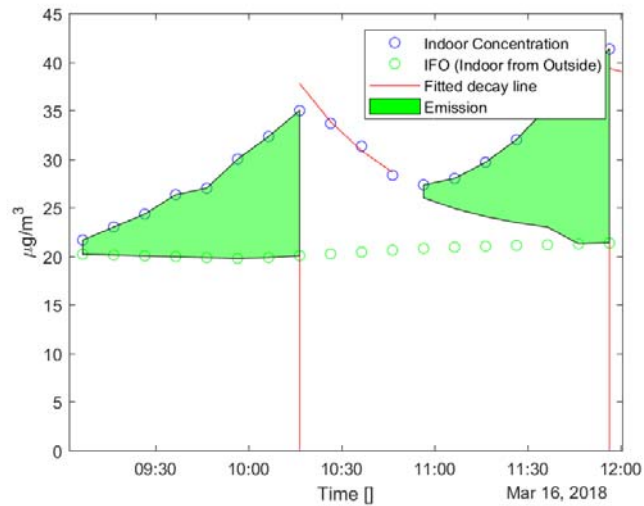
Figuur A-4 Vaststellen van de tijdconstante voor de afname van de concentratie



Figuur A-5 Overschatte emissie door een te kleine afstand tussen bron en sensor.

## A.6 Vaststellen van gerelateerde emissies

In het artikel van Chan (2017) worden emissies aan elkaar gelinkt in het geval dat deze concentratie ten gevolge van de vorige emissie boven een bepaalde waarde is op het moment dat een nieuwe emissie optreedt. In het artikel wordt daar verder niet veel mee gedaan. Binnen dit project is hiermee anders omgegaan. Voor iedere emissie wordt de tijdconstante bepaald van de afname van de concentratie. Op basis van deze constante kan er ook voor de periode in een nieuwe piek het grondniveau van de vorige emissie worden berekend. Bij de berekening van de emissie kan daardoor gecorrigeerd worden voor de concentratie ten gevolge van de voorgaande emissie. Hierdoor worden gelinkte emissies niet meer overschat. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur A-6.



Figuur A-6 Voorbeeld van een gelinkte emissie, de tweede emissie wordt gecorrigeerd voor de concentratie ten gevolge van de eerste emissie.

## A.7 Berekenen van de emissies

Om de daadwerkelijke emissie te berekenen heb je zowel de tijdconstante van de afname  $L$  nodig als wel de concentratie aan het eind van de emissie ( $C_{\text{peak}}$ ) en de concentratie aan het begin van de emissie ( $C_{\text{begin}}$ ). De concentratie waarover het gaat is de concentratie waarin al gecorrigeerd is voor zowel de buitenbronnen als voor de eventuele gelinkte emissie. De emissie kan vrij eenvoudig worden uitgerekend door alleen te kijken naar de stijging van de concentratie, dit vermenigvuldigd met de inhoud van de ruimte geeft de emissie. Echter, gedurende de emissie is er ook ventilatie en slaan deeltjes neer. Om hiervoor te compenseren heb je de berekende tijdconstante  $L$  nodig. Door de gemiddelde concentratie gedurende de emissie te vermenigvuldigen met de inhoud van de ruimte en te vermenigvuldigen met de tijdconstante en de tijdsduur  $t$  van de emissie kan er gecompenseerd worden, zie de onderstaande formule

$$E = V \cdot (C_{\text{peak}} - C_{\text{begin}}) + L \cdot V \cdot \bar{C} \cdot t$$



## B Interventie simulatie studie

### B.1 Opzet simulaties interventies

Met het programma TRNSYS zijn simulaties uitgevoerd om het effect van verschillende woningtypen en interventies op de jaargemiddelde concentratie en ook de blootstelling in de woonkamer/keuken te bepalen tijdens aanwezigheid. Hiertoe is het gebouwmodel TRNSYS gekoppeld met het ventilatierekenmodel COMIS. Het model bestaat uit één ruimte: woonkamer/keuken, met een volume van 100 m<sup>3</sup>. De ventilatie is volgens bouwbesluit. Er zijn twee ventilatiesystemen gesimuleerd:

1. Systeem C: toevoer via roosters en mechanische afvoer
2. Systeem D: gebalanceerde mechanische toe- en afvoer met warmterugwinning met een temperatuurrendement van 95%

Om het verschil in luchtdichtheid te illustreren zijn de simulaties uitgevoerd met vier verschillende luchtdichtheden, zie onderstaande tabel.

Tabel B-1 ventilatie-debiet, luchtdichtheden en bijbehorende infiltratie debieten voor ventilatiesysteem C en D [dm<sup>3</sup>/s].

Ventilatie/infiltratie debiet[dm <sup>3</sup> /s]	Systeem C		Systeem D	
	Laagstaand	Hoogstaand	Laagstaand	Hoogstaand
Kookafzuiging met afzuigkap	83		83	
Afzuiging ventilatie	6,3	21,0	9,9	33,0
Infiltratie bovenop de ingestelde afzuigstroom:				
qv,10 = 20 dm <sup>3</sup> /s (zeer luchtdicht)	0,0	0,0	1,3	1,3
qv,10 = 80 dm <sup>3</sup> /s (gemiddelde woning)	0,9	0,0	5,7	5,7
qv,10 = 150 dm <sup>3</sup> /s (gemiddelde eengezinswoning)	6,3	0,0	10,9	10,9
qv,10 = 236 dm <sup>3</sup> /s (oude woning)	12,6	0,0	17,1	17,1

Op basis van de luchtdichtheid en het type ventilatiesysteem is de infiltratiestroom bij laag- en hoogstand van het ventilatiesysteem afgeleid. Uit Tabel B-1 volgt dat bij systeem D de infiltratiestroom hoger is dan bij systeem C. Aangenomen is dat de concentratie fijnstof in deze infiltratiestroom gelijk is aan de buitenluchtconcentratie. De buitenluchtconcentratie is in Nederland jaargemiddeld typisch 12 µg/m<sup>3</sup>, maar kan in de tijd behoorlijk variëren. Bij westen wind en/of regen is de buitenluchtconcentratie vaak 1 µg/m<sup>3</sup>, terwijl bij oosten wind de buitenluchtconcentratie kan oplopen tot 20 of 40 µg/m<sup>3</sup> of nog hoger. Om het effect van de variatie in buitenluchtconcentratie mee te nemen zijn de simulaties bij drie buitenluchtconcentraties uitgevoerd: 1, 11,5 en 22 µg/m<sup>3</sup>.

De emissies zijn conform de emissiepatronen in Tabel 4-3 gesimuleerd. In de simulaties is ook depositie, het neerslaan van PM<sub>2,5</sub> op oppervlakken, meegenomen. Voor depositie is een ventilatievoud van 0,4 per uur aangehouden. Dit komt overeen met een schone luchtstroom van 40 m<sup>3</sup>/uur (11,1 dm<sup>3</sup>/s).

Voor de kookdampen is bij ingeschakelde afzuigkap met 83 dm<sup>3</sup>/s afvoer een vangstefficiëntie aangehouden van 95% (TKI VentKook, 2018). Voor de simulaties is aangenomen dat de afzuigkap alleen tijdens het koken ingeschakeld is, 10 minuten per ontbijt, lunch of diner.

Voor luchtreiniging is een stand alone luchtreiniger met een Clean Air Delivery Rate van 200 m<sup>3</sup>/uur gekozen die continu aanstaat. Het energiegebruik hiervoor bedraagt typisch 50 W per luchtreiniger.

Op basis van de 4 luchtdichtheden, aan- of afwezigheid van kookafzuiging in de vorm van een afzuigkap, wel of geen luchtreiniging en 3 buitenluchtconcentraties zijn  $4 \times 2 \times 2 \times 3 = 48$  simulaties uitgevoerd voor zowel systeem C als D. Voor systeem D zijn aanvullend nog 48 simulaties uitgevoerd om het effect van filtering in kaart te brengen. In deze simulaties is een F7 filter in de luchttoevoer van de balansventilatie (systeem D) aangenomen, wat 75% van het PM<sub>2.5</sub> uit de ventilatietoeverlucht verwijdert. Voor deze simulaties is aangenomen dat standaard ook de afzuigkap wordt gebruikt.

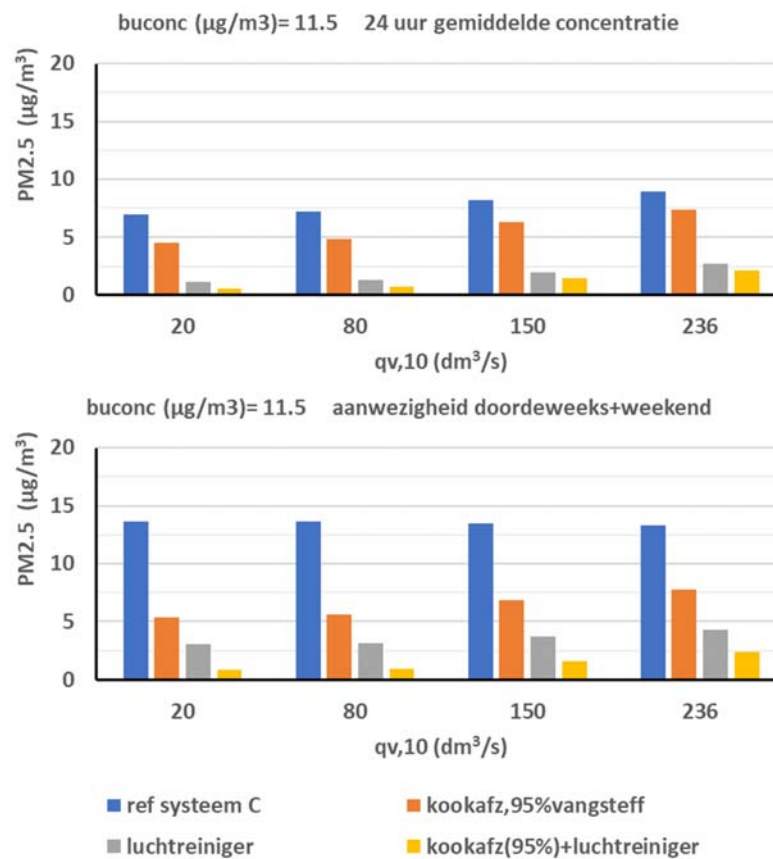
Indicatief is het effect op het energiegebruik per dag bepaald ten gevolge van de extra ventilatie. Hiertoe zijn een binnen- en buitentemperatuur van respectievelijk 20 en 5 °C aangehouden.

Raamgebruik is in de simulaties niet meegenomen. Dit kan invloed hebben aangezien in luchtdichtere huizen mensen mogelijk meer ramen open doen.

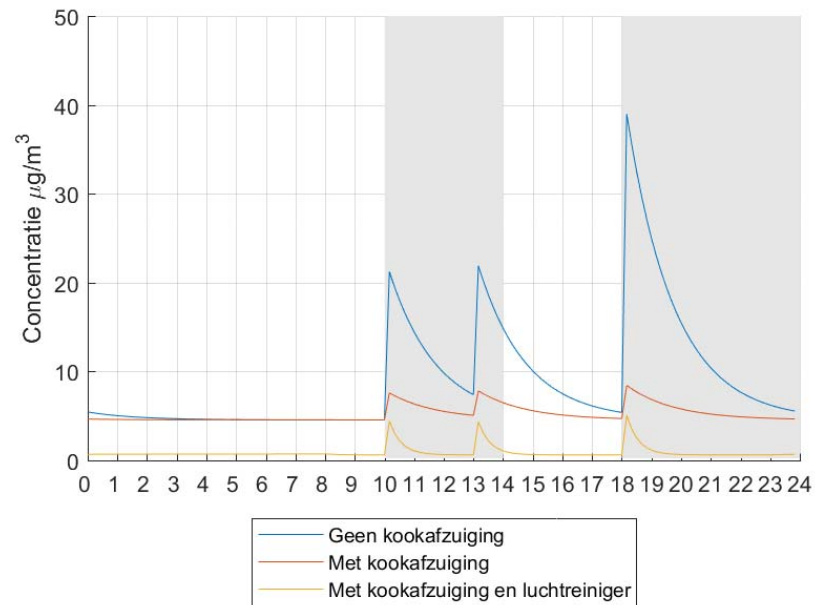
## B.2 Resultaten interventies op woning niveau

### 50<sup>e</sup> percentiel emissie

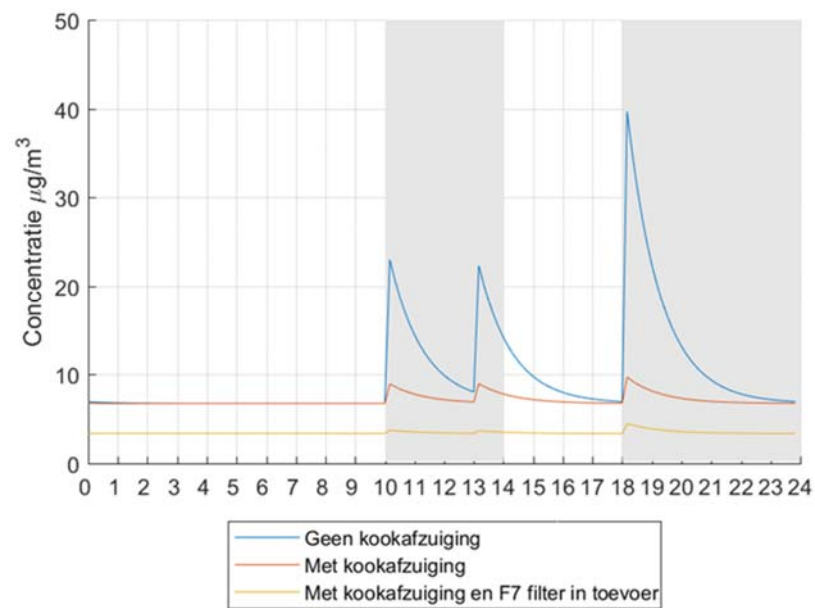
Figuur B-1 vergelijkt het effect van kookafzuiging en luchtreiniger in combinatie met systeem C en 4 verschillende luchtdichtheden van de woning op de 24 uur gemiddelde  $PM_{2,5}$  concentratie in de woning en de concentratie tijdens aanwezigheid van personen. Voor aanwezigheid in de woonkamer/keuken is op werkdagen de periode van 18 tot 23 uur en in het weekend de periode van 10 tot 14 uur en van 18 tot 24 uur aangehouden. Tijdens aanwezigheid is de concentratie duidelijk verhoogd ten opzichte van de 24 uur gemiddelde concentratie. Dit komt omdat de emissies plaatsvinden aan het begin van de periode van aanwezigheid, zie het voorbeeld in Figuur B-2. In de meest luchtdichte woning zorgt kookafzuiging voor een reductie van 35% wat betreft de gemiddelde concentratie en voor een reductie van 61% tijdens aanwezigheid. Bij minder luchtdichte woningen is het effect van kookafzuiging kleiner.



Figuur B-1 systeem C effect van diverse maatregelen, boven: 24 uur gemiddelde concentratie woonkamer/keuken, onder: concentratie tijdens aanwezigheid.



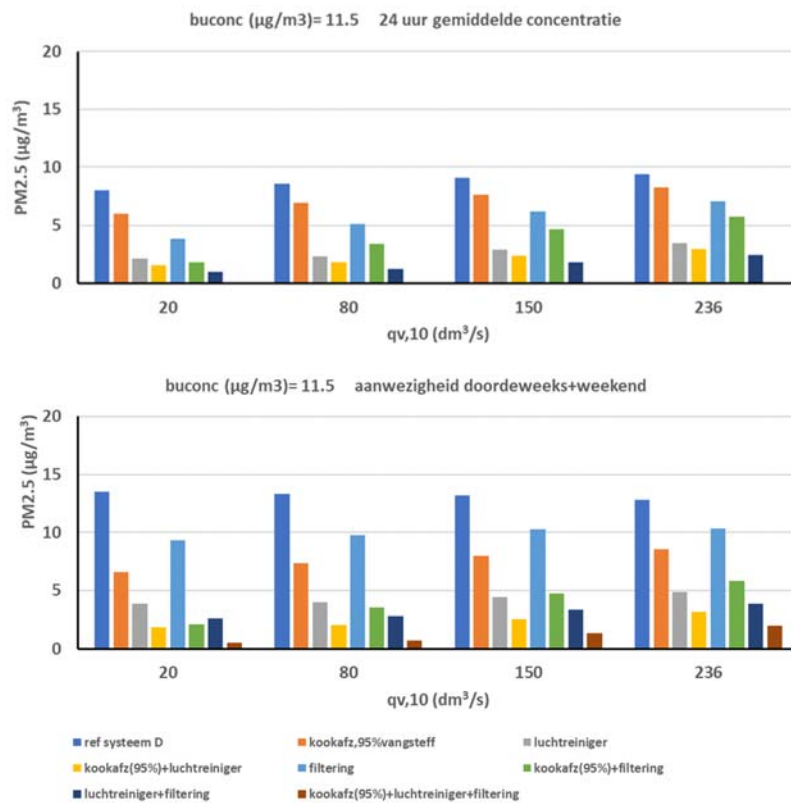
Figuur B-2 systeem C, verloop van de concentratie in de tijd, de grijze blokken geven de aanwezigheid aan (zondag, week 3).



Figuur B-3 systeem D, verloop van de concentratie in de tijd, de grijze blokken geven de aanwezigheid aan (zondag, week 3).

Figuur B-4 vergelijkt het effect van kookafzuiging in combinatie met systeem D op de 24 uur gemiddelde  $PM_{2.5}$  concentratie en de concentratie tijdens aanwezigheid van personen. Ook hier is tijdens aanwezigheid de concentratie duidelijk verhoogd

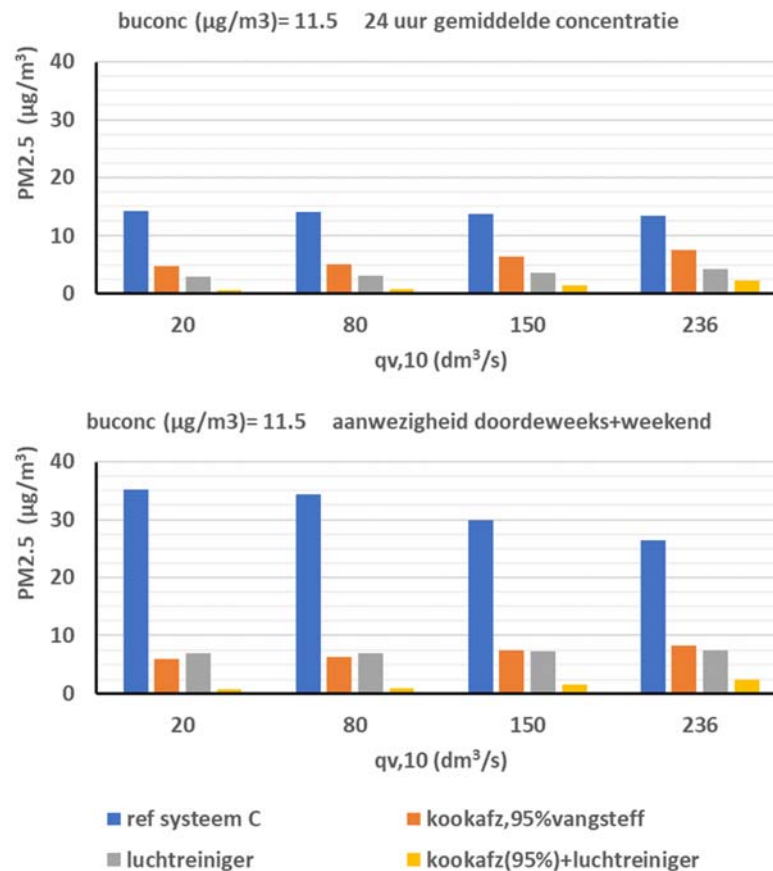
ten opzichte van de 24 uur gemiddelde concentratie. In de meest luchtdichte woning zorgt kookafzuiging voor een reductie van 25% wat betreft de gemiddelde concentratie en voor een reductie van 51% tijdens aanwezigheid. Bij minder luchtdichte woningen is het effect van kookafzuiging kleiner. De buitenluchtconcentratie heeft hier een belangrijke invloed. Bij de lage buitenluchtconcentratie ( $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) zorgt kookafzuiging voor een reductie van 89% tijdens aanwezigheid en bij de hoge buitenconcentratie ( $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) voor slechts 35%.



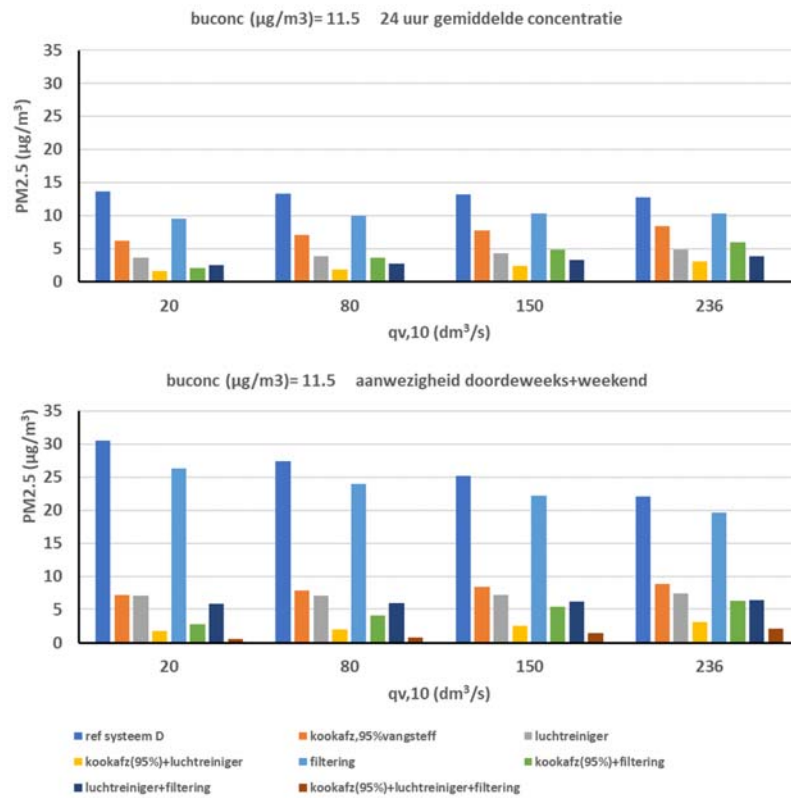
Figuur B-4 systeem D effect van diverse maatregelen, boven: 24 uur gemiddelde concentratie woonkamer/keuken, onder: concentratie tijdens aanwezigheid.

### 90<sup>e</sup> percentiel emissie

Figuur B-5 en B-6 laten het effect van maatregelen zien bij het 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon. Kookafzuiging heeft een groot effect op de concentratie bij aanwezigheid. Bij systeem C is de reductie ten gevolge van kookafzuiging tijdens aanwezigheid bij luchtdichte woningen zelfs iets groter dan de reductie ten gevolge van luchtreiniging. Dit komt omdat bij luchtreiniging de verontreinigingen eerst opmengen met ruimtelucht en dan pas worden afgevangen. Bij kookafzuiging worden de verontreinigingen direct naar buiten afgevoerd.

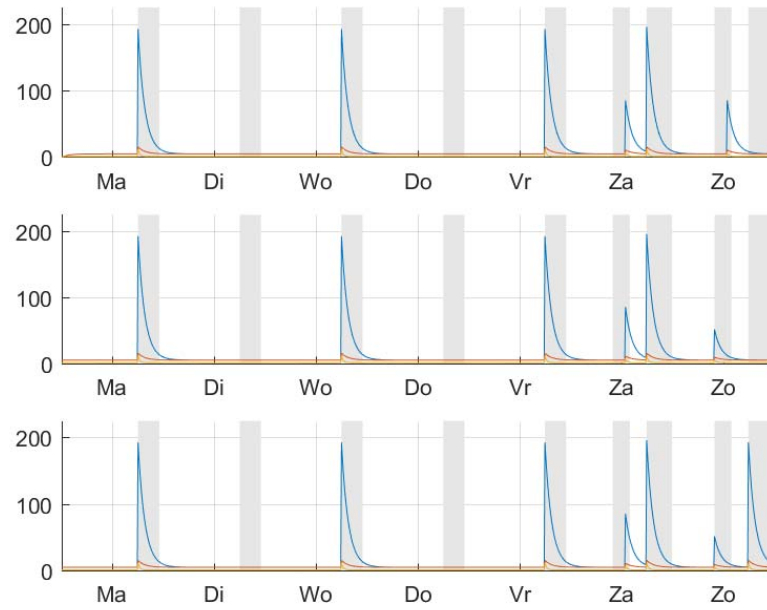


Figuur B-5 systeem C effect van diverse maatregelen, boven: 24 uur gemiddelde concentratie woonkamer/keuken, onder: concentratie tijdens aanwezigheid.

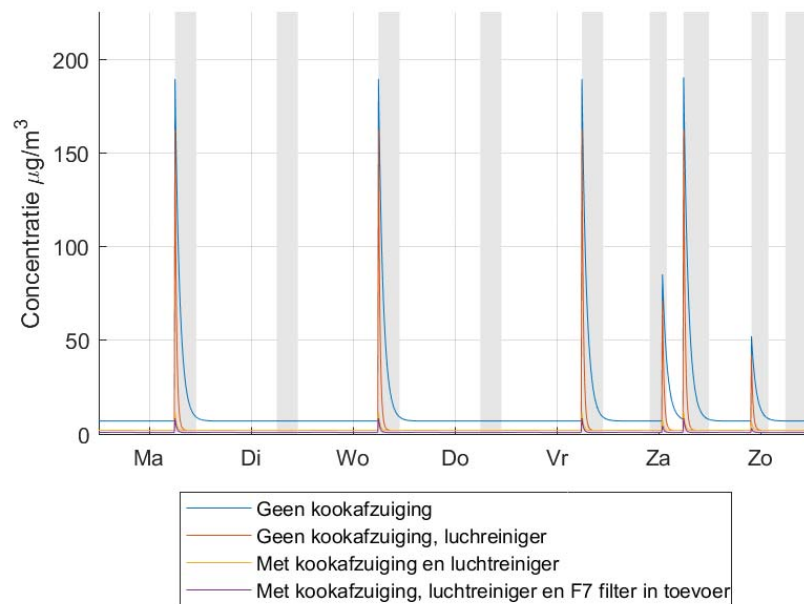


Figuur B-6 systeem D effect van diverse maatregelen, boven: 24 uur gemiddelde concentratie woonkamer/keuken, onder: concentratie tijdens aanwezigheid.

Figuur B-7 en B-8 laten het effect van maatregelen in de tijd zien voor een woning met respectievelijk systeem C en D als ventilatiesysteem. In Figuur B-8 is duidelijk het effect te zien dat zonder kookafzuiging en met luchtreiniging fijnstof wat door bakken en braden wordt geëmitteerd eerst opmengt met ruimtelucht en dan pas wordt afgevangen.



Figuur B-7 systeem C, verloop van de concentratie in de tijd (rood is met kookafzuiging), de grijze blokken geven de aanwezigheid aan (3 weken emissiepatroon).



Figuur B-8 systeem D, verloop van de concentratie in de tijd, de grijze blokken geven de aanwezigheid aan (week 2 uit emissie patroon).



### B.3 Blootstelling scenario's

Interessant is om te bepalen welke reductie de interventies hebben op de totale blootstelling van personen gedurende een typische week. Hiervoor is het verblijf aangenomen volgens onderstaande tabel.

Tabel B-2 verblijf gedurende een typische week in en buiten de woning.

	Slapen [uur]	Woonkamer [uur]	Buiten [uur]	Werk [uur]
Maandag	9	5	2	8
Dinsdag	9	5	2	8
Woensdag	9	5	2	8
Donderdag	9	5	2	8
Vrijdag	9	5	2	8
Zaterdag	9	10	5	0
Zondag	9	10	5	0
<b>Week totaal</b>	<b>63</b>	<b>45</b>	<b>20</b>	<b>40</b>

Voor de blootstelling in de slaapkamer wordt dezelfde concentratie als 's nachts in de woonkamer gehanteerd. Aanname hierbij is dat de verhouding tussen ventilatie en infiltratie in de slaapkamer identiek is aan de woonkamer. Indien de interventie luchtreiniger is gekozen, is aangenomen dat naast een luchtreiniger in de woonkamer/keuken in de slaapkamer ook een luchtreiniger is geplaatst met een aan het slaapkamer volume aangepaste capaciteit.

Voor blootstelling in het verkeer is de buitenlucht PM<sub>2,5</sub> concentratie aangehouden. Voor de blootstelling op het werk is een PM<sub>2,5</sub> concentratie van 25% van de buitenluchtconcentratie met een minimum van 1 µg/m<sup>3</sup> aangenomen. Dit is een typische reductie in een kantoorgebouw waarin conventionele luchtfilters (F7) in de luchtbehandeling worden toegepast<sup>26</sup>.

#### Resultaten 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon

In Tabel B-7, B-8 en B-9 in B.4 zijn voor de bewoner van een wat betreft luchtdichtheid doorsnee Nederlandse woning ( $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) het effect van het type ventilatiesysteem, wel of geen kookafzuiging, filtering van de ventilatietoeverlucht en toepassing van luchtreiniging op de weekgemiddelde PM<sub>2,5</sub> concentratie weergegeven voor buitenluchtconcentraties van respectievelijk 1, 11,5 en 22 µg/m<sup>3</sup>. In Tabel B-3 zijn de resultaten voor deze drie buitenluchtconcentraties samengevat.

Zonder maatregelen bedraagt bij systeem C bij alle drie de buitenluchtconcentraties de blootstelling in de woning ruim twee-derde van het totaal (zie B.4). Bij de jaargemiddelde buitenluchtconcentratie van 11,5 µg/m<sup>3</sup> bedraagt de weekgemiddelde blootstelling 7,4 µg/m<sup>3</sup>. Toepassing van kookafzuiging met een vangstefficiëntie van 95% verlaagt de weekgemiddelde blootstelling naar 5,3 µg/m<sup>3</sup>, een reductie van 29%. Indien dezelfde bewoner een luchtdichte woning met ventilatiesysteem D bewoont, is zijn weekgemiddelde blootstelling 8,2 µg/m<sup>3</sup>, dus 0,8 µg/m<sup>3</sup> hoger dan wanneer de woning met ventilatiesysteem C zou zijn uitgerust.

<sup>26</sup> Jacobs P., Borsboom W, Effect of building and installation design on PM<sub>2,5</sub>, AIVC conferentie 2015.

Toepassing van kookafzuiging verlaagt de weekgemiddelde blootstelling naar 6,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , een reductie van 20%. Indien naast kookafzuiging ook nog filtering van de ventilatietoeverlucht wordt toegepast neemt de week gemiddelde blootstelling af naar 4,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Deze relatief hoge reductie van 48% wordt bereikt omdat bij filtering met balansventilatie niet alleen in de keuken/woonkamer een lagere concentratie wordt bereikt maar ook in de slaapkamer.

Tabel B-3 weekgemiddelde blootstelling bij drie buitenlucht concentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $q_{v,10}$  van 80  $\text{dm}^3/\text{s}$  en 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Buitenluchtconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1		11,5		22	
Blootstelling volgens scenario	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>3,0</b>		<b>7,4</b>		<b>11,8</b>	
C, met kookafzuiging	0,7	76%	5,3	29%	9,8	17%
C, met luchtreinigers in verblijfsruimten	0,9	70%	3,2	57%	4,7	60%
C, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,4	86%	2,6	65%	4,7	60%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>2,5</b>		<b>8,2</b>		<b>13,8</b>	
D, met kookafzuiging	0,8	67%	6,6	20%	12,3	11%
Idem + F7 filter in toevoer	0,6	75%	4,3	48%	8,0	43%
D, met luchtreinigers in verblijfsruimten	1,0	58%	3,8	54%	6,5	53%
D, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,5	80%	3,3	60%	6,0	56%
Idem + F7 filter in toevoer	0,4	83%	2,5	69%	4,6	67%

In de onderstaande tabel is het effect van de maatregelen weergegeven voor de periode van aanwezigheid. De behaalde reducties liggen tijdens aanwezigheid aanzienlijk hoger.

Tabel B-4 blootstelling bij aanwezigheid bij drie buitenlucht concentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $q_{v,10}$  van 80  $\text{dm}^3/\text{s}$  en 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Buitenluchtconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1		11,5		22	
Blootstelling tijdens aanwezigheid	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>9,3</b>		<b>13,6</b>		<b>17,9</b>	
C, met kookafzuiging	0,8	91%	5,6	59%	10,4	42%
C, met luchtreiniger	0,2	98%	3,1	77%	3,7	79%
C, met kookafzuiging en luchtreiniger	0,2	98%	1,0	93%	1,8	90%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>7,1</b>		<b>13,3</b>		<b>19,6</b>	
D, met kookafzuiging	0,9	87%	7,3	45%	13,8	29%
Idem + F7 filter in toevoer	0,6	92%	3,5	73%	6,5	67%
D, met luchtreiniger	2,4	67%	4,0	70%	5,6	71%
D, met kookafzuiging en luchtreiniger	0,3	96%	2,0	85%	3,8	80%
Idem + F7 filter in toevoer	0,2	98%	0,8	94%	1,3	93%

### Resultaten 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon

In onderstaande tabel is het effect van maatregelen voor het 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon weergegeven. Aangezien bij dit emissiepatroon binnenbronnen een veel groter aandeel hebben - en in de simulaties wordt verondersteld dat deze worden veroorzaakt door kookemissies - neemt met name de effectiviteit van kookafzuiging toe.

Tabel B-5 weekgemiddelde blootstelling bij drie buitenluchtconcentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $q_{v,10}$  van 80 dm<sup>3</sup>/s en 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Buitenluchtconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1		11,5		22	
Blootstelling volgens scenario	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	redu	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie
		ctie				
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>8,6</b>		<b>13,0</b>		<b>17,4</b>	
C, met kookafzuiging	1,0	89%	5,4	58%	9,9	73%
C, met luchtreinigers in verblijfsruimten	2,1	76%	4,2	68%	5,8	67%
C, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,5	95%	2,6	80%	4,7	73%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>6,3</b>		<b>12,0</b>		<b>17,6</b>	
D, met kookafzuiging	1,0	84%	6,7	44%	12,4	30%
Idem + F7 filter in toevoer	0,8	87%	4,4	63%	8,1	54%
D, met luchtreinigers in verblijfsruimten	1,9	70%	4,6	61%	7,3	58%
D, met kookafzuiging en luchtreinigers	0,5	92%	3,3	73%	5,9	66%
Idem + F7 filter in toevoer	0,5	93%	2,5	79%	4,6	74%

In de onderstaande tabel is het effect van de maatregelen weergegeven voor de periode van aanwezigheid.

Tabel B-6 blootstelling bij aanwezigheid bij drie buitenluchtconcentraties in een woning met ventilatiesysteem C en D, een  $q_{v,10}$  van 80 dm<sup>3</sup>/s en 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Buitenluchtconcentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	1		11,5		22	
Blootstelling tijdens aanwezigheid	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	reductie
<b>C, geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>30,1</b>		<b>34,3</b>		<b>38,5</b>	
C, met kookafzuiging	1,7	94%	6,3	82%	10,8	72%
C, met luchtreiniger	6,4	79%	6,9	80%	7,5	81%
C, met kookafzuiging en luchtreiniger	0,3	99%	1,0	97%	1,7	96%
<b>D, Geen kookafzuiging (referentie)</b>	<b>21,3</b>		<b>27,5</b>		<b>33,7</b>	
D, met kookafzuiging	1,5	93%	7,8	71%	14,2	58%
Idem + F7 filter in toevoer	1,2	94%	4,2	85%	7,2	79%
D, met luchtreiniger	5,5	70%	7,1	74%	8,7	74%
D, met kookafzuiging en luchtreiniger	0,4	98%	2,1	93%	3,5	90%
Idem + F7 filter in toevoer	0,3	99%	0,9	97%	1,3	96%

## B.4 Figuren: blootstelling bij 50<sup>e</sup> percentiel emissie

Tabel B-7 weeggemiddelde blootstelling en bijdrage van de blootstelling tijdens verblijf op verschillende locaties voor systeem C en D met en zonder kookafzuiging bij een buitenluchtconcentratie van 1 µg/m<sup>3</sup> voor het 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, geen kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	11,1	7,1	5	10	420	83%
Slaapkamer	0,4	0,4	9	9	25	5%
Buiten	1	1	2	5	20	4%
Werk	1		8		40	8%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>506</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>3,0</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, wel kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,9	0,7	5	10	38	31%
Slaapkamer	0,4	0,4	9	9	25	20%
Buiten	1	1	2	5	20	16%
Werk	1		8		40	32%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>123</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,7</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,2	0,2	5	10	8	12%
Slaapkamer	0,1	0,1	9	9	3	4%
Buiten	1	1	2	5	20	28%
Werk	1		8		40	56%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>71</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,4</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,2	0,2	5	10	8	12%
Slaapkamer	0,1	0,1	9	9	3	4%
Buiten	1	1	2	5	20	28%
Werk	1		8		40	56%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>71</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,4</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem D, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, geen kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		

Woonkamer/keuken	8,3	5,5	5	10	318	76%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	9%
Buiten	1	1	2	5	20	5%
Werk	1		8		40	10%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>416</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>2,5</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,0	0,8	5	10	41	29%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	27%
Buiten	1	1	2	5	20	14%
Werk	1		8		40	29%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>138</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,8</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging en filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,6	0,5	5	10	26	25%
Slaapkamer	0,3	0,3	9	9	19	18%
Buiten	1	1	2	5	20	19%
Werk	1		8		40	38%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>105</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,6</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	2,7	2,0	5	10	106	60%
Slaapkamer	0,2	0,2	9	9	9	5%
Buiten	1	1	2	5	20	11%
Werk	1		8		40	23%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>176</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>1,0</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,3	0,2	5	10	12	15%
Slaapkamer	0,2	0,2	9	9	9	12%
Buiten	1	1	2	5	20	25%
Werk	1		8		40	49%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>81</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,5</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger + filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,2	0,1	5	10	7	10%
Slaapkamer	0,1	0,1	9	9	3	4%
Buiten	1	1	2	5	20	29%
Werk	1		8		40	57%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>70</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,4</b>	

Tabel B-8 weeggemiddelde blootstelling voor systeem C en D met en zonder kookafzuiging bij een buitenluchtconcentratie van 11,5 µg/m<sup>3</sup> voor het 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 11,5 µg/m<sup>3</sup>, geen kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	15,4	11,4	5	10	612	49%
Slaapkamer	4,5	4,5	9	9	284	23%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	18%
Werk	3		8		120	10%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1246</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>7,4</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 11,5 µg/m<sup>3</sup>, wel kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	5,7	5,5	5	10	253	29%
Slaapkamer	4,5	4,5	9	9	284	32%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	26%
Werk	3		8		120	14%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>886</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>5,3</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 11,5 µg/m<sup>3</sup>, luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	3,5	2,7	5	10	142	27%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	7%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	43%
Werk	3		8		120	23%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>530</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>3,2</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 11,5 µg/m<sup>3</sup>, kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,0	1,0	5	10	45	10%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	9%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	53%
Werk	3		8		120	28%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>433</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>2,6</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , geen kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	14,5	11,8	5	10	599	44%
Slaapkamer	6,7	6,7	9	9	422	31%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	17%
Werk	3		8		120	9%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1371</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>8,2</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	7,4	7,3	5	10	331	30%
Slaapkamer	6,7	6,7	9	9	422	38%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	21%
Werk	3		8		120	11%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1103</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>6,6</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging en filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	3,6	3,5	5	10	159	22%
Slaapkamer	3,3	3,3	9	9	208	29%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	32%
Werk	3		8		120	17%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>717</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,3</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	4,3	3,6	5	10	179	28%
Slaapkamer	1,7	1,7	9	9	107	17%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	36%
Werk	3		8		120	19%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>637</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>3,8</b>	



Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	2,1	2,0	5	10	92	17%
Slaapkamer	1,7	1,7	9	9	107	19%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	42%
Werk	3		8		120	22%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>549</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>3,3</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger + filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,1	0,7	5	10	34	8%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	9%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	55%
Werk	3		8		120	28%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>422</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>2,5</b>	

Tabel B-9 weekgemiddelde blootstelling en bijdrage van de blootstelling tijdens verblijf op verschillende locaties voor systeem C en D met en zonder kookafzuiging bij een buitenluchtconcentratie van 22 µg/m<sup>3</sup> voor het 50<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 22 µg/m<sup>3</sup>, geen kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	19,7	15,6	5	10	804	40%
Slaapkamer	8,6	8,6	9	9	542	27%
Buiten	22	22	2	5	440	22%
Werk	5		8		200	10%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1986</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>11,8</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 22 µg/m<sup>3</sup>, wel kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	10,6	10,2	5	10	467	28%
Slaapkamer	8,6	8,6	9	9	542	33%
Buiten	22	22	2	5	440	27%
Werk	5		8		200	12%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1649</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>9,8</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 22 µg/m<sup>3</sup>, luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	4,1	3,3	5	10	169	21%
Slaapkamer	1,1	1,1	9	9	69	9%
Buiten	22	22	2	5	440	55%
Werk	5		8		200	15%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>798</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,7</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 22 µg/m<sup>3</sup>, kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,8	1,8	5	10	82	10%
Slaapkamer	1,1	1,1	9	9	69	9%
Buiten	22	22	2	5	440	56%
Werk	5		8		200	25%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>791</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,7</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , geen kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	20,8	18,0	5	10	880	38%
Slaapkamer	12,8	12,8	9	9	806	35%
Buiten	22	22	2	5	440	19%
Werk	5		8		200	9%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>2326</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>13,8</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	13,9	13,7	5	10	621	30%
Slaapkamer	12,8	12,8	9	9	806	39%
Buiten	22	22	2	5	440	21%
Werk	5		8		200	10%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>2067</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>12,3</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging en filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	6,6	6,5	5	10	293	22%
Slaapkamer	6,4	6,4	9	9	403	30%
Buiten	22	22	2	5	440	33%
Werk	5		8		200	15%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1336</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>8,0</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	5,9	5,2	5	10	253	23%
Slaapkamer	3,2	3,2	9	9	202	18%
Buiten	22	22	2	5	440	40%
Werk	5		8		200	18%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1094</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>6,5</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	3,8	3,8	5	10	172	17%
Slaapkamer	3,2	3,2	9	9	202	20%
Buiten	22	22	2	5	440	43%
Werk	5		8		200	20%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1014</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>6,0</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger + filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,4	1,3	5	10	61	8%
Slaapkamer	1,1	1,1	9	9	72	9%
Buiten	22	22	2	5	440	57%
Werk	5		8		200	26%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>773</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,6</b>	

## B.5 Figuren: blootstelling bij 90<sup>e</sup> percentiel emissie

Tabel B-10 weeggemiddelde blootstelling en bijdrage van de blootstelling tijdens verblijf op verschillende locaties voor systeem C en D met en zonder kookafzuiging bij een buitenluchtconcentratie van 1 µg/m<sup>3</sup> voor het 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, geen kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	33,1	26,5	5	10	1355	94%
Slaapkamer	0,4	0,4	9	9	25	2%
Buiten	1	1	2	5	20	1%
Werk	1		8		40	3%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1441</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>8,6</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, wel kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,9	1,6	5	10	78	48%
Slaapkamer	0,4	0,4	9	9	25	15%
Buiten	1	1	2	5	20	12%
Werk	1		8		40	25%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>163</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>1,0</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	6,4	6,3	5	10	286	82%
Slaapkamer	0,1	0,1	9	9	3	1%
Buiten	1	1	2	5	20	6%
Werk	1		8		40	11%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>249</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>2,1</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,3	0,3	5	10	15	12%
Slaapkamer	0,1	0,1	9	9	3	4%
Buiten	1	1	2	5	20	28%
Werk	1		8		40	56%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,5</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem D, buitenconcentratie 1 µg/m<sup>3</sup>, geen kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		

Woonkamer/keuken	23,0	19,1	5	10	957	91%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	4%
Buiten	1	1	2	5	20	2%
Werk	1		8		40	4%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1055</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>6,3</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,6	1,4	5	10	68	41%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	23%
Buiten	1	1	2	5	20	12%
Werk	1		8		40	24%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>166</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>1,0</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging en filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,3	1,1	5	10	54	41%
Slaapkamer	0,3	0,3	9	9	19	14%
Buiten	1	1	2	5	20	15%
Werk	1		8		40	30%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>133</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,8</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	5,5	5,5	5	10	248	78%
Slaapkamer	0,2	0,2	9	9	9	3%
Buiten	1	1	2	5	20	6%
Werk	1		8		40	13%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>318</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>1,9</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,4	0,4	5	10	18	20%
Slaapkamer	0,2	0,2	9	9	9	11%
Buiten	1	1	2	5	20	23%
Werk	1		8		40	46%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>87</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,5</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger + filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,3	0,3	5	10	13	17%
Slaapkamer	0,1	0,1	9	9	3	4%
Buiten	1	1	2	5	20	26%
Werk	1		8		40	53%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>76</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>0,5</b>	

Tabel B-11 weeggemiddelde blootstelling voor systeem C en D met en zonder kookafzuiging bij een buitenluchtconcentratie van 11,5 µg/m<sup>3</sup> voor het 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.Woning  $q_{v,10} = 80$  dm<sup>3</sup>/s , Systeem C, buitenconcentratie 11,5 µg/m<sup>3</sup>, geen kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	37,3	30,7	5	10	1545	71%
Slaapkamer	4,5	4,5	9	9	284	13%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	11%
Werk	3		8		120	6%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>2178</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>13,0</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80$  dm<sup>3</sup>/s , Systeem C, buitenconcentratie 11,5 µg/m<sup>3</sup>, wel kookafzuiging

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	6,4	6,1	5	10	282	31%
Slaapkamer	4,5	4,5	9	9	284	31%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	25%
Werk	3		8		120	13%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>915</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>5,4</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80$  dm<sup>3</sup>/s , Systeem C, buitenconcentratie 11,5 µg/m<sup>3</sup>, luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	7,0	6,9	5	10	312	45%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	5%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	33%
Werk	3		8		120	17%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>700</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,2</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80$  dm<sup>3</sup>/s , Systeem C, buitenconcentratie 11,5 µg/m<sup>3</sup>, kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [µg/m <sup>3</sup> ]		# uur per dag		blootstelling [µg uur/m <sup>3</sup> ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,0	1,1	5	10	46	11%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	9%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	53%
Werk	3		8		120	28%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>433</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>2,6</b>	



Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , geen kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	29,2	25,3	5	10	1236	62%
Slaapkamer	6,7	6,7	9	9	422	21%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	11%
Werk	3		8		120	6%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>2008</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>12,0</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	7,9	7,8	5	10	353	31%
Slaapkamer	6,7	6,7	9	9	422	38%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	20%
Werk	3		8		120	11%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1125</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>6,7</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging en filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	4,3	4,1	5	10	189	25%
Slaapkamer	3,3	3,3	9	9	208	28%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	31%
Werk	3		8		120	16%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>747</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,4</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	7,1	7,1	5	10	320	41%
Slaapkamer	1,7	1,7	9	9	107	14%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	30%
Werk	3		8		120	15%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>777</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,6</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	2,0	2,1	5	10	92	17%
Slaapkamer	1,7	1,7	9	9	107	19%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	42%
Werk	3		8		120	22%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>550</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>3,3</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger + filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	0,9	0,9	5	10	39	9%
Slaapkamer	0,6	0,6	9	9	38	9%
Buiten	11,5	11,5	2	5	230	54%
Werk	3		8		120	28%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>427</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>2,5</b>	

Tabel B-12 weeggemiddelde blootstelling en bijdrage van de blootstelling tijdens verblijf op verschillende locaties voor systeem C en D met en zonder kookafzuiging bij een buitenluchtconcentratie van 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor het 90<sup>e</sup> percentiel emissiepatroon.

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , geen kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	41,5	34,9	5	10	1735	59%
Slaapkamer	8,6	8,6	9	9	542	19%
Buiten	22	22	2	5	440	15%
Werk	5		8		200	7%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>2916</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>17,4</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	10,9	10,7	5	10	486	29%
Slaapkamer	8,6	8,6	9	9	542	32%
Buiten	22	22	2	5	440	26%
Werk	5		8		200	12%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1668</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>9,9</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	7,5	7,5	5	10	337	35%
Slaapkamer	1,1	1,1	9	9	69	7%
Buiten	22	22	2	5	440	46%
Werk	5		8		200	12%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>966</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>5,8</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$ , Systeem C, buitenconcentratie 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,6	1,8	5	10	76	10%
Slaapkamer	1,1	1,1	9	9	69	9%
Buiten	22	22	2	5	440	56%
Werk	5		8		200	25%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>785</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,7</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , geen kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	35,4	31,5	5	10	1515	51%
Slaapkamer	12,8	12,8	9	9	806	27%
Buiten	22	22	2	5	440	15%
Werk	5		8		200	7%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>2961</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>17,6</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	14,2	14,1	5	10	638	31%
Slaapkamer	12,8	12,8	9	9	806	39%
Buiten	22	22	2	5	440	21%
Werk	5		8		200	10%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>204</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>12,4</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wel kookafzuiging en filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	7,3	7,1	5	10	324	24%
Slaapkamer	6,4	6,4	9	9	403	39%
Buiten	22	22	2	5	440	32%
Werk	5		8		200	15%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1367</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>8,1</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , luchtreiniger

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g}$ uur/ $\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	8,7	8,7	5	10	391	32%
Slaapkamer	3,2	3,2	9	9	202	16%
Buiten	22	22	2	5	440	36%
Werk	5		8		200	16%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>1233</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>7,3</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger

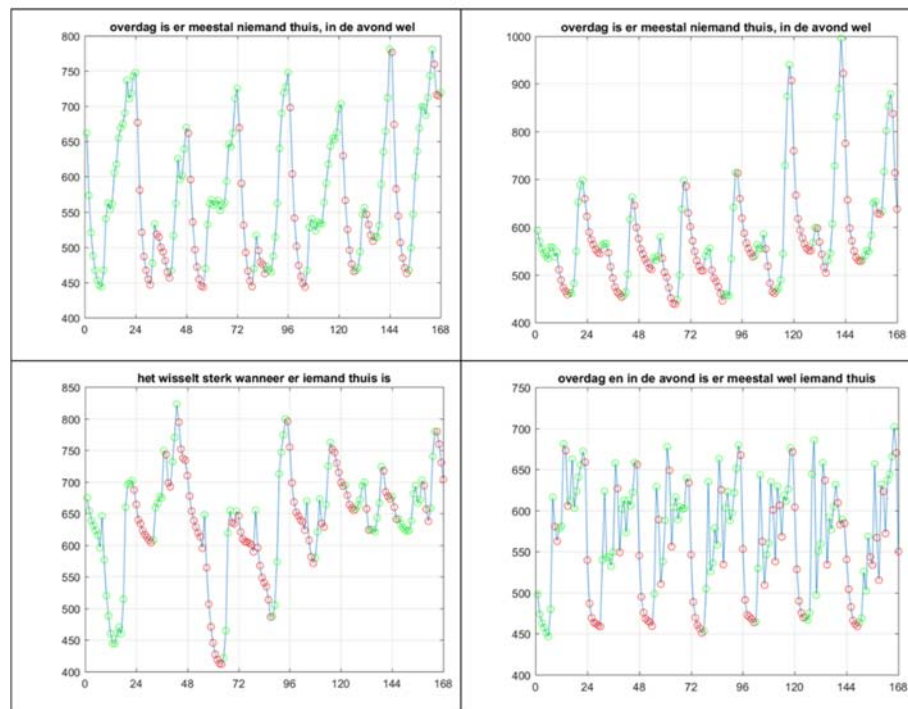
	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	3,2	3,8	5	10	157	16%
Slaapkamer	3,2	3,2	9	9	202	20%
Buiten	22	22	2	5	440	44%
Werk	5		8		200	20%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>998</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>5,9</b>	

Woning  $q_{v,10} = 80 \text{ dm}^3/\text{s}$  , Systeem D, buitenconcentratie  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , kookafzuiging + luchtreiniger + filtering

	concentratie [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		# uur per dag		blootstelling [ $\mu\text{g uur}/\text{m}^3$ ]	Bijdrage aan blootstelling
	werkdag	weekend	werkdag	weekend		
Woonkamer/keuken	1,1	1,5	5	10	58	7%
Slaapkamer	1,1	1,1	9	9	72	9%
Buiten	22	22	2	5	440	57%
Werk	5		8		200	26%
<b>Totaal</b>			<b>24</b>	<b>24</b>	<b>769</b>	<b>100%</b>
<b>Weekgemiddelde</b>					<b>4,6</b>	

## C Fijnstof concentratie bij aanwezigheid

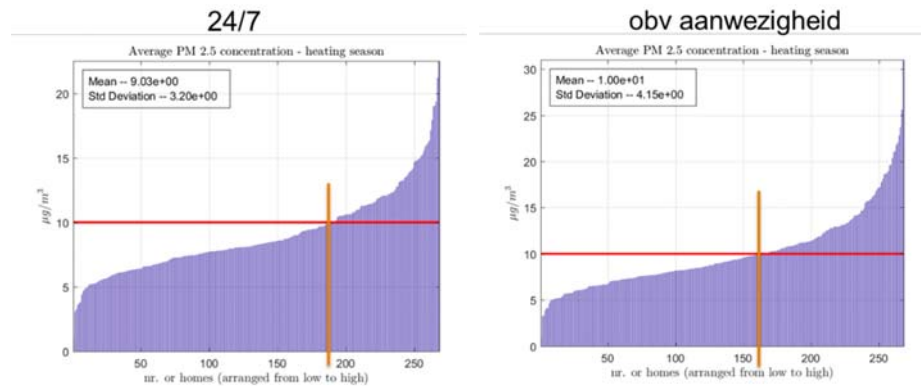
Vrijwel alle deelnemers aan het onderzoek hadden de sensor in de woonkamer/keuken geplaatst. Naar verwachting zullen de deelnemers slechts beperkt aanwezig zijn in deze ruimte. Overdag zijn veel mensen buiten de deur in verband met werk en studie. Ook zullen de deelnemers tijdens verblijf in de slaapkamer niet aan fijnstof uit de woonkamer/keuken worden blootgesteld. Dit omdat tussendeuren veelal gesloten zijn en in het algemeen afzuiging in de keuken voorkomt dat fijnstof zich over de woning verspreidt. De vraag is dan ook wat de fijnstof concentratie is tijdens aanwezigheid in de keuken/woonkamer. Figuur C-1 laat zien dat gemiddeld genomen de CO<sub>2</sub> concentraties goed corresponderen met het in de enquête opgegeven aanwezigheidspatroon wat boven de figuren is aangegeven. Hierdoor kan de CO<sub>2</sub> concentratie worden gebruikt als een indicator voor aanwezigheid.



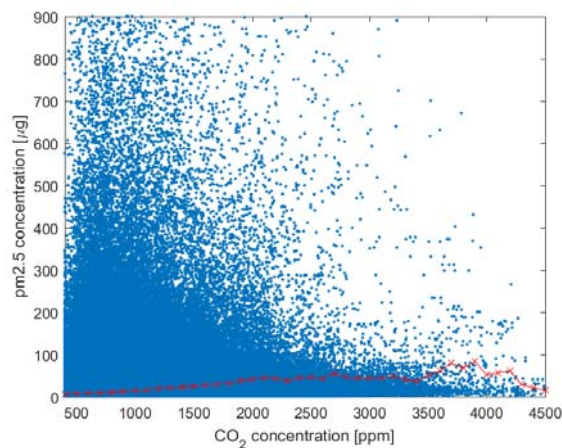
Figuur C-1 vier voorbeelden van aanwezigheidsdetectie op basis van CO<sub>2</sub> concentratie voor een gemiddelde week in het stookseizoen, de groene bolletjes geven aanwezigheid in woonkamer/keuken aan en de rode bolletjes afwezigheid.

Op basis van de aanwezigheid bepaald met de CO<sub>2</sub> concentratie is de fijnstof concentratie tijdens aanwezigheid in woonkamer/keuken vastgesteld, zie Figuur C-2, rechts. Ten opzichte van de jaargemiddelde concentratie, linker figuur, neemt tijdens aanwezigheid de gemiddelde concentratie slechts beperkt toe van 9 naar 10 µg/m<sup>3</sup>. Dit kan worden verklaard omdat er geen correlatie is tussen CO<sub>2</sub> en

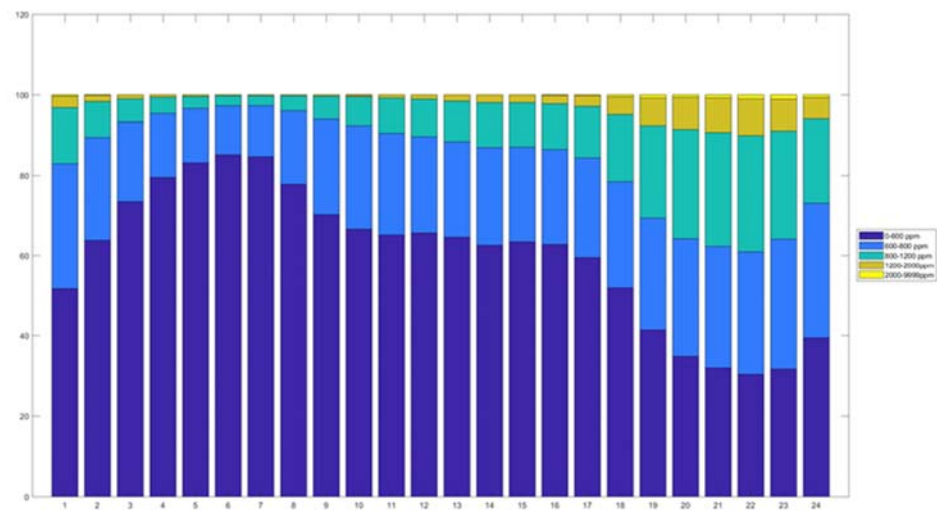
de fijnstof concentratie, zie Figuur C-3. Dit komt waarschijnlijk omdat het opbouwen van een hogere CO<sub>2</sub> concentratie door personen enkele uren vergt, terwijl fijnstof door bakken en braden binnen enkele minuten naar zeer hoge concentraties kan gaan. Uit Figuur C-4 en C-5 blijkt dat de fijnstof concentratie gemiddeld rond 19 uur en de CO<sub>2</sub> concentratie gemiddeld rond 22 uur het hoogst is.



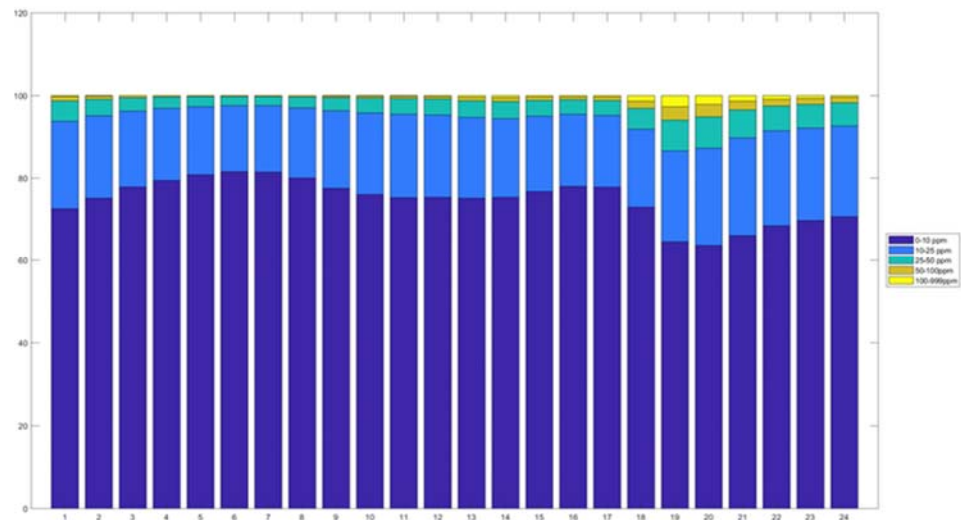
Figuur C-2 jaar gemiddelde verdeling van fijnstof concentratie in woonkamer, links 24 uren gemiddeld rechts op basis van aanwezigheid zoals vastgesteld in figuur C-1.



Figuur C-3 momentane fijnstof concentratie (y-as) versus momentane CO<sub>2</sub> concentratie (x-as). De rode lijn geeft de gemiddelde waarden aan.



Figuur C-4 distributie van CO<sub>2</sub> concentraties tijdens stookseizoen in 268 woningen.



Figuur C-5 distributie van PM<sub>2.5</sub> fijnstof concentraties tijdens stookseizoen in 268 woningen.

Naast de fijnstof concentratie bij aanwezigheid op basis van CO<sub>2</sub> is ook een tijdgemiddelde blootstelling bepaald met vaste tijdstippen: weekdays tussen 18 en 23 uur, weekend tussen 10 en 14 uur en tussen 18 en 24 uur. De gemiddelde concentraties staan in Tabel C-1.



Tabel C-1 PM<sub>2,5</sub> concentratie op basis van 24 uur gemiddelde en op basis van aanwezigheid.

Binnenluchtconcentratie [µg/m <sup>3</sup> ]	Winterperiode N=268	Zomerperiode N=131	Gehele jaar N=101
24 uur	9,0	8,1	8,2
Aanwezigheid obv CO <sub>2</sub>	10,0	8,6	8,9
Aanwezigheid obv tijd <sup>a</sup>	12,7	9,4	10,4

<sup>a</sup> Weekdagen tussen 18 en 23 uur, weekend tussen 10 en 14 uur en tussen 18 en 24 uur.

## D Analyse meetdata luchtmeetnet.nl

On [www.luchtmeetnet.nl](http://www.luchtmeetnet.nl) the outdoor air quality in the Netherlands can be viewed. There are a large number of stations for PM<sub>2.5</sub> measurements, see Figure D-1.

There are four different station types:

- Stadsachtergrond (city background): in a city but not in the vicinity of busy roads or industry;
- Straat (street): located near a busy road;
- Achtergrond (rural): located in a rural area without busy roads or industry nearby;
- Industrie (industry) : located near industry.



Figure D-1 overview of Dutch PM<sub>2.5</sub> stations. With arrows 4 'stadsachtergrondstations' are indicated of which the concentration in time is compared (source: [www.luchtmeetnet.nl](http://www.luchtmeetnet.nl))

PM<sub>2.5</sub> concentrations at a certain time over a region is fairly homogeneous, streets have only a minor effect on the average concentration, see Figure D-2. This can be

explained by the fact that urban PM emissions contribute less than 15% to the urban background<sup>27</sup>.

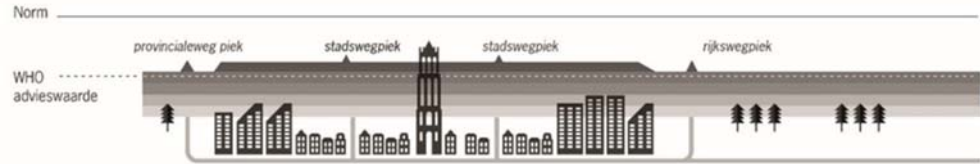
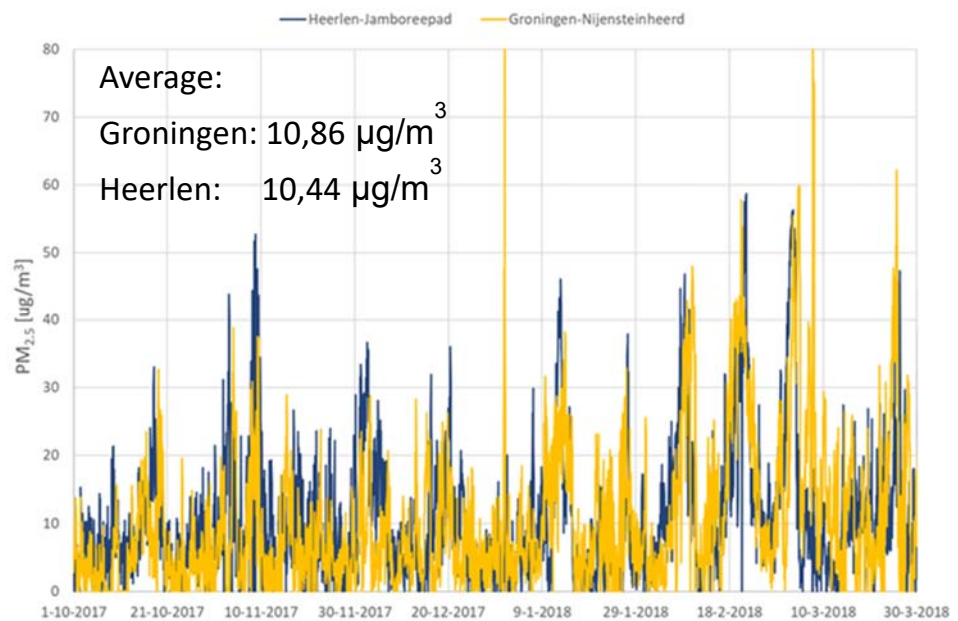


Figure D-2 PM<sub>2.5</sub> profile over a city (source: UITVOERINGSAGENDA GEZONDE LUCHT REGIO UTRECHT, 10 juli 2018)

To get more insight in the geographic effect on the PM<sub>2.5</sub> concentration the data of 4 'stadsachtergrondstations' as indicated in Figure D-1 are analyzed for the heating season October 2017 – March 2018.

In Figure D-3 the PM<sub>2.5</sub> concentration at the four 'stadsachtergrondstations' during the heating season is shown. The half year averages indicate that on the average there are only minor differences.



<sup>27</sup> M. Keuken et al. Source contributions to PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at an urban background and street location, Atmospheric Environment 71, 26 – 35, 2013

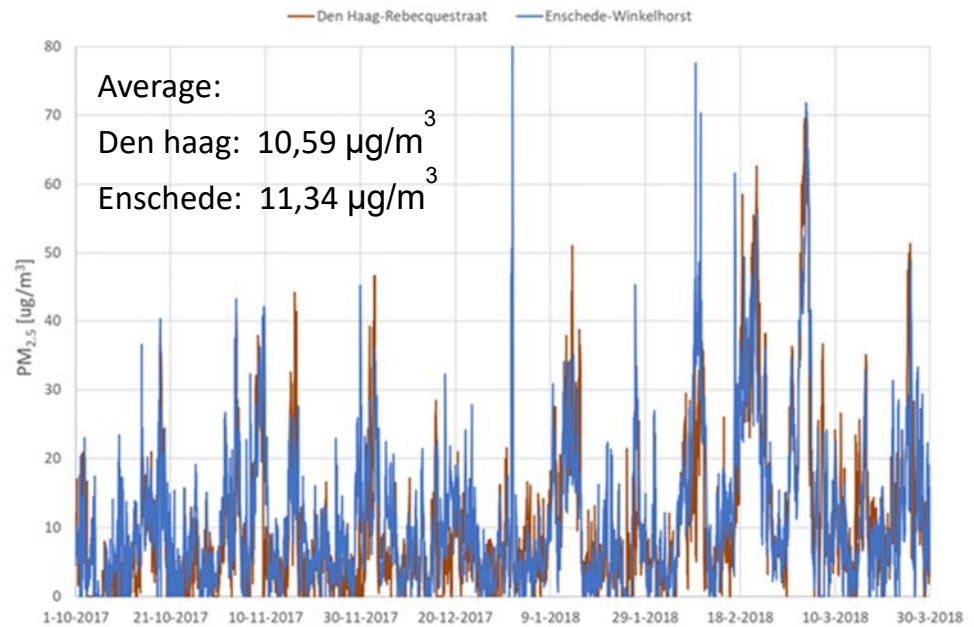
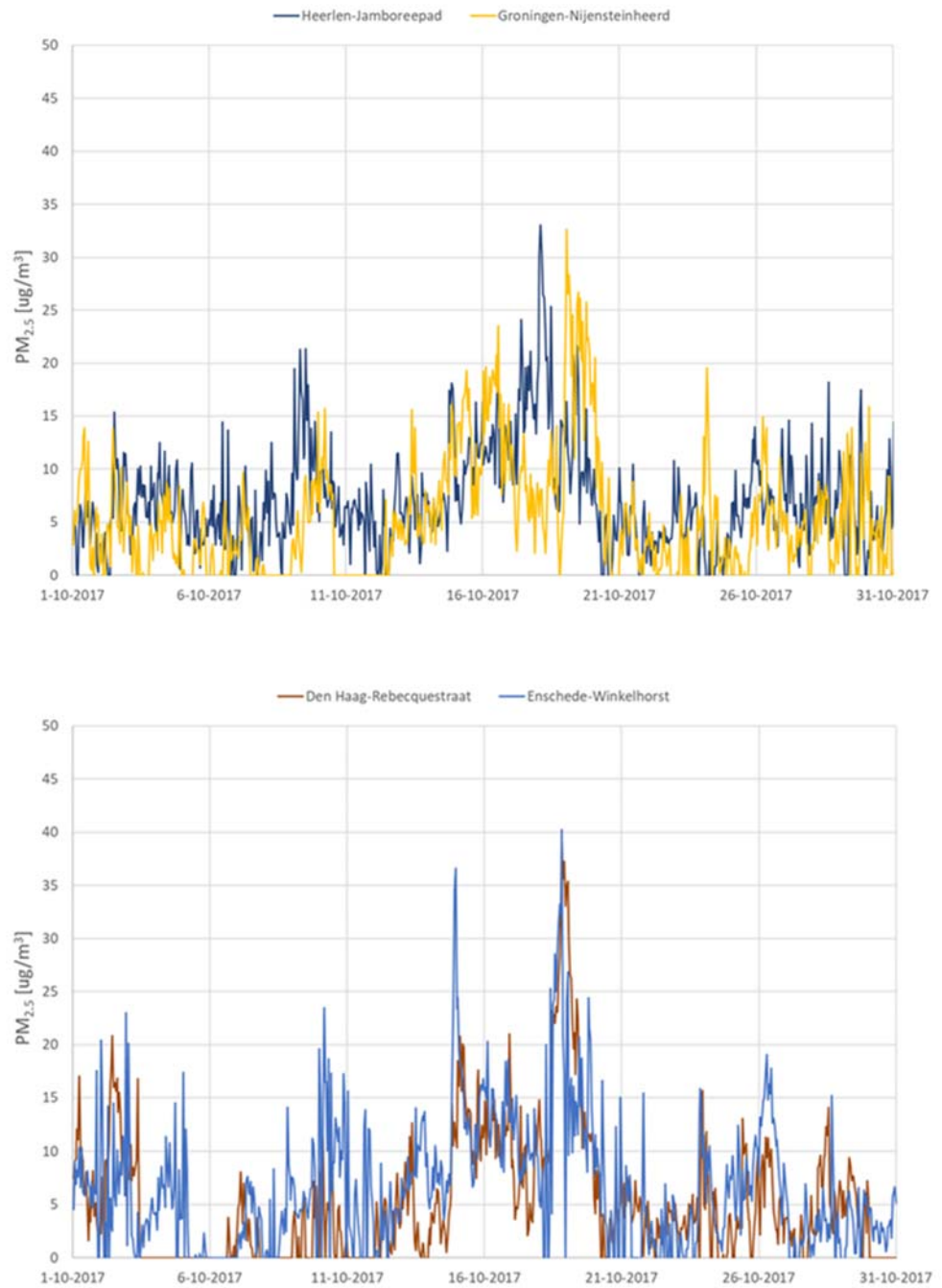
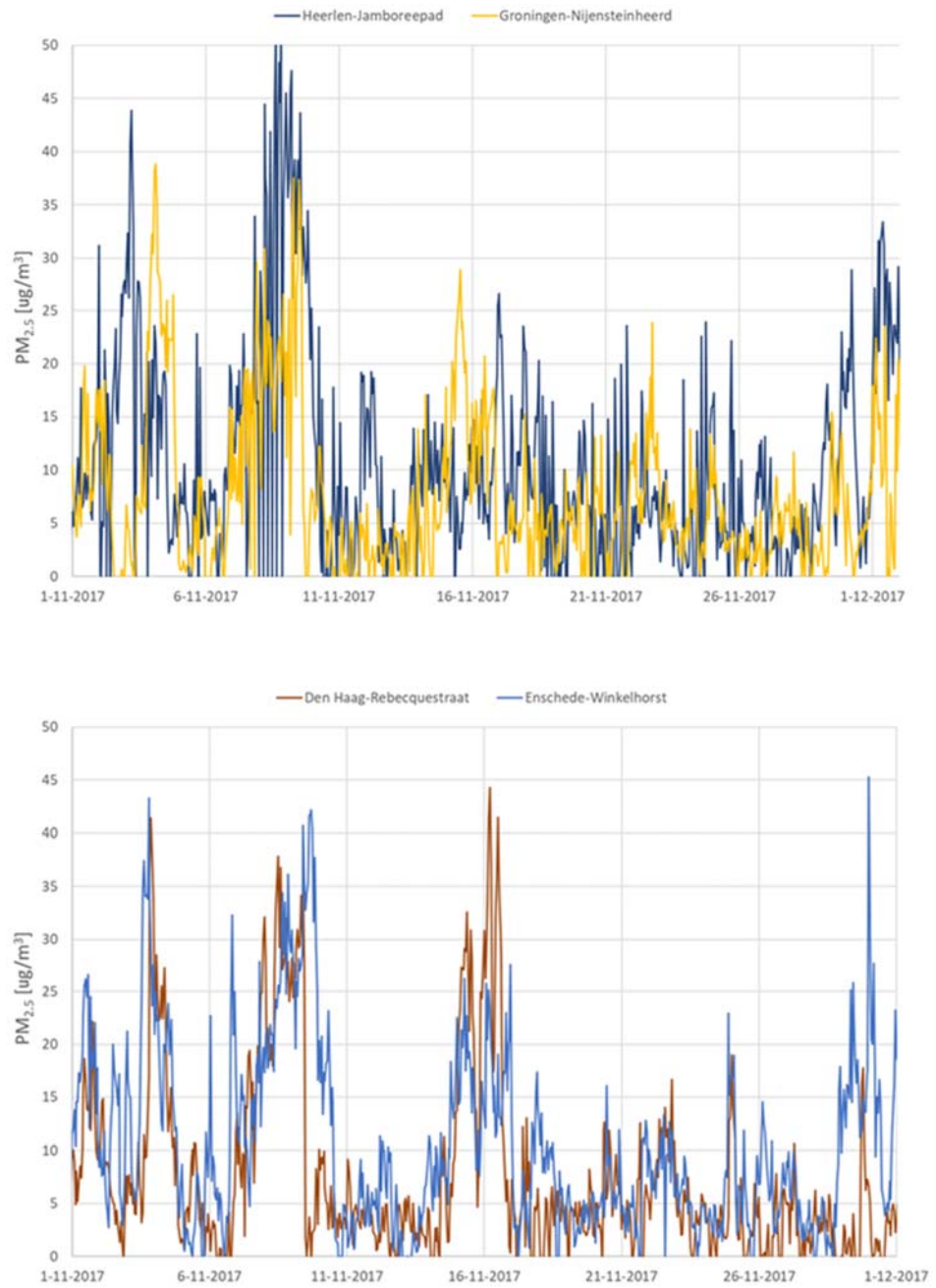


Figure D-3  $\text{PM}_{2.5}$  concentration during heating season in four 'stadsachtergrondstations'.

Figure D-4 till D-9 show the  $\text{PM}_{2.5}$  concentration at the four 'stadsachtergrondstations' per month. The conclusion of these figures is that in general the trends of the  $\text{PM}_{2.5}$  concentration are alike in these four 'stadsachtergrondstations'. The data is very noisy due to changing meteorological conditions like rain, wind direction and speed. In the period October – January in general the same trends are visible, but during short periods also completely different behavior occurs. In February and March almost the same trends are visible over the four 'stadsachtergrondstations'. Sometimes time shifts of 12 to 24 hour are visible. This can be explained by the rather large distance between the stations and the time the wind takes to reach the next station. The distance between Groningen and Heerlen is 270 km. The distance between Den Haag and Enschede is 180 km. To get more feeling for the effect of distance on concentration differences four case studies have been examined, that are described here after.

Figure D-4 PM<sub>2.5</sub> concentration during October in four 'stadsachtergrondstations'.

Figure D-5 PM<sub>2.5</sub> concentration during November in four 'stadsachtergrondstations'.

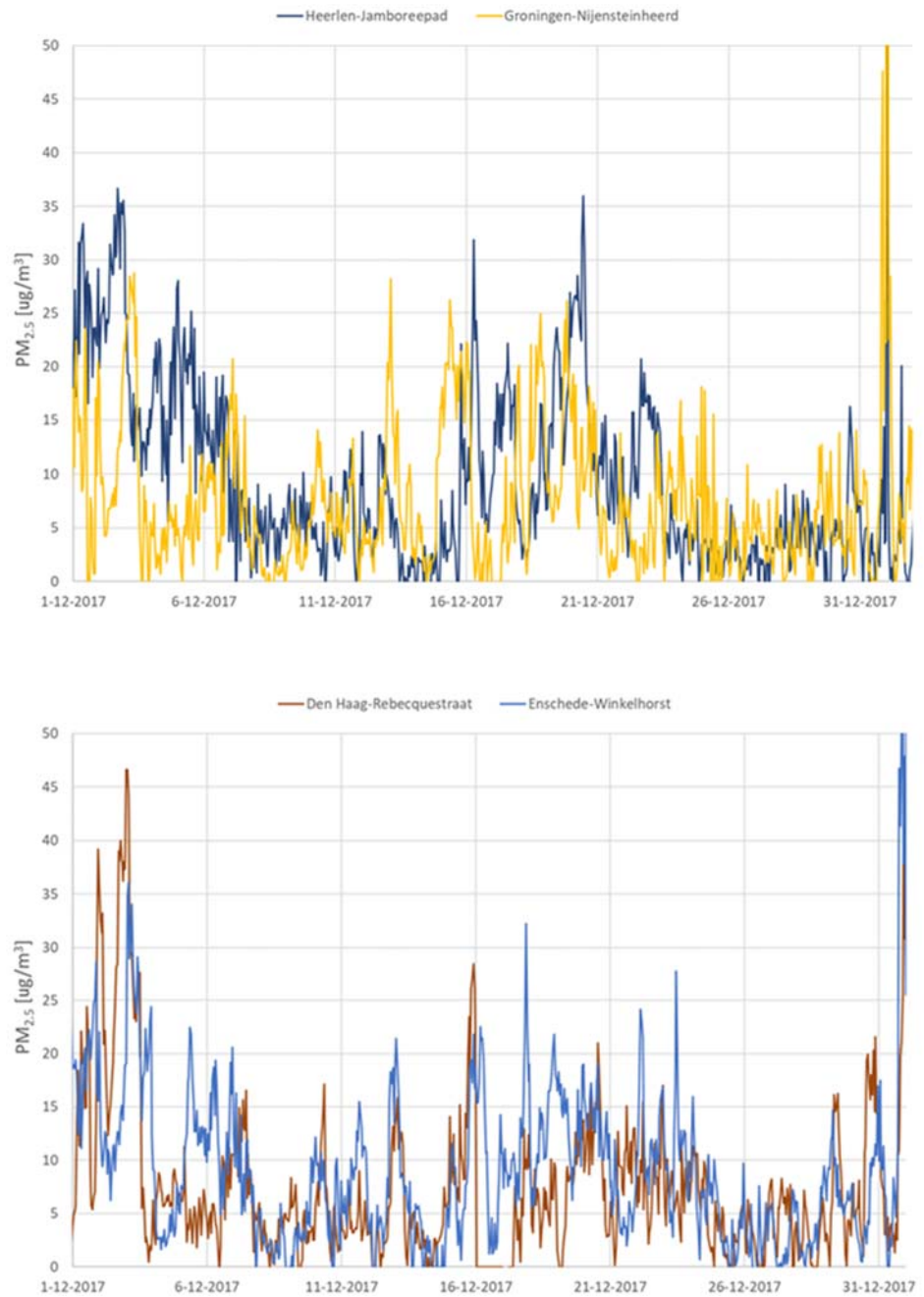


Figure D-6 PM<sub>2.5</sub> concentration during December in four 'stadsachtergrondstations'.



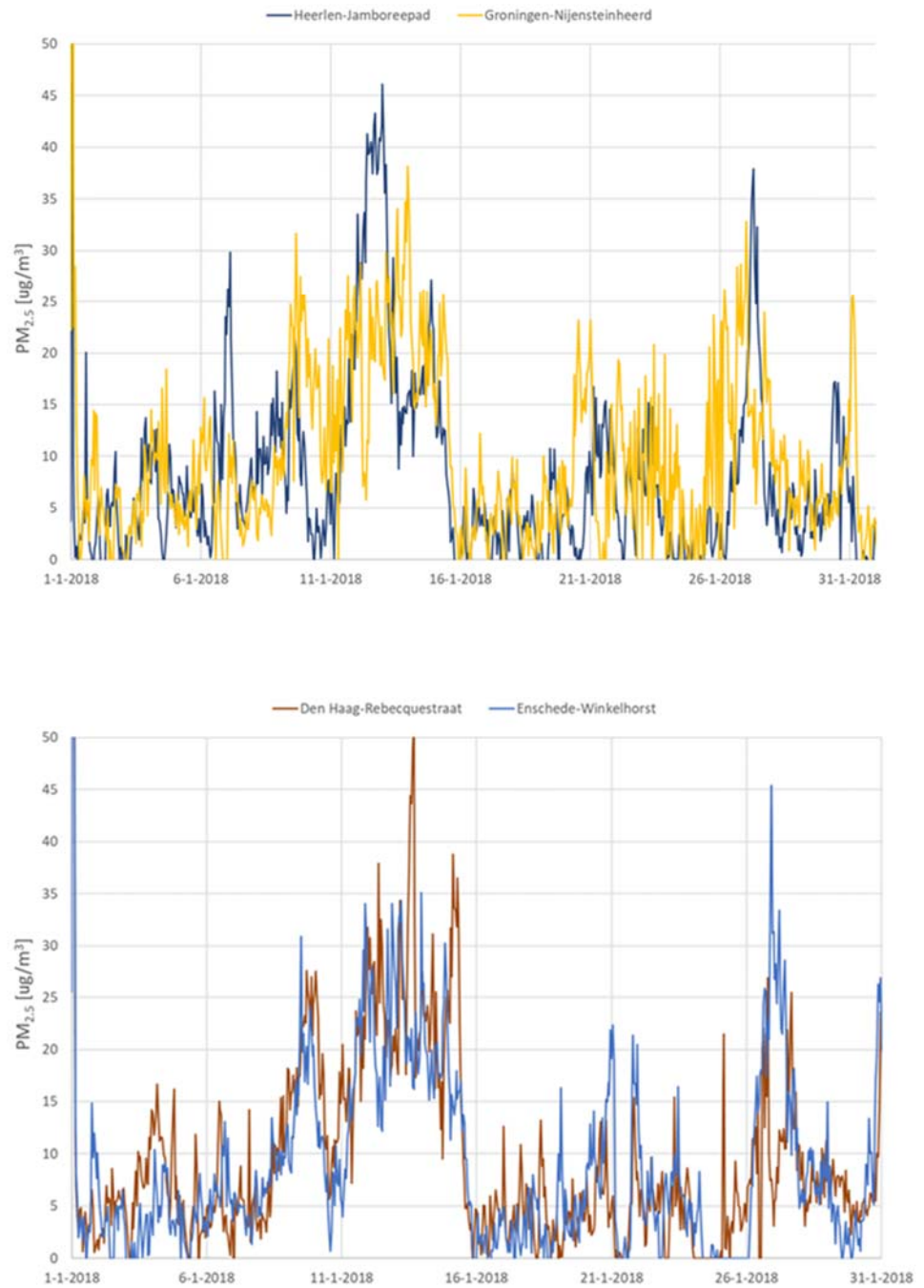
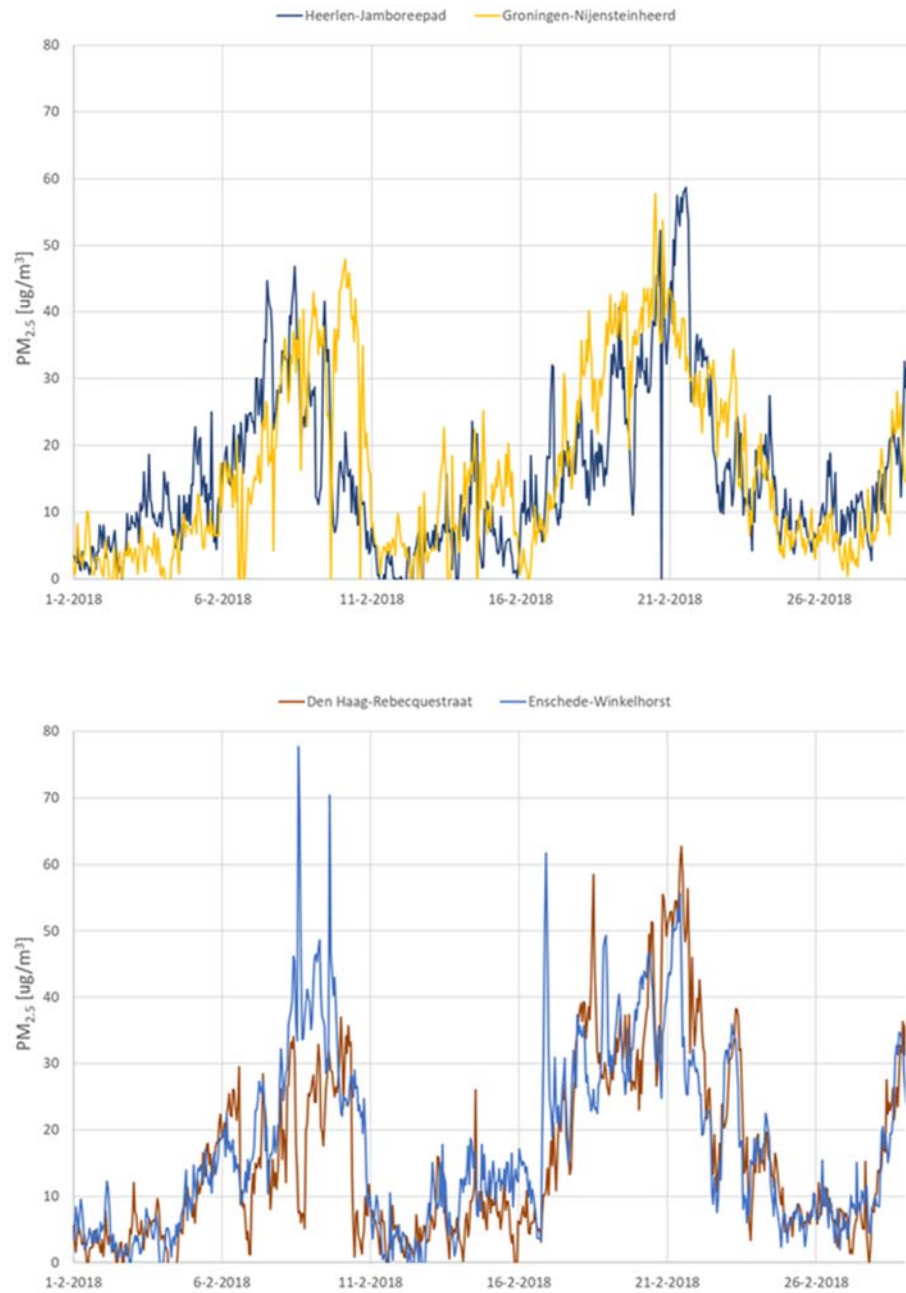
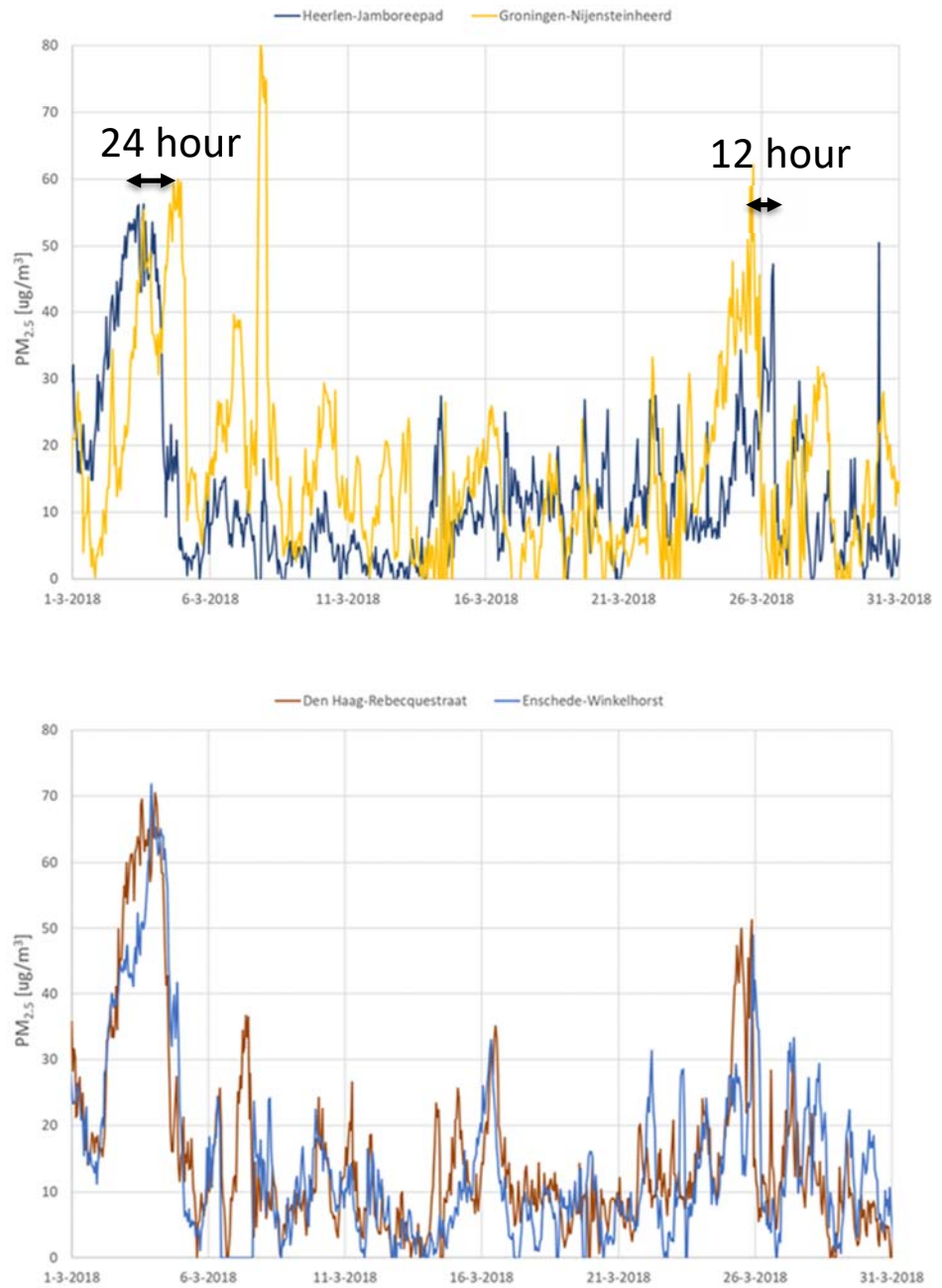


Figure D-7 PM<sub>2.5</sub> concentration during January in four 'stadsachtergrondstations'.



Figure D-8 PM<sub>2.5</sub> concentration during February in four 'stadsachtergrondstations'.

Figure D-9 PM<sub>2.5</sub> concentration during March in four 'stadsachtergrondstations'.

### A. Street station versus city background station

Figure D-10 shows that the  $PM_{2.5}$  concentration in city street station and city background station are following the same trend in October. There is a small concentration difference: Utrecht de Jongweg – street station –  $12,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and Utrecht Griffpark – city background station –  $11,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

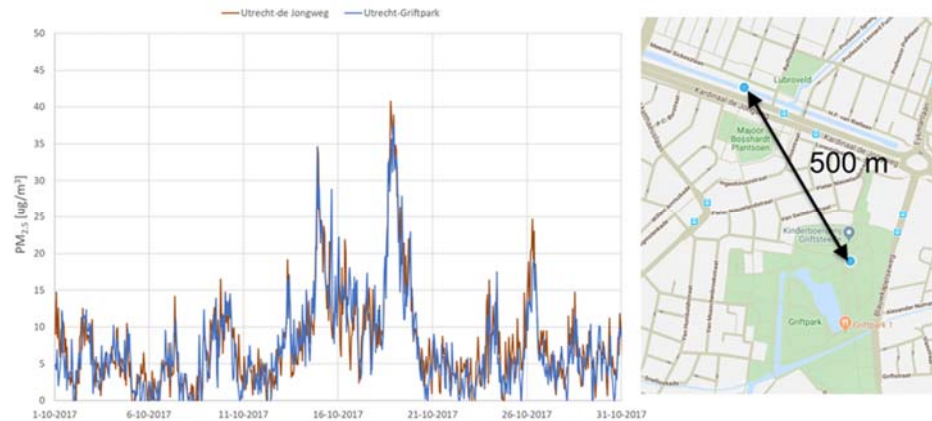


Figure D-10  $PM_{2.5}$  during October at Utrecht de Jongweg (street station) and Utrecht Griffpark (city background station).

### B. City background station versus rural station

Figure D-11 shows that the  $PM_{2.5}$  concentration in a city background station and a nearby rural station are following the same trend in October. There is a small concentration difference: Utrecht Griffpark – city background station –  $11,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and Cabouw – rural station –  $10,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

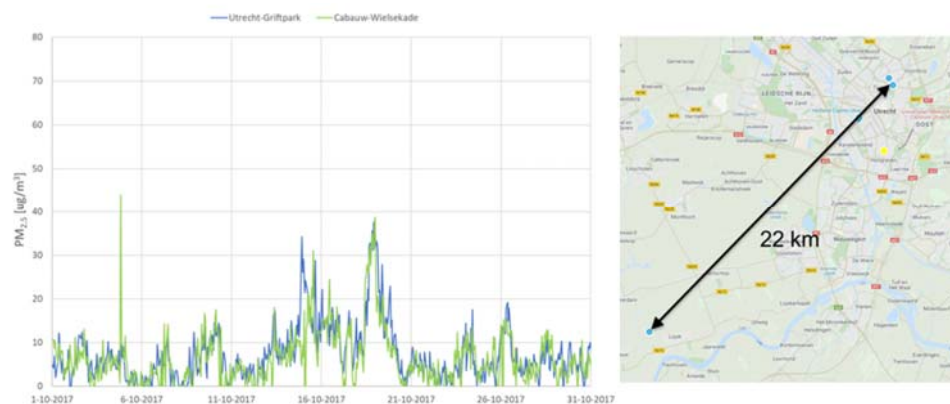


Figure D-11  $PM_{2.5}$  during October at Utrecht Griffpark (city background station) and Cabouw (rural station).

### C. City background stations at 23 km distance

Figure D-12 shows that the  $PM_{2.5}$  concentration in two city background stations at 23 km distance are closely following the same trend in October. There is a small concentration difference: Den Haag  $10,59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and Rotterdam  $11,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

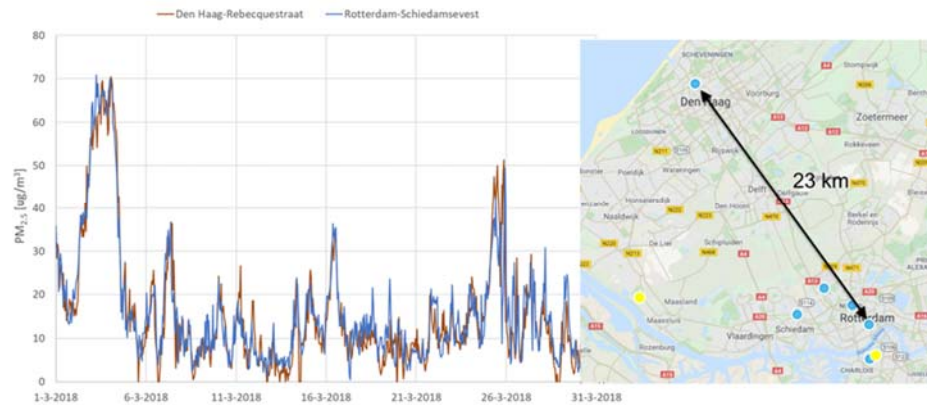


Figure D-12  $PM_{2.5}$  during maart at Den Haag Rebequestraat and Rotterdam Schiedamse Vest (both city background stations).

### D. Street canyoning effect

Figure D-13 shows that in October the  $PM_{2.5}$  concentration in the street station Amsterdam Stadhouderskade ( $15,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) is clearly enhance compared the nearby city background Amsterdam Westerpark ( $13,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). This distinct difference can be explained by the 'street canyoning effect'.

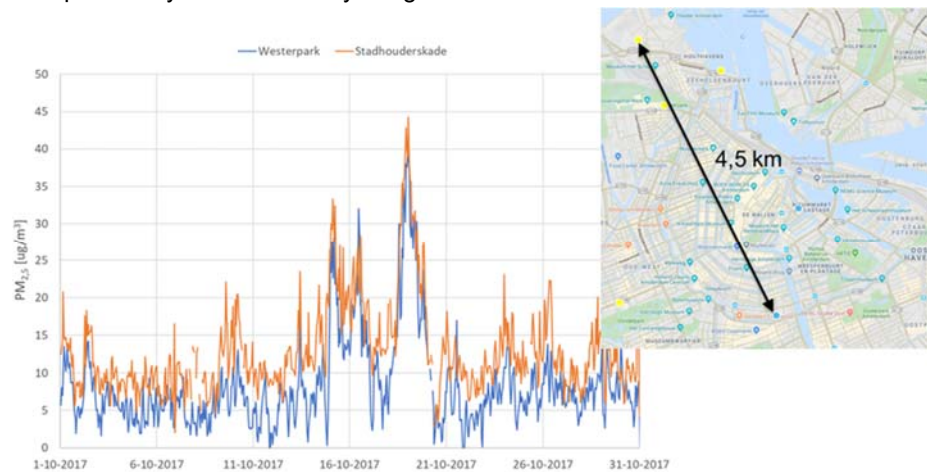


Figure D-13  $PM_{2.5}$  during October at Amsterdam Westerpark (city background station) and Amsterdam Stadhouderskade (street station).

### Conclusions and selection of outdoor air quality data to be used in analysis

From the cases it can be concluded that the average  $PM_{2.5}$  concentrations are in the following order: street canyon > street > city background > rural. As in the indoor air quality dataset only postcode 4 data is given it is not known in which kind of area the houses with sensors are exactly located. Therefore it has been decided to use the outdoor air quality of the city background stations as they are most representative for locations where most of the people live. In total 12 city background stations are available, see blue bullets in Figure D-14. The case studies show that at least up to distances of 23 km city background stations follow the same trends and the average concentration is comparable. For the “Randstad” where most of the people participating in the study live, the distance to an outdoor measurement station is small, see Figure D-14 and Table D-1. For the stations Den Haag, Rotterdam and in Utrecht the average distance is respectively 9, 11 and 12 km. for 97 houses of the total 999 addresses the distance is larger than 25 km. And only for 8 houses the distance is larger than 50 km. So it is expected that for most addresses a rather accurate estimate of the ambient  $PM_{2.5}$  concentration is available.

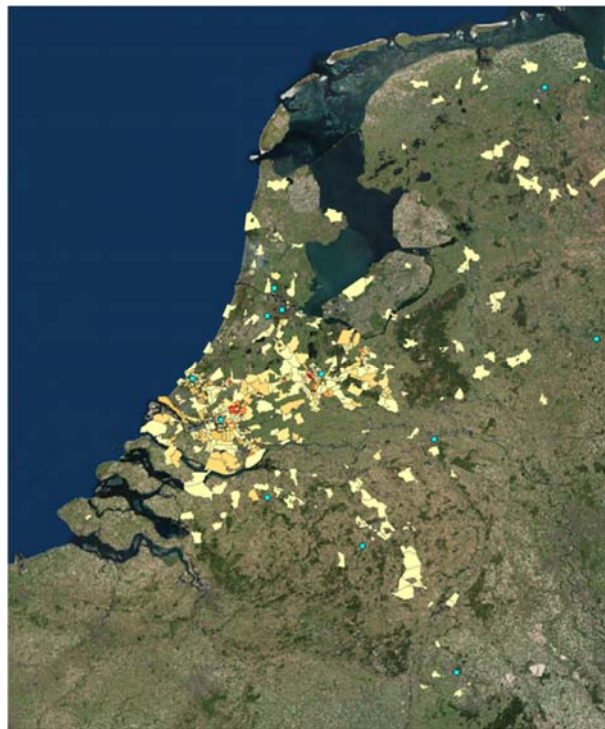


Figure D-14  $PM_{2.5}$  measurement stations indicated with blue bullets and the number of sensors per 4 digit postcode area indicated in yellow to red (see legend).

Table D-1 distribution of houses over the measurement stations.

<b>Meetstation nr</b>	<b>Measurement station</b>	<b>Number of houses</b>	<b>Average distance [km] (standard deviation)</b>
14	Amsterdam Vondelpark	16	15 (16)
138	Heerlen	8	19 (11)
241	Breda	31	20 (10)
247	Veldhoven	23	19 (9)
404	Den Haag	177	9 (6)
418	Rotterdam	389	11 (7)
561	Badhoevedorp	19	13 (6)
643	Utrecht Griftpark	263	12 (9)
701	Zaandam	18	18 (12)
742	Nijmegen	26	28 (10)
821	Enschede	9	50 (19)
938	Groningen	20	34 (17)
<i>total</i>		999	

## E Literatuurstudie

### E.1 Inleiding

Voor we de onderzoeksvraag van Be Aware in deelvragen en hypothesen hebben uitgewerkt, hebben we eerst onderzocht wat er in de literatuur bekend is over vervuilingbronnen in huis en de gezondheidseffecten ervan, en ook het effect van sensoren op bewustwording. Deze rapportage geeft een overzicht van de gevonden literatuur. Hierbij is met name toegespitst op fijnstof omdat dit de grootste gezondheidseffecten geeft. Wat betreft het effect van sensoren op bewustwording wordt met name ingegaan op ervaringen met CO<sub>2</sub> sensoren aangezien deze veel langer op de markt zijn dan fijnstof sensoren.

### E.2 Grens- en advieswaarden

In Be Aware worden met de AirVibe sensorbox de volgende parameters gemeten: temperatuur, relatieve vochtigheid, kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en fijnstof (PM<sub>2,5</sub>). Hierna wordt een beknopte opsomming gegeven van wettelijke grens- en advieswaarden voor deze parameters. In het Be Aware voorstel was aangegeven dat de te gebruiken sensor ook het totaal aan vluchtige organische koolwater stoffen (TVOC) zou meten. De gemeten waarde blijkt echter niet representatief voor TVOC en wordt ook niet op de sensor module aan de gebruikers weergegeven. Aangezien ook de gezondheidsimpact van TVOC als laag wordt ingeschat, zie Figuur E-2, wordt in dit literatuuronderzoek niet nader op TVOC ingegaan.

#### PM<sub>2,5</sub>

In Tabel E-1 wordt een overzicht van advies- en grenswaarden voor PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub> gegeven. Tot PM<sub>10</sub> fijnstof worden in de lucht zwevende deeltjes kleiner dan 10 micrometer gerekend. PM<sub>2,5</sub> is de fijnere fractie, de massa van de deeltjes kleiner dan 2,5 micrometer. Vanwege de geringere grootte dringen deze deeltjes dieper in de longen door en richten naar verwachting meer schade aan. Ook de samenstelling van PM<sub>2,5</sub> is anders, relatief bevat het meer verbrandingsgerelateerde deeltjes. Alle in de tabel vermelde waarden gelden voor de buitenlucht. De WHO (2010) heeft aangegeven dat de PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> advieswaarden van respectievelijk 20 en 10 µg/m<sup>3</sup> jaargemiddeld ook van toepassing zijn op binnenruimtes. Daarnaast wordt ultrafijnstof (deeltjes kleiner dan 0,1 micrometer) onderscheiden. Hiervoor zijn echter geen advies- en grenswaarden vastgesteld. Ultrafijnstof wordt uitgedrukt in aantal deeltjes per cm<sup>3</sup>, omdat de massa zeer gering is en daarmee niet onderscheidend is.

Tabel E-1 overzicht van advies- en grenswaarden voor PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub> (WHO, 2005)

	period	PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
WHO	jaargemiddeld	20	10
	daggemiddeld	50	25
EU	jaargemiddeld	40	25
	daggemiddeld	50*	-
US	jaargemiddeld	50	15**
	daggemiddeld	150	35

*\*Max 35 days higher than 50 µg/m<sup>3</sup> \*\*3 years average*

### **CO<sub>2</sub>**

Kooldioxide (CO<sub>2</sub>) wordt als marker gebruikt voor de luchtkwaliteit ten gevolge van door de mens geproduceerde verontreinigingen. Overeenkomstig een advies van de gezondheidsraad uit 1984 wordt in Nederland een CO<sub>2</sub> concentratie van 1200 ppm beschouwd als bovengrens. Hogere concentraties duiden op onvoldoende luchtverversing. In 2010 heeft de Gezondheidsraad nieuwe literatuur in beschouwing genomen en zag geen reden om voor onderwijsruimten af te wijken van de CO<sub>2</sub> waarde van 1200 ppm die als grondslag is gehanteerd voor de ventilatie eisen in het Bouwbesluit. In het advies uit 2010 wordt aangegeven dat CO<sub>2</sub> slechts beperkt bruikbaar is als maat voor de binnenluchtkwaliteit, maar wel een goede indicator voor luchtverversing is.

### **Temperatuur**

Er bestaan geen wettelijke eisen ten aanzien van temperatuur in woningen. In de GIW eisen (2007) werd als eis gesteld dat het aantal overschrijdingsuren boven PMV > 0,5 niet meer dan 300 uur per jaar mocht bedragen. Bij een PMV van 0,5 is 10% van een populatie ontevreden over het thermisch binnenklimaat. Deze Predicted Mean Vote (PMV) is conform NEN-EN-ISO 7730 (2005) te bepalen en komt bij een zomers kledingniveau en bij rustige activiteiten overeen met een temperatuur van 25,5 °C.

### **Relatieve vochtigheid**

Er bestaan geen wettelijke eisen ten aanzien van relatieve vochtigheid in woningen. Wel zijn de ventilatie eisen in het Bouwbesluit zo opgezet dat schimmelgroei ten gevolge van vochtophoping in de badkamer en keuken wordt voorkomen, zie NEN 1087 (1975). In de literatuur (Handboek vocht en ventilatie, 2000) wordt vermeld dat in het algemeen schimmels niet groeien indien de relatieve vochtigheid beneden 80% is. Adan (1994) heeft afgeleid dat indien meer dan 50% van de tijd aan dit criterium wordt voldaan de groei niet wordt bevorderd. Lastig punt ten aanzien van sensoren hierbij is dat de relatieve vochtigheid van de wand niet overeen hoeft te komen met de relatieve vochtigheid van de lucht in de desbetreffende ruimte zoals gemeten door de sensor. Dit geldt met name voor voegen tussen tegels, maar ook voor het plafond wat vaak het langst nat blijft. Ook indien thermische bruggen aanwezig zijn, bijvoorbeeld door een slecht geïsoleerde buitenmuur, kan de lokale relatieve vochtigheid sterk afwijken van de door een luchtvochtigheidsensor gemeten waarde in de ruimtelucht.

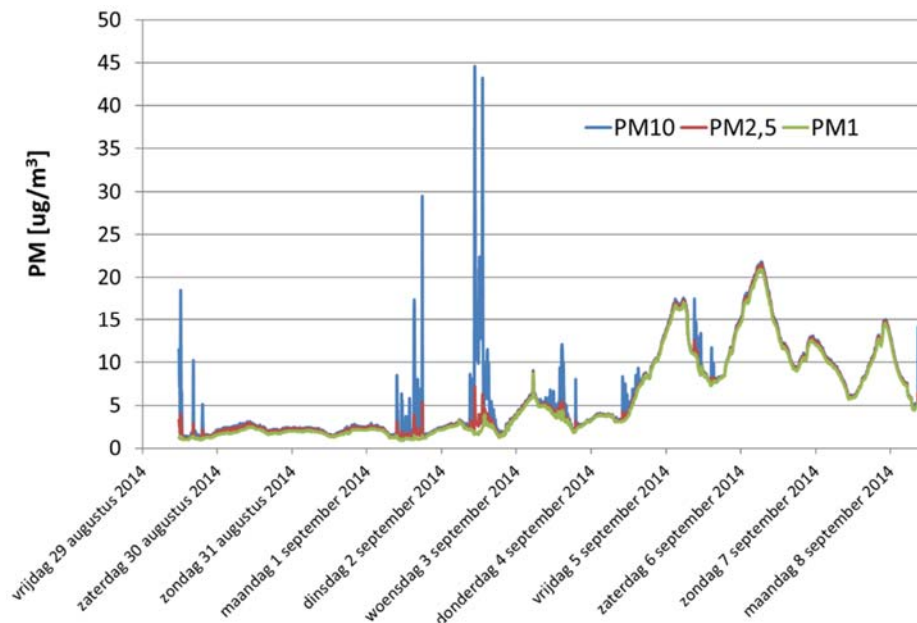
## **E.3 Vervuilingbronnen in huis**

### **Fijnstof**

RIVM en TNO hebben in 2009 in een negental woningen PM<sub>10</sub> gemeten (Hall 2009). De gemiddelde concentratie PM<sub>10</sub> was laag, met uitzondering van een woning waar werd gerookt, in deze woning bedroeg de gemiddelde PM<sub>10</sub> concentratie 58 µg/m<sup>3</sup>. Deze was tevens de enige woning waar de gezondheidkundige advieswaarde werd overschreden. In de overige woningen was de PM<sub>10</sub> concentratie gemiddeld, zonder deze uitschieter, 14 µg/m<sup>3</sup>. Deze gemiddelde concentraties waren bepaald op basis van filterwegingen. Daarnaast waren ook met optische sensoren deeltjes aantallen gemeten. De auteurs



concluderen uit het verloop van het deeltjes aantal in de fractie van 5 tot 10  $\mu\text{m}$  dat het moment dat het avondeten werd bereid duidelijk terug is te zien. Waarschijnlijk zijn deze emissies niet van het koken zelf afkomstig, koken veroorzaakt namelijk vooral emissies in de range rond 1  $\mu\text{m}$ . Deze emissies zijn waarschijnlijk het gevolg van re-suspensie. Re-suspensie is het in de lucht brengen van deeltjes die op de grond of op oppervlakken aanwezig waren, bijvoorbeeld door rondlopen of spelende kinderen. Het effect van re-suspensie op de fijnstof concentratie is minder groot indien  $\text{PM}_{2,5}$  of  $\text{PM}_1$  worden gemeten, zie onderstaande figuur. Voor deze fracties zijn verbrandingsproducten zoals uitlaatgassen, sigaretten(rook) en koken dominant.



Figuur E-1 fijnstof meting in kantoorruimte (Jacobs, 2015) waarbij het  $\text{PM}_1$  afkomstig is uit de buitenlucht en  $\text{PM}_{10}$  en in mindere mate  $\text{PM}_{2,5}$  gedurende kantooruren wordt veroorzaakt door re-suspensie van stof met name door lopen.

De  $\text{PM}_{2,5}$  fractie van fijnstof in het binnenmilieu van Nederlandse woningen is tot nu toe beperkt onderzocht. Jacobs (2016) heeft in een verkennende studie in 9 woningen gedurende een week met optische deeltjestellers gemeten. Uit deze metingen bleek dat een groot deel van het fijnstof gerelateerd is aan kookactiviteiten. De deelnemers in het onderzoek waren geïnstrueerd om foto's te maken van de kookplaat met hun smartphone 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 niet aan koken gerelateerde onbekende pieken te zien. Na afloop van de metingen is in samenspraak met de deelnemers de herkomst van vrijwel alle pieken achterhaald. De maximum concentraties ten aanzien van de verschillende bronnen staan vermeld in Tabel E-2. In een ander recent Nederlands onderzoek (Kluizenaar, 2017) droegen twaalf Eindhovenaren gedurende vijf dagen zowel binnen- als buitenshuis een rugzakje met draagbare sensoren. In deze proef van onder andere TNO waarbij ultrafijnstof werd gemeten werden veel pieken in huis rondom etenstijd

geregistreerd. Ultrafijnstof wordt gedefinieerd als deeltjes in de lucht die kleiner zijn dan 0,1  $\mu\text{m}$ . Aangezien de massa van deze deeltjes beperkt is wordt het uitgedrukt in het aantal deeltjes per kubieke centimeter.

Tabel E-2 maximum concentraties  $\text{PM}_{2,5}$  fijnstof in 9 Nederlandse woningen (Jacobs, 2017)

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

De binnenconcentratie fijnstof is sterk afhankelijk van de buitenconcentratie fijnstof. De infiltratiefactor is gedefinieerd als de binnenconcentratie afkomstig van buiten gedeeld door de buitenconcentratie. De infiltratiefactor is afhankelijk van de luchtdichtheid van de woning, het ventilatiegedrag, open ramen, eventueel toegepaste luchtfilters (bij balansventilatie) en de mate van depositie van de deeltjes. Depositie is het neerslaan van fijnstof op een vaste ondergrond. Met name grotere deeltjes, die meer massa hebben slaan sneller neer. Hoek (2008) heeft de toename van de binnenconcentratie  $\text{PM}_{2,5}$  als functie van de buitenconcentratie in 50 Amsterdamse woningen in het stookseizoen onderzocht. Het merendeel van de woningen was vooroorlogs en werd op natuurlijke wijze geventileerd. Hij vond een infiltratie coëfficiënt van gemiddeld 0,39. Onderzoek van MacNeil (2014) in 50 Canadese woningen in de kustplaats Halifax met een gematigd klimaat liet zien dat de infiltratie coëfficiënt in de zomer (0,8) door open ramen veel hoger kan zijn dan in de winter (0,53). Dit verschil in infiltratie tussen de seizoenen geeft aan dat indien je wil toetsen aan de jaarlijkse  $\text{PM}_{2,5}$  advies- en grenswaarden dat je dan een geheel jaar of minimaal een aantal perioden die representatief zijn voor een heel jaar moet meten.

In de Verenigde Staten heeft Chan (2017) in 18 appartementen gedurende 14 dagen gemeten. De gemiddelde binnenconcentratie  $\text{PM}_{2,5}$  bedroeg 18,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wat betreft de 14 dagen gemiddelde concentraties zijn grote verschillen tussen de woningen vastgesteld. Bij dezelfde buitenconcentratie (circa 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) varieerde de binnenconcentratie van 8,2 tot 64,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . In totaal zijn in de woningen 836 fijnstof pieken vastgesteld. Met een door hen ontwikkeld algoritme is hieruit een gemiddelde  $\text{PM}_{2,5}$  fijnstof emissie van 30 mg per piek vastgesteld. Ook is met dit algoritme de bijdrage van fijnstof in de buitenlucht aan de binnenlucht berekend. Deze varieerde van 15 tot 85%. Dit wil dus zeggen dat in een aantal woningen 85% van het  $\text{PM}_{2,5}$  binnen is gegenereerd.

In 2017 is door TNO samen met de Universiteit van Nottingham de fijnstof bronsterkte van de bereiding van 4 representatieve maaltijden in het MEC laboratorium van TNO gemeten, zie onderstaande tabel. De samenstelling van de maaltijden was gebaseerd op een onderzoek door Maggi (2015) onder 3344 Nederlanders van de meest gekookte maaltijden. Tijdens het koken werd de ruimte met 21  $\text{dm}^3/\text{s}$  (75  $\text{m}^3/\text{h}$ ) geventileerd, conform de bouwbesluit capaciteit eis voor ruimten met een kookopstelling.

Tabel E-3 PM<sub>2,5</sub> bronsterkte voor verschillende maaltijden.

Maaltijd	PM <sub>2,5</sub> emissie [mg]
Kip, sperziebonen met gekookte aardappels	21,7
Kip, sperziebonen met gebakken aardappels	19,1
Pasta Bolognaise (op achterste pitten)	46,3
Kip wokgroenten met noodles (achterste pit)	52,2
<i>Gemiddeld per maaltijd</i>	<i>34,8</i>
<i>Gemiddeld per dag (bij 5 dagen per week koken)</i>	<i>24,9</i>

Het gemiddelde over de vier maaltijden levert een bronsterkte op van 25 mg PM<sub>2,5</sub> per dag uitgaande van 5 keer koken per week, wat betreft grootteorde overeenkomt met de gemiddelde waarde over 836 events door Chan, zie Tabel E-4. Opgemerkt dient te worden dat Chan de gemiddelde emissie betreft van alle geregistreerde events, naast koken dus ook pieken ten gevolge van andere activiteiten. Uit de resultaten van Fortmann (2001) en Dacunto (2013) in Tabel E-4 vergeleken met de kipperechten in Tabel E-3 volgt dat er een grote spreiding is in bronsterkte bij bereiding van hetzelfde gerecht, afhankelijk van de bereidingscondities.

Tabel E-4 PM<sub>2,5</sub> bronsterkte voor verschillende maaltijden.

maaltijd	PM <sub>2,5</sub> [mg]	Bron
Kipfilet roerbakken in olijfolie met groenten	5,7	Dacunto (2013)
Hamburger 2 x 250 g	40,6	Dacunto (2013)
Gemiddelde emissie bij 836 'events' gedurende 2 weken meten in 18 woningen	30	Chan (2017)
Kipfilet roerbakken met groenten, op gas	70,5	Fortmann (2001)
Kipfilet roerbakken met groenten, elektrisch	61,3	Fortmann (2001)
Kipfilet roerbakken met groeten, op gas in twee batches	129,4	Fortmann (2001)
Kipfilet roerbakken, worst case – olie heter en langer bakken	463,8	Fortmann (2001)

Derbez et al. (2017) heeft in Frankrijk in 2013/2014 in 72 energie efficiënte woningen gedurende 1 week in het stookseizoen en in 1 week buiten het stookseizoen contaminanten in de binnenlucht gemeten. In 45 woningen is de PM<sub>2,5</sub> concentratie bepaald, deze bedroeg in de woonkamer in het stookseizoen gemiddeld 25 µg/m<sup>3</sup> (Standaard Deviatie 30 µg/m<sup>3</sup>). In het niet stookseizoen waren 43 woningen bemeaten en was de gemiddelde concentratie 13 µg/m<sup>3</sup> (Standaard Deviatie 7 µg/m<sup>3</sup>). Opvallend is dat de mediane waarden voor het stookseizoen en niet-stookseizoen met respectievelijk 16 en 12 µg/m<sup>3</sup> een stuk lager liggen. Dit betekent dat een klein deel van de woningen met hoge interne bronnen het gemiddelde in het stookseizoen fors omhoog trekt. Dit effect is ook bij de metingen van Chan (2017) in 18 appartementen zichtbaar. De gemiddelde PM<sub>2,5</sub> concentratie bedraagt daar 18,6 µg/m<sup>3</sup> en de mediane concentratie 13,7 µg/m<sup>3</sup>. Broderick et al.

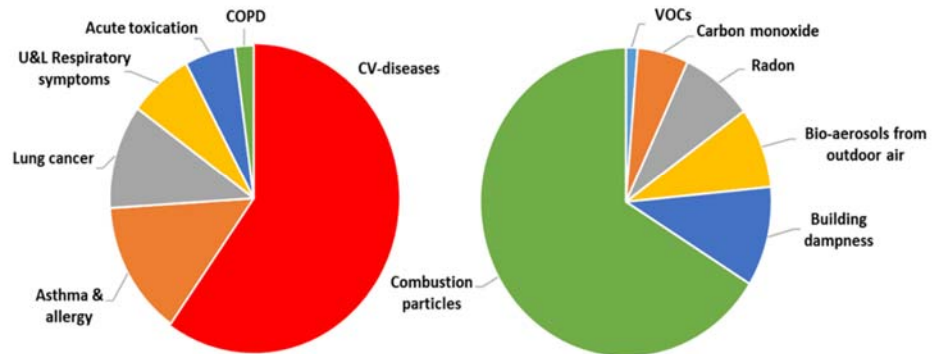
(2017) mat voor en na energetische renovatie van 15 sociale huurwoningen PM<sub>2,5</sub>. De daggemiddelde concentratie steeg van 9,6 naar 16,4 µg/m<sup>3</sup>. Ook de concentratie formaldehyde nam significant toe. De verklaring voor de toename is dat intern gegenereerde verontreinigingen langer blijven hangen omdat de woningen na de renovatie luchtdichter waren geworden, van 0,82 naar 0,61 ACH bij 50 Pa.

### CO<sub>2</sub>

In het stookseizoen van 2004/2005 is in 1240 Nederlandse woningen CO<sub>2</sub> gemeten (Dongen en Vos, 2007). De CO<sub>2</sub>-concentratie is een indicatie van de mate van luchtverversing in relatie tot menselijke bio effluenten. Overeenkomstig een advies van de Gezondheidsraad wordt in Nederland een CO<sub>2</sub>-concentratie van gemiddeld 1200 ppm beschouwd als bovengrens, omdat hogere gemiddelde concentraties duiden op onvoldoende luchtverversing. Uit het onderzoek blijkt dat in circa 60% van de woonkamers voor kortere of langere tijd de CO<sub>2</sub>-concentratie hoger is dan 1200 ppm. In de woonkamers waar deze overschrijding plaatsvindt, is dit gemiddeld ruim 14 uur per week het geval (= 17% van de aanwezige tijd bij een aangenomen aanwezigheid van 7 x 12 = 84 uur), in de hoofdslaapkamer 21 uur (= 37% van de daar aanwezige tijd bij een aangenomen aanwezigheid van circa 7 x 8 = 56 uur). Vanuit energetisch oogpunt wordt in steeds meer woningen CO<sub>2</sub> gemeten en wordt in nieuwbouw- en renovatiewoningen veelal automatisch de ventilatie op basis van de gemeten CO<sub>2</sub> concentratie aangestuurd. In het TKI project Monicair (2014) is een aantal verschillende type ventilatiesystemen onderzocht. In dit onderzoek wordt geconcludeerd dat bewoners weliswaar een bepaalde gewoonte of vast patroon inzake de bediening van ventilatiecomponenten (gebruik ventilatieroosters, afzuigkap en standenschakelaar) hebben, ze vertonen echter geen reactief ventilatiegedrag. In verblijfsruimtes kunnen CO<sub>2</sub>-concentraties oplopen tot boven de 3500 ppm zonder dat de bewoner hierop reageert en actie onderneemt door bijvoorbeeld de mechanische ventilatie-unit in een hogere stand te zetten. Recent (Mishra, 2017) zijn er steeds meer aanwijzingen dat CO<sub>2</sub> naast indicator voor geuroverlast ook geassocieerd is met slaapkwaliteit. Mishra (2017) concludeert dat lagere CO<sub>2</sub> concentraties samengaan met 'better sleep depth, sleep efficiency, and a lesser number of awakenings'.

## E.4 Gezondheidseffecten

In de Europese projecten ENVIE (2003-2008) en IAIAQ (2010 – 2011) zijn schattingen gemaakt van de ziektelast veroorzaakt door verschillende agentia in het binnenmilieu, zie Figuur E-2. De belangrijkste ziekten zijn hart- en vaatziekten (Cardio Vasculair CV) die worden veroorzaakt door fijnstof wat ontstaat bij verbranding in de binnen- en buitenlucht. Deze verbrandingsdeeltjes veroorzaken ook COPD en longkanker. IAIAQ concludeert dat 2/3 van de ziektelast gerelateerd met agentia in het binnenmilieu wordt veroorzaakt door fijnstof, wat het best wordt gerepresenteerd door PM<sub>2,5</sub>.



Figuur E-2 links binnenmilieu gerelateerde ziekten (CV = Cardio Vasculair) en rechts belangrijkste agentia in 26 Europese Unie landen, de totale ziektelast in deze landen wordt geschat op 2,2 miljoen DALY (IAIAQ, 2011).

RIVM (Schram-Bijkerk, 2012) heeft ook een schatting gemaakt van de ziektelast in Nederland ten gevolge van binnenlucht. Zij identificeerden tabaksrook als belangrijkste oorzaak voor de ziektelast. Zij kwamen op een lagere schatting (7000 – 52000 DALY) voor de ziektelast dan de ENVIE schatting voor Nederland (73000 DALY). Als mogelijke oorzaak voor het verschil gaven zij aan dat de berekeningsmethode verschilde en dat minder agentia dan in ENVIE waren meegenomen. Een soortgelijke analyse voor de situatie in de VS is uitgevoerd door Logue (2012). Hieruit volgde dat  $PM_{2,5}$  de grootste impact heeft op de gezondheid gevolgd door acroleïne en formaldehyde.

## E.5 Binnenmilieu sensoren in woningbouw en effect op bewustwording

Er is nog weinig onderzoek bekend naar de relatie tussen binnenmilieu sensoren in woningbouw en het effect op bewustwording. Wel is uitgebreid het effect van  $CO_2$  sensoren op bewustwording van luchtkwaliteit in scholen onderzocht.

In het kader van het Bewustwordingsproject Binnenmilieu Basisscholen (2008 – 2013) is 98% van de in totaal 4398 basisscholen met natuurlijke ventilatie in Nederland door de GGD bezocht (Eeuwijk et al., 2014). In dit onderzoek is de zogenaamde ‘Eendags methode’ toegepast. Medewerkers van de GGD beoordeelden op één dag systematisch het binnenmilieu van een basisschool en voerden een indicatieve  $CO_2$ -meting uit. De één-dagsmethode bestond verder uit de volgende onderdelen:

- a. schooladvies op maat en handelingsperspectieven;
- b. gratis  $CO_2$ -meter;
- c. 1.500 euro om vrij te besteden aan maatregelen die ten goede komen aan het binnenmilieu.

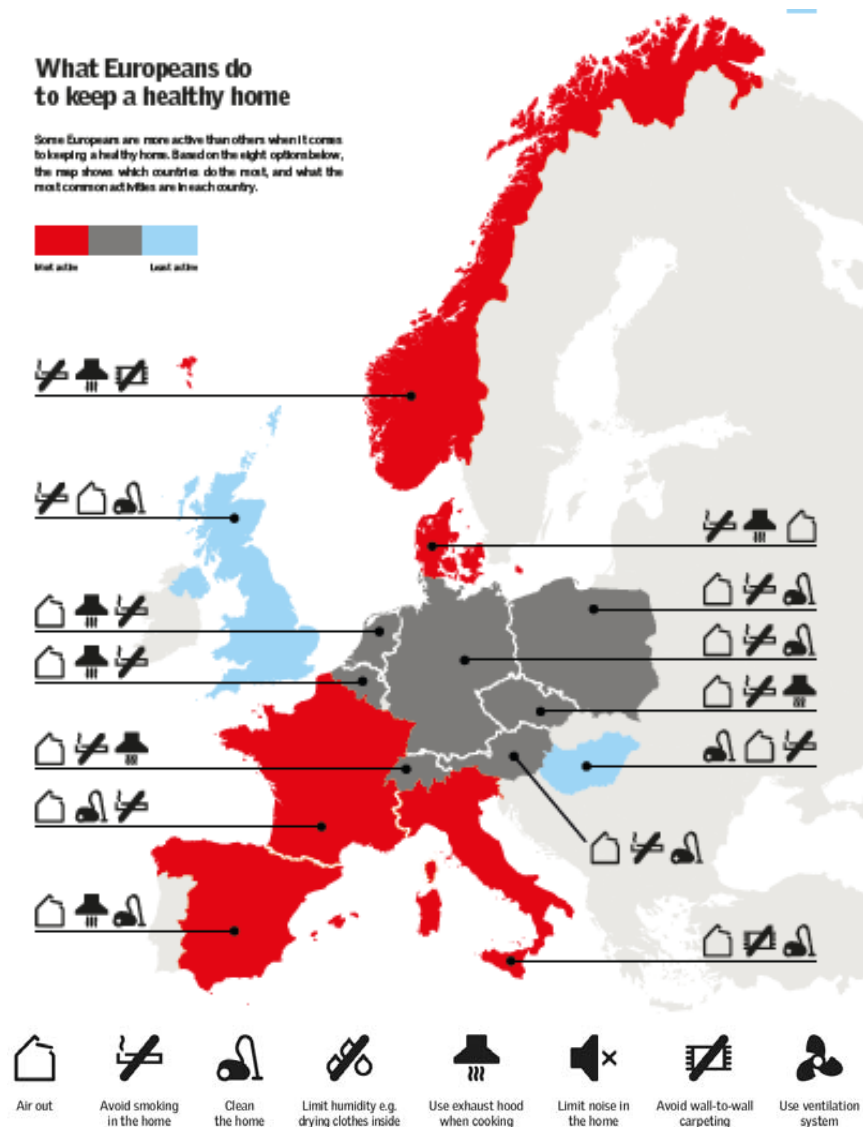
De evaluatie van het onderzoek gaf aan dat een grote meerderheid van de schoolleidingen, 91% in 2014, aangeeft dat het GGD-bezoek heeft gezorgd voor meer aandacht voor het binnenmilieu op school. Een grote meerderheid van de schoolleidingen geeft aan meer kennis te hebben over de relatie tussen binnenmilieu en gezondheid (83%), over het onderwerp binnenmilieu (87%) en over

de relatie tussen binnenmilieu en ventileren/luchten (89%). Een ruime meerderheid van de schoolleidingen (87%) gaf aan enkele of meerdere bouwtechnische adviezen te hebben opgevolgd. Uit interviews blijkt dat bij sommige scholen deze veranderingen al op de agenda stonden en het GGD bezoek gezorgd heeft dat de noodzaak ervan onderstreept werd. Niet alle scholen vonden het noodzakelijk om de adviezen op te volgen. De meest genoemde redenen om adviezen niet op te volgen zijn het ontbreken van voldoende tijd of financiële middelen. Er zijn ook schoolleidingen die aangeven dat het schoolgebouw te oud is en dat er wordt gewacht op nieuwbouw.

De meerderheid van de scholen maakt gebruik van de CO<sub>2</sub>-meter, vlak na het GGD-bezoek in 2011/2013 (76%) en na langere tijd (2014: 67%). In 2014 gebruikt 14% van de scholen een ander systeem voor het meten van de CO<sub>2</sub>-concentratie. In 2014 registreert in totaal dus 81% van de scholen de CO<sub>2</sub>-concentratie. In bijna de helft (48%) van de scholen die in 2014 gebruikmaken van de CO<sub>2</sub>-meter wordt in *alle* leslokalen via CO<sub>2</sub>-metingen geregistreerd of er voldoende ventilatie is. Sommige scholen hebben de CO<sub>2</sub>-meter bewust aan de kant gelegd. Deze scholen vinden het meten van de CO<sub>2</sub>-concentratie niet nuttig als er geen (bouwtechnische) maatregelen genomen kunnen worden om de CO<sub>2</sub>-concentratie te verlagen. In 2014 heeft 73% van de scholen de vergoeding van het ministerie van OCW gebruikt. De vergoeding is grotendeels besteed aan door de GGD geadviseerde verbeteringen zoals ventilatiesystemen, zonwering of CO<sub>2</sub>-meters. De scholen geven aan dat 1.500 euro niet voldoende is om deze verbeteringen volledig te kunnen financieren en dat daarvoor extra financiële middelen van de school of de gemeente noodzakelijk zijn.

De onderzoekers (Eeuwijk et al., 2014) concluderen dat de CO<sub>2</sub>-meter een populair hulpmiddel is om de kwaliteit van het binnenmilieu in scholen te bepalen. Daarnaast blijkt de CO<sub>2</sub>-meter een praktisch hulpmiddel om leerkrachten en leerlingen bewust te maken van hoge CO<sub>2</sub>-concentraties in klaslokalen en het nut van ventileren. Ook is de meter een hulpmiddel om luchtkwaliteit bij leerlingen bespreekbaar te maken. Het onderzoek bevat alleen subjectieve gegevens. Evaluatie op basis van een objectieve maat, met CO<sub>2</sub>-concentratie metingen, is niet uitgevoerd. Daarnaast zijn alleen CO<sub>2</sub> sensoren gebruikt. Andere sensoren zoals temperatuur en fijnstof zijn niet toegepast.

Een ander interessant onderzoek over bewustwording wat betreft binnenmilieu is de Velux Healthy homes barometer. Dit onderzoek wordt jaarlijks uitgevoerd onder 14000 bewoners in 14 Europese landen. Figuur E-3 geeft aan in welke landen bewoners het meest bezig zijn om hun woning gezond te houden en welke activiteiten zij daarbij het meest uitvoeren. Opvallend is dat in geen van de landen gebruik van het ventilatiesysteem wordt genoemd. Wel wordt luchten door middel van het openen van ramen genoemd. In de laatste twee rapportages van 2016 en 2017 wordt het gebruik van sensoren niet genoemd.



Figuur E-3 "What Europeans do to keep a healthy home", bron: Healthy homes 2016.

Ook wordt met behulp van citizen science onderzoek verricht naar buitenluchtkwaliteit. Dit soort onderzoek wordt in Nederland door RIVM geïnitieerd en gestimuleerd. In België is recent door 20.000 burgers NO<sub>2</sub> aan de buitenzijde van hun huis gemeten in het project Curieuze neuzen. De resultaten hiervan worden in september 2018 bekend. CurieuzeNeuzen wil de burgers in Vlaanderen bewust maken van een gezonde leefomgeving en het belang van luchtkwaliteit. In 2016 is in Antwerpen een eerste meetcampagne gehouden met 2000 deelnemers. Een enquête onder de deelnemers door HIVA-KU Leuven (<https://ringland.be/academie/curieuzeneuzen/de-resultaten/>) toont het brede bereik van de meetcampagne en leert dat elke burger-onderzoeker gemiddeld met meer dan 15 mensen over CurieuzeNeuzen heeft gesproken. Daardoor zijn minstens 30.000 tot 35.000 Antwerpenaren op een directe manier in contact gekomen met de

campagne. De deelnemers gaven ook aan dat ze door mee te doen aan CurieuzeNeuzen op een andere manier zijn gaan kijken naar de mogelijke beleidsopties rond leefbaarheid in de stad. Uit de enquête blijkt ook dat ongeveer twee derde zich vóór het project al meer verplaatste met de fiets en minder met de auto, na het onderzoek is die groep gegroeid tot bijna 90 procent.

In de wetenschappelijke wereld wordt steeds meer aandacht besteed aan low-cost sensoren. Niet alleen voor buitenlucht (Castell 2017) maar ook om in de binnenlucht te meten (Singer, 2018). Het onderzoek van Singer vergeleek 7 fijnstof sensoren voor consumenten (< 300 euro) en twee research instrumenten (3000 – 6000 euro) met filterwegingen, de wettelijke bepalingmethode voor PM<sub>2,5</sub>. Hiertoe werden een aantal events gesimuleerd die typisch zijn voor woningen zoals koken, branden van kaarsen en roken. Conclusie was dat vier van de consumenten sensoren in staat waren om binnen een factor twee de concentraties te schatten. De vier consumenten sensoren waren wat betreft prestatie vergelijkbaar met de twee research grade instrumenten. Research instrumenten echter beschermen de optische sensor componenten met behulp van een luchtscherm van gefilterde lucht rondom de te samplen luchtstroom. De consumenten sensoren hebben deze bescherming niet, hierdoor zou de gevoeligheid na verloop van tijd kunnen degraderen. Dit is nog niet onderzocht, het is dus nog onduidelijk wat de lange termijn prestatie van de consumenten sensoren is.

Alle 7 fijnstof sensoren voor consumenten en ook de twee research instrumenten gaven bij emissies van deeltjes kleiner dan 0.3 µm diameter (ultrafijnstof) substantieel te weinig aan, of misten bepaalde events zelfs volledig, zoals ultrafijnstof dat vrijkomt bij verbranding van gas op een gasfornuis of gasoven met een piek in de deeltjesgrootte verdeling bij 100 - 139 nm. De PM<sub>2,5</sub> concentraties ten gevolge gasverbranding zijn typisch een factor 10 lager dan ten gevolge van het bakken en braden van voedsel in olie, branden van kaarsen of sigaretten. Naar verwachting zal het niet detecteren van de ultrafijnstof pieken dan ook geen grote afwijking veroorzaken wat betreft de PM<sub>2,5</sub> blootstelling. Dit neemt niet weg dat ultrafijnstof geen gezondheidseffecten kan opleveren. Koken op gas veroorzaakt naast ultrafijnstof ook stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) emissie wat volgens de WHO (2010) is geassocieerd met een verhoging van de kans op luchtwegklachten bij kinderen met 20%.



## E.6 Literatuurlijst

- Adan, O., On the fungal defacement of interior finishes. Ph.D. Thesis, TU Eindhoven, 1994.
- Broderick A, Byrne M., Armstrong S., Sheahan J., Coggins A.M., A pre and post evaluation of indoor air quality, ventilation, and thermal comfort in retrofitted co-operative social housing, *Building and Environment* 122, 126-133, 2017.
- Castell N., et al., Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?, *Environment International*, 99, 293-3002, 2017.
- Chan W.R., et al., Quantifying fine particle emission events from time-resolved measurements: method description and application to 18 California low-income apartments, *Indoor Air*, 28: 89–101, 2018.
- Dongen J., Vos H., Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland, TNO rapport 2007-D-R0188/A, 2007.
- Eeuwijk J., Kochems K. Smilde-van-den Doel D.A., Evaluatie bewustwordingsproject binnenmilieu basisscholen, 2014.
- Fortmann, Indoor air quality: residential cooking exposures, Final report 2001.
- Gezondheidsraad, Binnenluchtkwaliteit in basisscholen en de waarde van kooldioxide als indicator voor luchtkwaliteit, 2010.
- GIW, Installatie eisen nieuwbouw eengezinswoningen en appartementen, 2007.
- Handboek Vocht en Ventilatie. Basis voor ontwerp, uitvoering en beheer. Rotterdam: ISSO/SBR, 2000.
- Hall E.F., Dusseldorp A., Aries M.B.C. Knoll B., Verbindingen in lucht en huisstof van woningen, RIVM Rapport 609021087/2009.
- Hoek, et al., Indoor- outdoor relationships of particle number and mass in four European cities, *Atmospheric environment* 2008.
- IAIAQ- Jantunen M., Oliveira Fernandes E., Carrer P., Kephelopoulos S., Promoting actions for healthy indoor air (IAIAQ). European Commission Directorate General for Health and Consumers. Luxembourg, 2011.
- Jacobs P., PM<sub>2,5</sub> meetprotocol voor kantoren, TVVL magazine, 4, 2015.
- Jacobs P., Borsboom W., Kemp R., PM<sub>2,5</sub> in Dutch Dwellings due to Cooking, AIVC conference Alexandria, 2016.
- Jacobs P., Fijnstof bronnen in en rondom woningen, TVVL magazine, 06, 2017.

Kluzenaar Y, et al., Personal exposure to UFP in different micro-environments and time of Day, Building and Environment, 122, 237 – 246, 2017.

Logue J.M., et al., A method to estimate the chronic health impact of air pollutants in US residences, Environmental health perspectives, volume 120, nr. 2, februari 2012.

MacNeill et al., Quantifying the contribution of ambient and indoor generated fine particles to indoor air in residential environments, Indoor Air 2014.

Mishra A.K., et al., Window/door opening-mediated bedroom ventilation and its impact on sleep quality on healthy, young adults, Indoor Air, 1-13, 2017.

Monicair, Holsteijn R.C.A., Li W.L., Eindrapport1a, December 2014.

NEN-EN-ISO 7730, Klimaatomstandigheden – Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekening van de PMV en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid, 2005.

RIVM: <https://www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl/citizen-science>

Schram-Bijkerk D, van Kempen E.E.M.M., Knol A.B., The burden of disease related to indoor air in the Netherlands: do different methods lead to different results?, Occup Environ Med 70:126-132, 2013.

Singer B.C., Delp W.W., Response of consumer and research grade indoor air quality monitors to residential sources of fine particles, Indoor Air, 1 – 16, 2018.

Velux Healthy homes barometer (<https://www.velux.com/health/healthy-homes-barometer-2017>), 2016 & 2017.

WHO, Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, global update 2005.

WHO Guidelines for indoor air quality, Selected pollutants, 2010, p. 4.

<https://www.motivaction.nl/kennisplatform/in-de-media/maggi-al-120-jaar-in-nederlandse-keuken>

## F Gravimetrische meting voor controle datakwaliteit

### F.1 Measurement setup gravimetric analysis

The gravimetric analysis has been carried out in a 26 m<sup>3</sup> test chamber in the TNO MEC lab on August 27 2018. The chamber was during the experiments ventilated with 75 m<sup>3</sup>/h. The air in the room is mixed up with a SMC TR16 fan to minimise concentration differences. Three Airvibe sensors have been placed in the middle of the room on a table, see the figure below. The Airvibe sensors were provided in August 2017 to TNO personel. The sensors have been measuring during 12 months in their homes. The sensors are labelled with the initials of these persons. The sensors were kept in the "I" mode. This means that they have a 10 s measurement interval. Every 30 second the values were recorded. Round the table three PM2.5 gravimetric sampling (TECORA) heads were placed to determine the true mass concentrations. Air was drawn through a glass-fibre 47mm filter at 2.3 m<sup>3</sup>/h using two Gilian Aircon2 electric pumps for a defined period of time, following EN12341 (BSI, 2014). The volumetric flow rates were checked with a calibrated Yokogawa RAGL rotameter before and after each collection period. Each filter was weighed before and after a test in accordance with MDHS 14/4 (HSE, 2014) and so the mass increase, flow rate, and measurement time are used to calculate the mean concentration. The calibration factor is the mean average of the ratios of the gravimetric sampling and OPC mean concentrations.

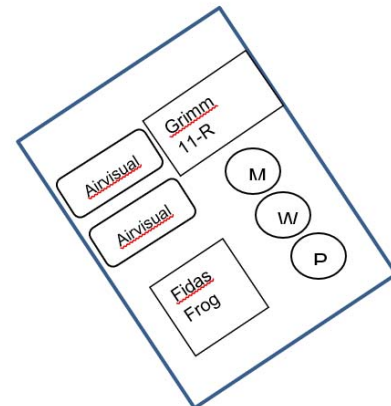
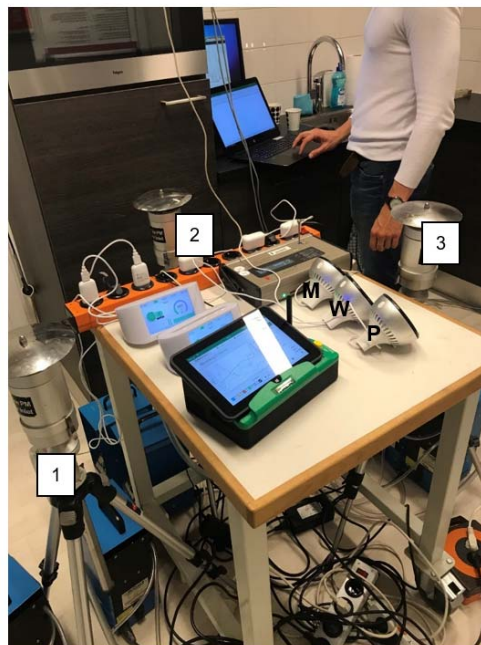


Figure F-1 measurement set up, the gravimetric heads are numbered, results see Table F-1.

## F.2 Overview of experimental conditions

The experimental conditions during the experiments have been registered with an Airvisual air quality monitor. It has measured temperature, relative humidity, CO<sub>2</sub> and PM<sub>2,5</sub> with a 10 second sample interval, see Figure F-2. The second Airvisual did not record data. During the first experiment, burning of three candles, the CO<sub>2</sub> concentration rises towards 1200 ppm, also due to the presence of two persons in the testroom. During the second and third experiment, cooking of two meals, there is a larger CO<sub>2</sub> rise mainly due to the burning of natural gas. In these experiments also a rise of relative humidity to maximum 72% can be seen.

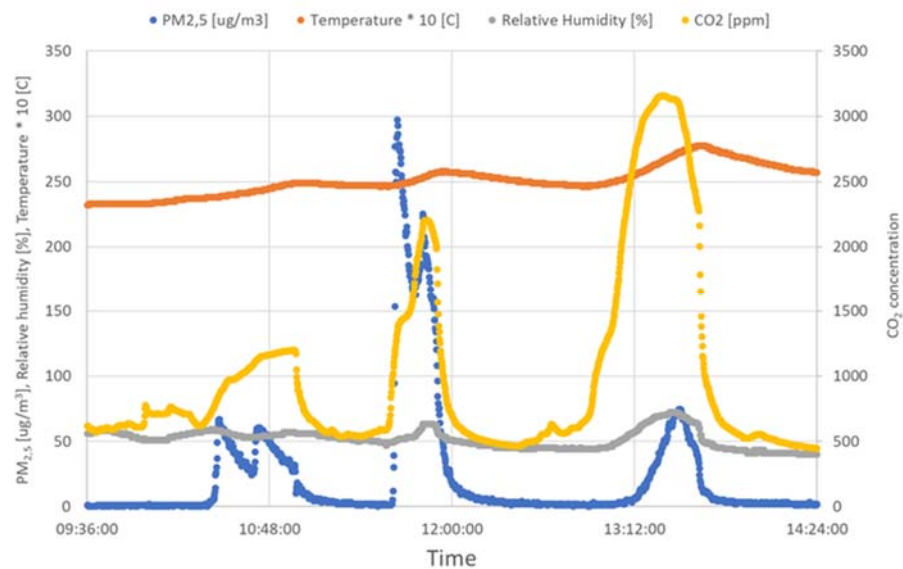


Figure F-2 experimental conditions measured with an Airvisual air quality monitor.

## F.3 Results gravimetric measurements

Table F-1 shows the results of the filter weightings and the start and stop times of the Gilian Aircon2 pumps. The start times were chosen well after the start of the candle burning and cooking to obtain higher concentrations which increases the accuracy of the calibration factor determination. The three filter weighing values for the candles are comparable indicating uniform concentrations over the chamber. However for meal 4 on position 2 and for meal 1 on position 1 respectively 20% and 17% higher values are measured. This may indicate concentration differences over the room. This may be caused by the higher production rates.

Table F-1 results of filter weighing in mg per filter and pump start and end times.

	1	2	3	Start	End
<b>Candles</b>	0.21	0.21	0.22	10.27	10.57
<b>Meal 4</b>	0.37	0.44	0.36	11.37	11.52
<b>Meal 1</b>	0.27	0.23	0.23	13.08	13.36

## F.4 Results candles

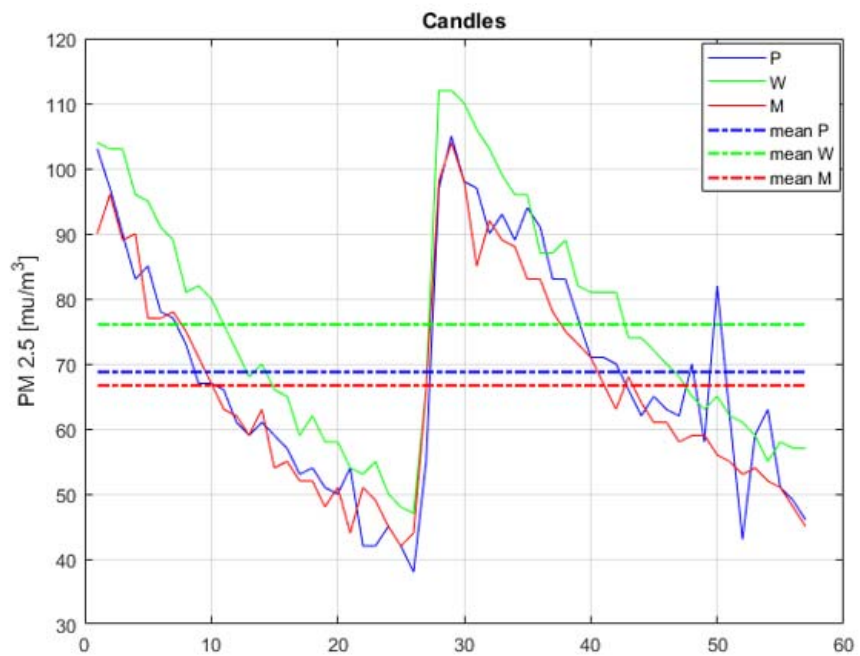


Figure F-3 Results candles.

The  $PM_{2.5}$  increase after 25 minutes is caused by more flickering of the candles due to an increase of the air speed of the fan. Average values of  $PM_{2.5}$  emissions during candle experiment:

1. P – 68.75
2. W – 76.01
3. M – 66.68

## F.5 Results meal 4: stir fry

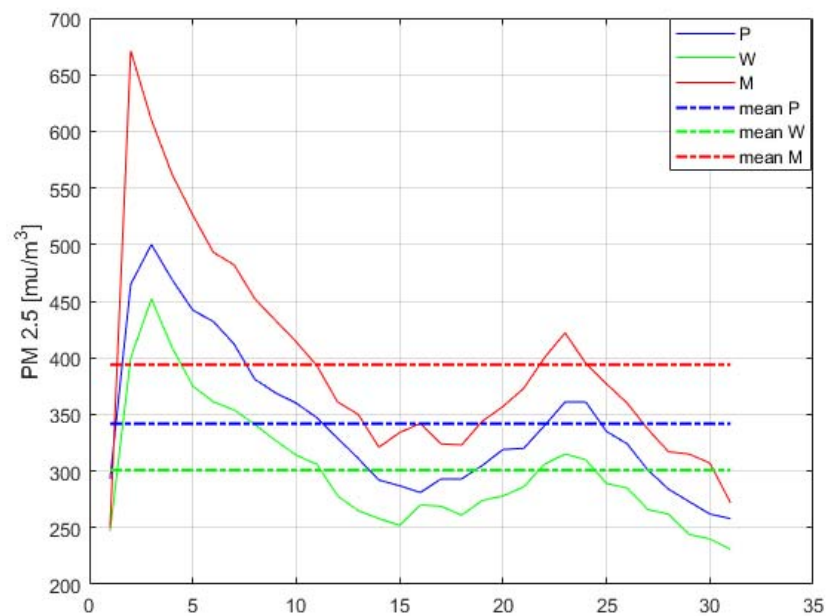


Figure F-4 Results meal 4: stir fry.

Meal 4 is described in detail by O'Leary [Indoor Air, 2019].

Average values of PM<sub>2.5</sub> emissions during meal 4 experiment:

1. P – 341.9
2. W – 300.8
3. M – 394.1

These values are in the lower end of the range measured by O'Leary (2019).

## F.6 Results meal 1: chicken, fried potatoes & french fries

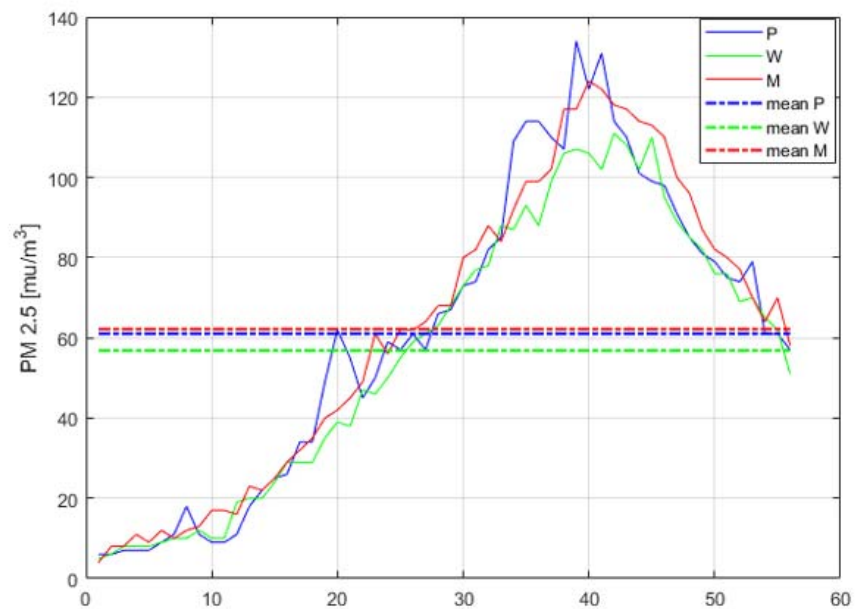


Figure F-5 Results meal 1: chicken, fried potatoes & french fries.

Meal 1 is described in detail by O'Leary [Indoor Air, 2019].

Average values of  $PM_{2.5}$  emissions during meal 1 experiment:

1. P – 61.03
2. W – 56.82
3. M – 62.17

These values are in the same range as measured by O'Leary (2019).

## F.7 Comparison measured values by AirVibe

In general there is a good agreement between the three sensors. In the first experiment with the candles the W sensor has clearly higher values. Whereas in the second and in the third experiment this sensor has the lowest values. Concentration differences in the room may be causing this. However this is due to the small distance between the three Airvibe sensors not very likely. Furthermore, with Meal 4 the values of the M sensor are consistently higher. If we assume that there are concentration differences in the room then it is expected that due to changing air patterns the concentration differences between the sensors would be changing in the time. However this is not the case, with meal 4 there is almost a constant difference between the three sensors. This may be caused by different sensitivities towards smaller particles due to differences in optical properties between the sensors.

## F.8 Calibration factor Airvibe

Table F-2 lists the average calibration factors for the Airvibe per pollutant source. All three calibration factors are above 1. This means that the Airvibe sensor is conservative, it gives too low readings.

Table F-2 overview of average gravimetric and Airvibe concentrations and Calibration factor.

Pollutant source	Gravimetric [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Airvibe [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Calibration factor
Candles	186	70,48	2,63
Meal 4: stir fry	678	345,60	1,96
Meal 1: chicken, fried potatoes, French beans	227	60,01	3,78

## F.9 Calibration factor Grimm 11-R/Airvisual/Fidas Frog

Figure F-7 till Figure F-10 show the Grimm 11-R and the Fidas Frog measurement results. The figures are split into two figures to enable to distinguish the  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  and  $\text{PM}_1$  fraction. Based on the time averaged values the calibration factors have been derived, see Table F-3. In this table also the calibration factors for the Airvibe and Airvisual sensors are listed. The Airvibe has similar calibration factors as the Grimm 11-R. This corresponds with the validation measurement results executed by Philips described in the first paragraph.

Table F-3 overview of Calibration factors.

Pollutant source	Airvibe	Airvisual	Grimm 11-R	Fidas Frog
Candles	2,63	4,26	3,36	3,37
Meal 4: stir fry	1,96	3,36	1,46	1,31
Meal 1: chicken, fried potatoes, French beans	3,78	6,06	4,01	3,24



All calibration factors in Table F-3 are above 1. This may be explained by the fact that the optical sensors detect only particles above  $0,18 \mu\text{m}$  (Frog) and  $0,25 \mu\text{m}$  for the Grimm 11-R, Airvisual and the Airvibe. This is sufficiently small for measuring ambient air, which contains relatively much particle mass in the sizes above  $0,2 \mu\text{m}$ , see Figure F-6 and Figure F-18 for a typical mass distribution. As can be seen from Figure F-12 for the candles most of the mass detected is in the smallest size ranges. This may explain the high calibration factor for candles. The calibration factor for meal 4, the stir frying, is almost equal to 1. This can be explained with that stir frying generates relatively large particles above  $1 \mu\text{m}$ , see the peaks around 11.40 hour in Figure F-7 and Figure F-8, which are well detected by the optical sensors. With regard to meal 1 the Grimm particle distributions (Figure F-15 and Figure F-16) do not clearly deviate from ambient air. However if the particle distribution of the Fidas Frog is taken, see Figure F-8, then it becomes clear that meal 1 has the smallest particles of the three tested indoor sources, this may explain the large calibration factor.

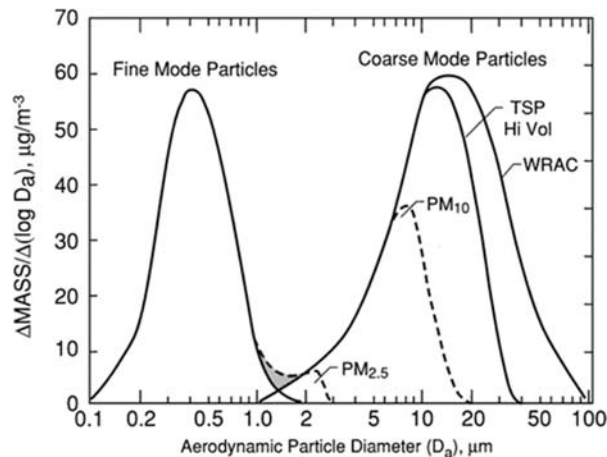


Figure F-6 Representative example of a mass distribution of ambient particulate matter (PM) as a function of aerodynamic particle diameter (source: Lippmann 2000).

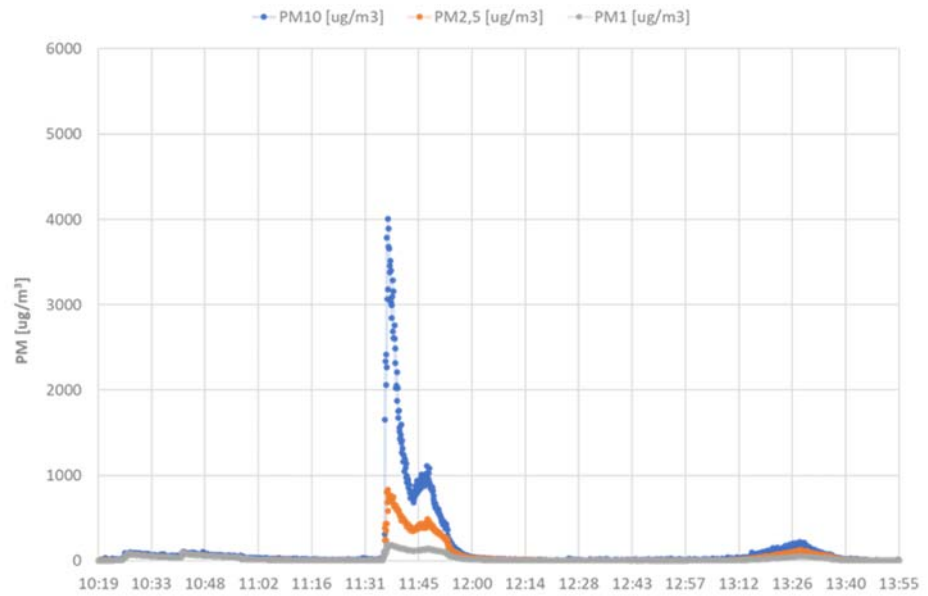


Figure F-7 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> measured with Grimm 11-R.

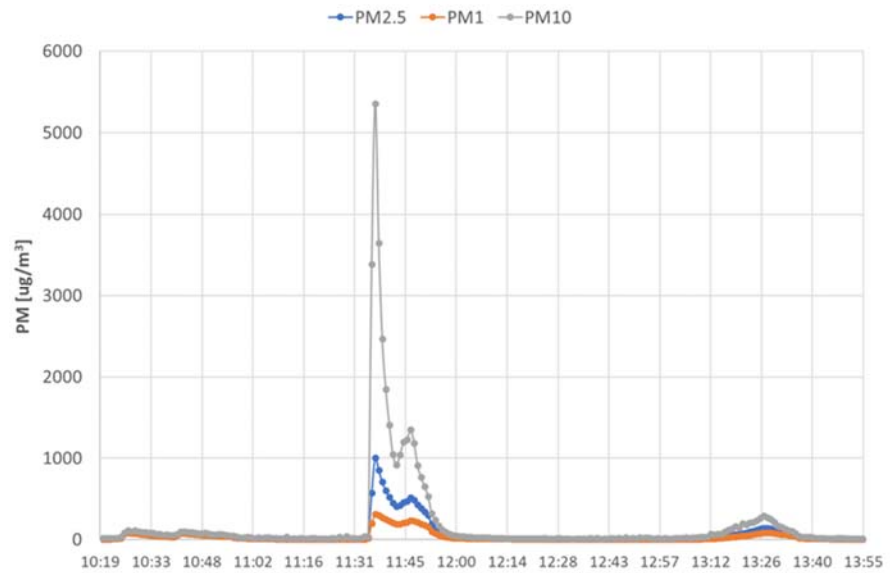


Figure F-8 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1</sub> measured with Palas Fidas Frog.

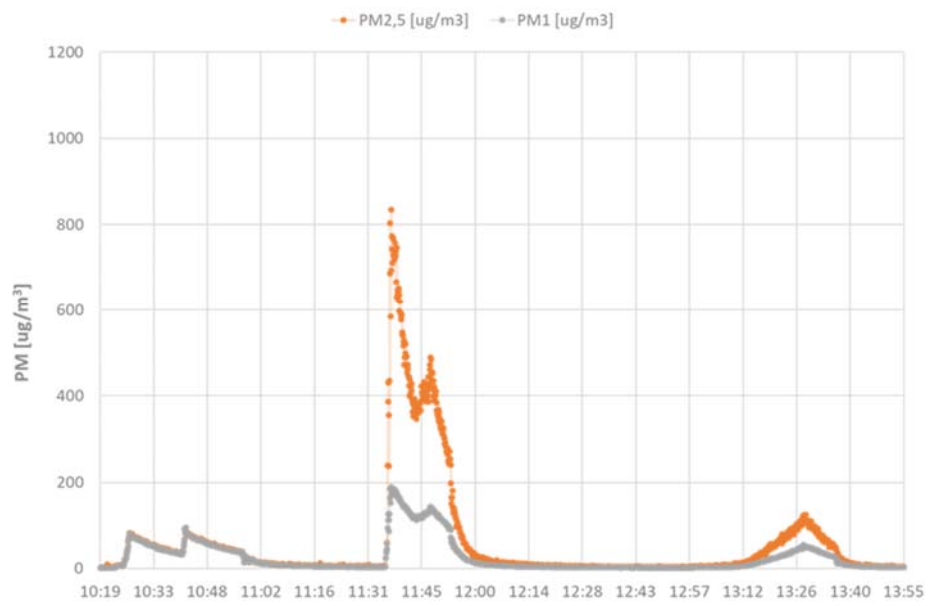


Figure F-9 PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>1</sub> measured with Grimm 11-R.

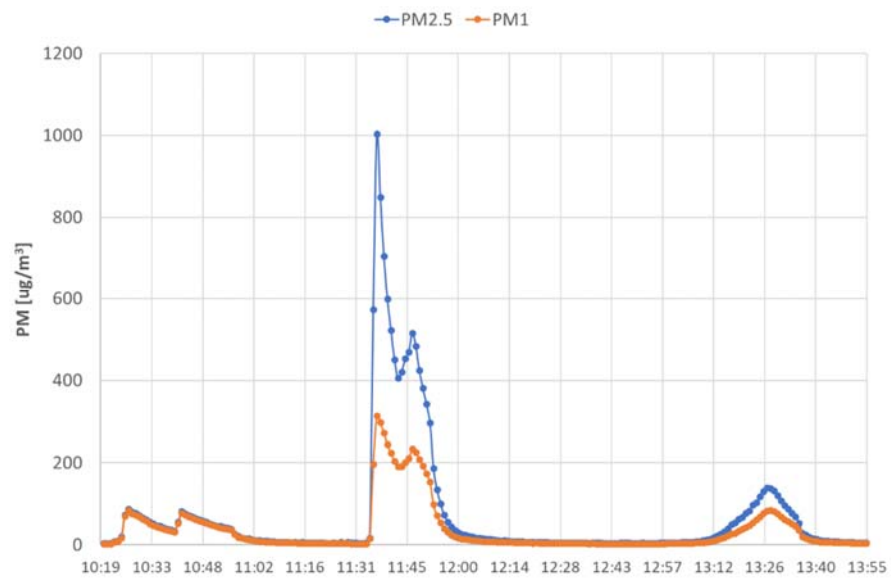


Figure F-10 PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>1</sub> measured with Palas Fidas Frog.

## F.10 Calibration factors in other studies

For indoor sources in principle per source a calibration factor for the Airvibe should be used. However this is not a practical approach as the exact source is not known in a field study. Further for several sources no calibration factors have been determined, e.g. other dishes than the two described here, deodorant spray, hairspray, leaking stove or fireplace. However, based on the first results of the monitoring study in 749 houses, the maximum emissions are around lunch and dinner preparation time. As cooking seems to be the major part of indoor sources it is suggested to use as calibration factor for indoor sources the average value of the three measured events listed in Table F-4: 2,8. This factor is comparable with earlier studies executed at TNO by O'Leary (Indoor Air, 2019), see Table F-4.

Table F-4 comparison of calibration factors obtained in earlier studies with current study.

	O'Leary 2018	Be Aware	
	Grimm 11-R	Grimm 11-R	Airvibe
Candles	-	3,36	2,63
meal 1	3,9	4,01	3,78
meal 2	5,0		-
meal 3	2,7		-
meal 4	1,5	1,46	1,96
<i>Average</i>	3,3	2,94	2,79

A comparable calibration factor of 2,37 for an optical particle counter, a TSI Aerotract 8220, has been found by Wang<sup>28</sup> for indoor measurements.

Singer has compared 7 different consumer monitors among which the Airvisual. He concluded that 4 of the 7 monitors were within a factor 2 of the estimated mass concentrations for most sources. However all 7 of the consumer and both research grade instruments substantially under-reported or missed events for which the emitted mass was comprised of particles smaller than 0,3 µm. In the online Supporting Information response factors (1/calibration factor) are given for several events. For the Airvisual the calibration factors range from 6 for toast to around 1 for frying and heating oils. For candles an calibration factor of 1,2 has been derived. The results for frying and candles deviate from the factors mentioned in Table F-3. The reason for this is not clear.

<sup>28</sup> Wang et al., Comparison of real-time instruments and gravimetric method when measuring particulate matter in a residential building. J Air Waste Manage. 2016;66(11):1109-652 1120.

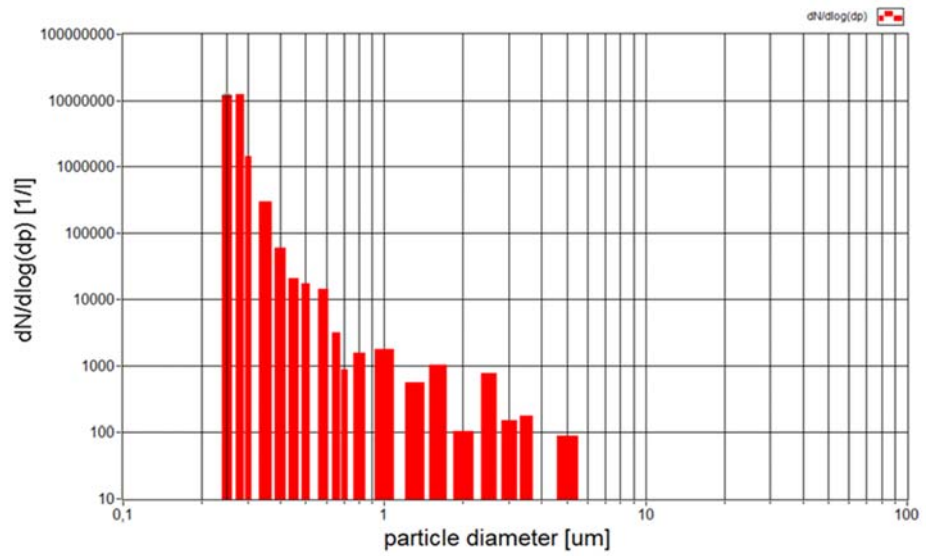


Figure F-11 particle number distribution measured by Grimm 11R at 10.46 hour, second peak caused by burning candles.

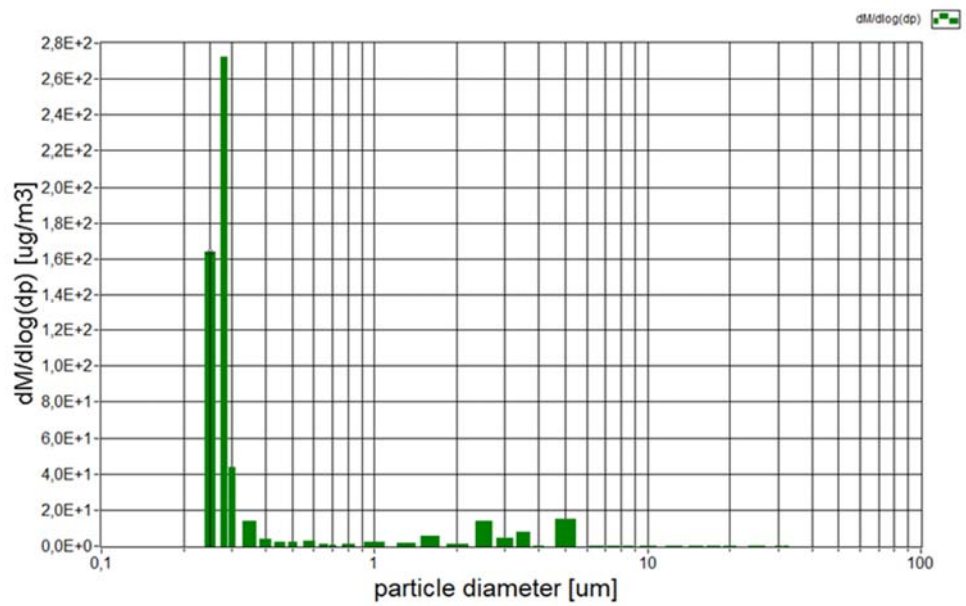


Figure F-12 particle mass distribution measured by Grimm 11R at 10.46 hour, second peak caused by burning candles.

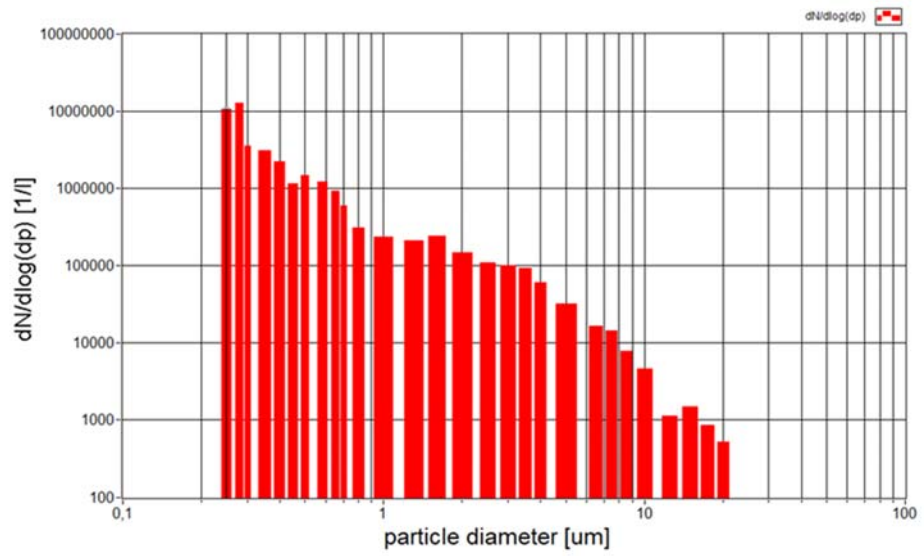


Figure F-13 particle number distribution measured by Grimm 11R at 11.38 hour, first peak caused by meal 4 (stir frying).

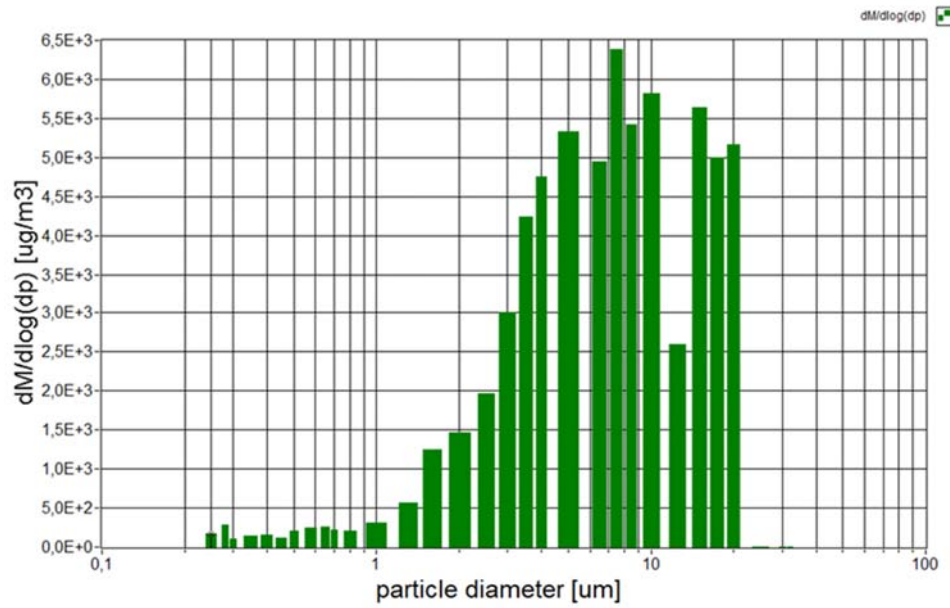


Figure F-14 particle mass distribution measured by Grimm 11R at 11.38 hour, first peak caused by meal 4 (stir frying).

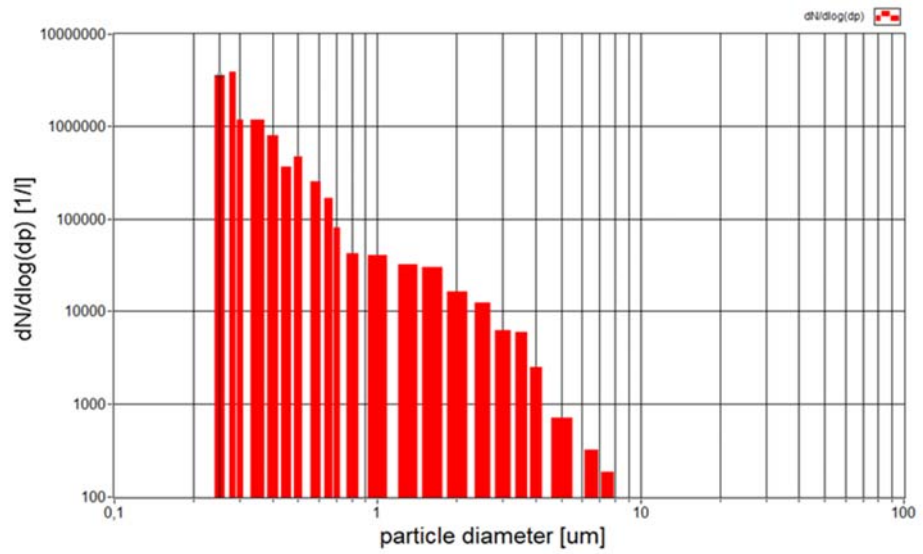


Figure F-15 particle number distribution measured by Grimm 11R at 13.30 hour, peak caused by meal 1 (Chicken fried potatoes, French beans).

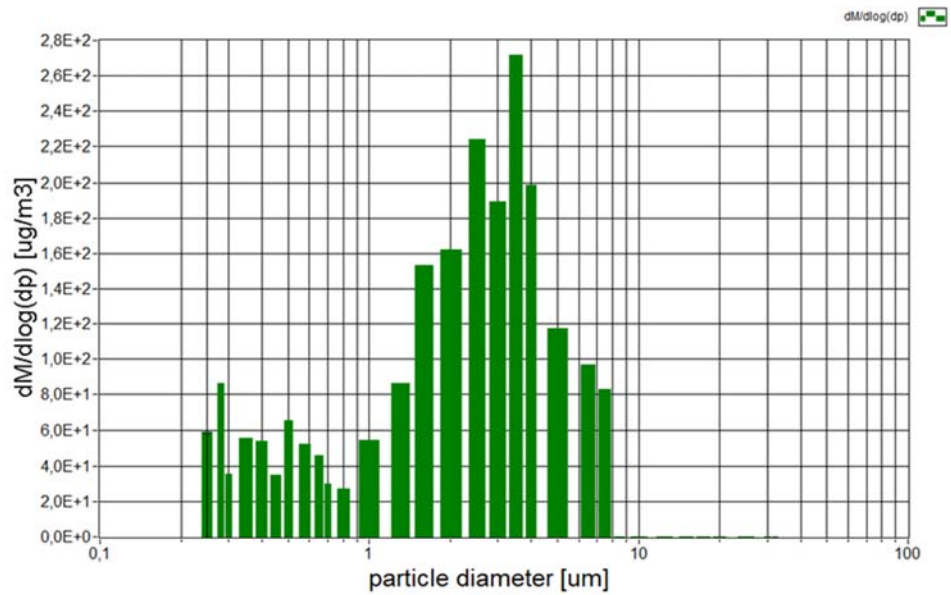


Figure F-16 particle mass distribution measured by Grimm 11R at 13.30 hour, peak caused by meal 1 (Chicken fried potatoes, French beans).

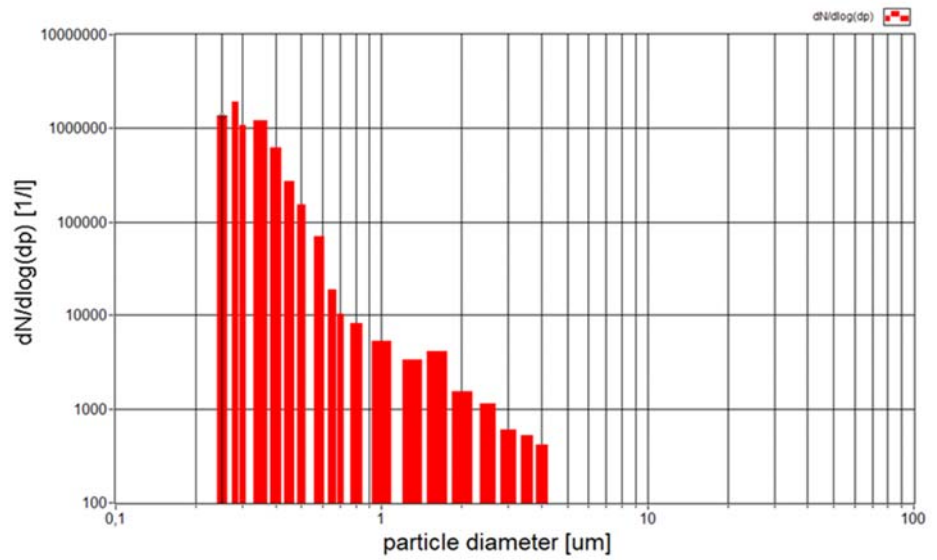


Figure F-17 example of ambient air particle number distribution measured by Grimm 11R (Delft, 27 October 2016).

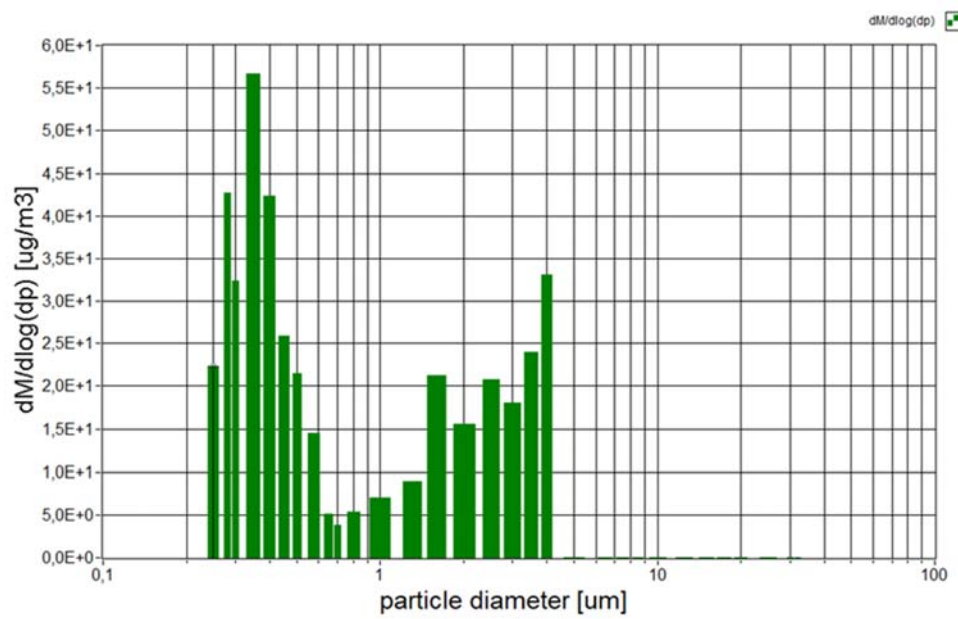


Figure F-18 example of ambient air particle mass distribution measured by Grimm 11R (Delft, 27 October 2016).



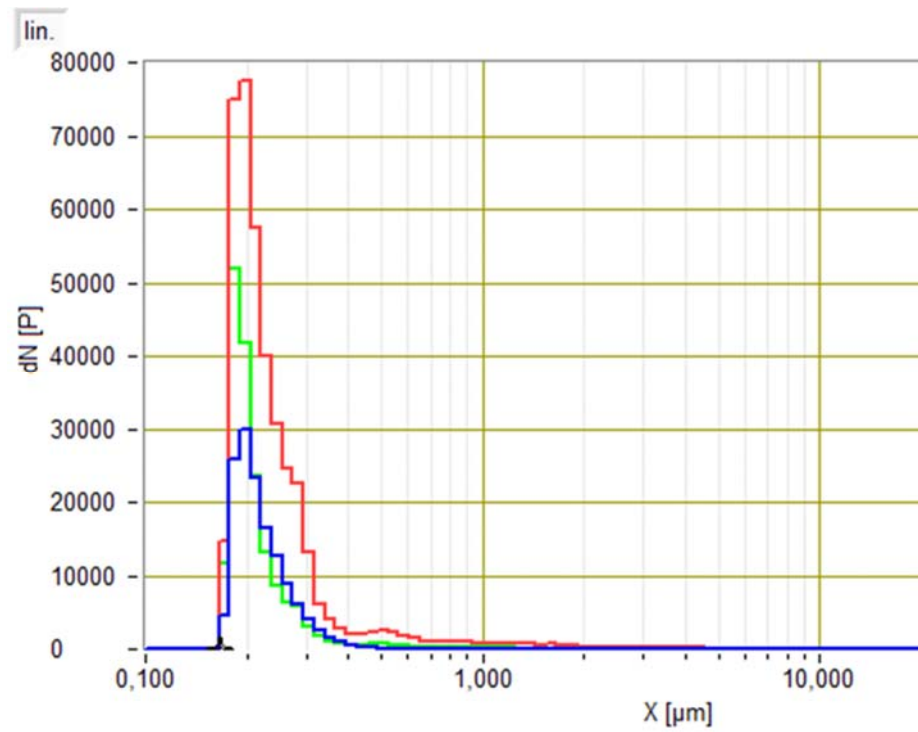


Figure F-19 particle number distribution measured by Fidas Frog: blue line candles (10.46 hour), red line meal 4 (stir fry, 11.38 hour) and green line meal 1 (Chicken fried potatoes, French beans, 13.30 hour).

## G Beschrijving informatie uit enquête

<b>Woning Informatie</b>	
Locatie	In Amsterdam, Rotterdam, Den haag of Utrecht
	Andere stad
	Dorp in stedelijk gebied
	Dorp in landelijk gebied
Bouwjaar	Voor 1960
	1960 - 1979
	1880 - 1995
	1996 - 2010
	Na 2010
	Weet niet
Oppervlak	
Type woning	Koop
	Vrij huur
	Sociale huur
Open Trap	Ja
	Nee
Type keuken	Open
	Half open
	Gesloten
Type kookplaat	Elektrisch
	Gas
Type ventilatie	Mechanische afzuiging en aanvoer
	Mechanische afzuiging
	Roosters
	Alleen door openen ramen/deuren
	Anders
Type afzuigkap	Recirculatie
	Motorloos op ventilatie systeem
	Motor rechtstreeks naar buiten
Type verwarming	CVketel
	Stadsverwarming
	Openhaard
	houtkachel
	Gaskachel

<b>Informatie mbt aanwezigheid apparaten</b>	
Wasmachine	Ja
	Nee
Wasdroger	Ja
	Nee
Luchtreiniger	Ja
	Nee
Airco	Ja
	Nee

<b>Bewoners informatie</b>	
Aantal personen	1 persoon
	2 personen
	3 personen
	4 personen
	5 of meer personen
Kinderen	Ja
	Nee
Longziektes	Geen
	COPD
	Astma
Opleiding	geen of basisonderwijs
	LBO / VMBO / MBO 1 / VBO
	MBO 2, 3, 4 of MBO vóór 1998
	MAVO / HAVO of VWO / VMBO / (M)ULO
	HAVO of VWO / HBS / MMS
	HBO of universitair propedeuse
	HBO of universitair master/doctoraal/postdoctoraal
Opleidingsniveau	Laag
	Midden
	Hoog

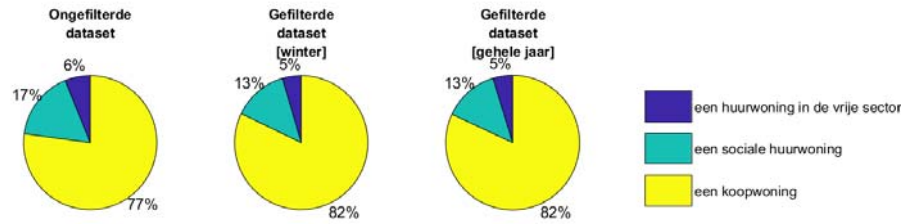
<b>Bewonersgedrag</b>	
Gebruik afzuigkap	Zelden of nooit
	Soms
	Ongeveer de helft van de tijd
	Meestal
	Altijd
Ramen tijdens koken	Nooit
	Zelden
	Soms
	Vaak
	Altijd
(Roer)bakken ochtend	Nooit
	Minder dan 1 x per week
	1-2 x per week
	3-4 x per week
	5-6 x per week
	Dagelijks
(Roer)bakken middag	Nooit
	Minder dan 1 x per week
	1-2 x per week
	3-4 x per week
	5-6 x per week
	Dagelijks
(Roer)bakken avond	Nooit
	Minder dan 1 x per week
	1-2 x per week
	3-4 x per week
	5-6 x per week
	Dagelijks
Gebruik oven	Nooit
	Minder dan 1 x per week

	1-2 x per week
	3-4 x per week
	5-6 x per week
	Dagelijks
Gebruik airfryer	NVT
	Bijna nooit
	Sporadische
	Vaak
	Bijna dagelijks
Gebruik broodrooster	NVT
	Bijna nooit
	Sporadische
	Vaak
	Bijna dagelijks
Gebruik tosti-ijzer	NVT
	Bijna nooit
	Sporadische
	Vaak
	Bijna dagelijks
Gebruik openhaard	NVT
	Bijna nooit
	Sporadische
	Vaak
	Bijna dagelijks
Gebruik luchtreiniger	NVT
	Bijna nooit
	Sporadische
	Vaak
	Bijna dagelijks
Branden van kaarsen	NVT
	Bijna nooit
	Sporadische
	Vaak
	Bijna dagelijks
Aanwezigheid woning	het wisselt sterk wanneer er iemand thuis is
	overdag en in de avond is er meestal wel iemand thuis
	overdag is er meestal niemand thuis, in de avond wel
	overdag en in de avond is meestal niemand thuis

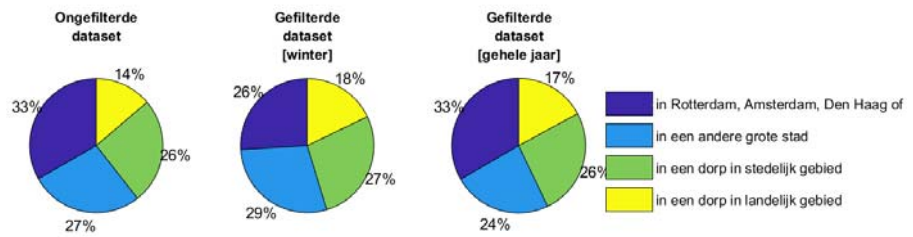
<b>Bewoners zorgen en overlast</b>	
Fitheid	0-10
Gezondheid	0-10
Overlast openhaard in de buurt	Nooit
	Sporadisch (1 maal per maand)
	Vaak (1 keer per week)
	(bijna) dagelijks
Beoordeling luchtkwaliteit	0-10
Zorgen luchtkwaliteit	Helemaal niet
	Nauwelijks
	Soms

	Regelmatig
	Vaak
Kookgeurtjes	Bijna nooit
	Sporadische
	Vaak
	Bijna dagelijks

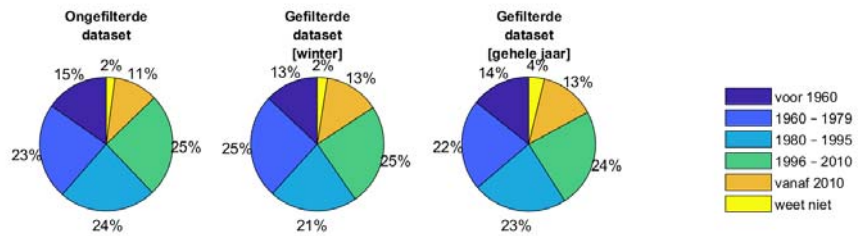
## H Representativiteit dataset



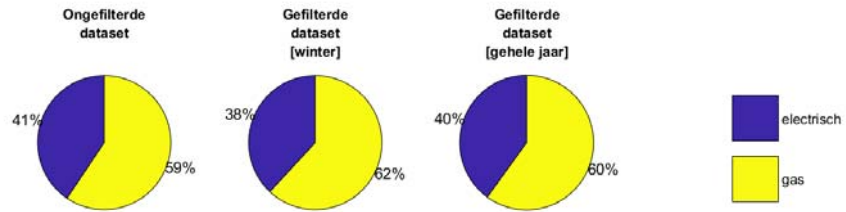
Figuur H-1 Distributie woningtype



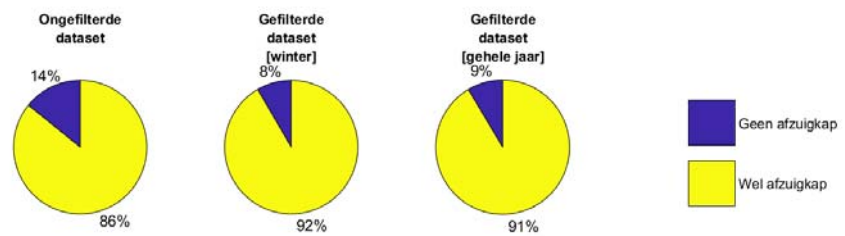
Figuur H-2 Distributie locatie



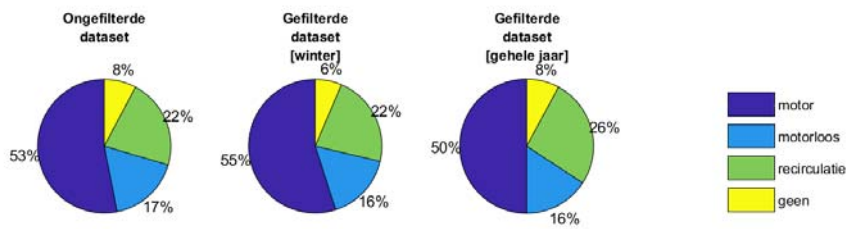
Figuur H-3 Distributie bouwjaar



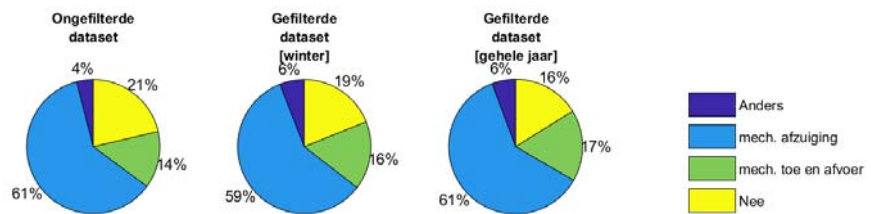
Figuur H-4 Distributie type kookplaat



Figuur H-5 Distributie wel of geen afzuigkap

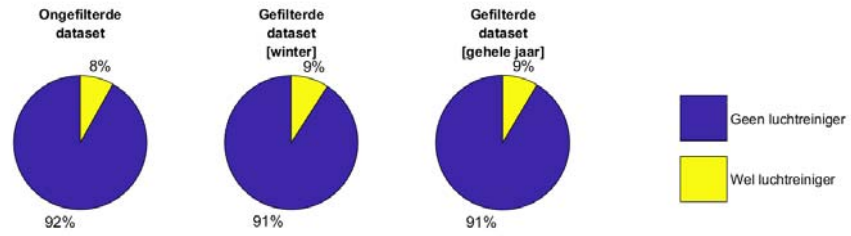


Figuur H-6 Distributie type afzuigkap

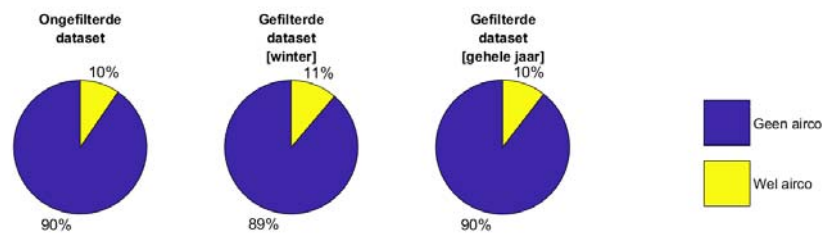


Figuur H-7 Distributie ventilatie type

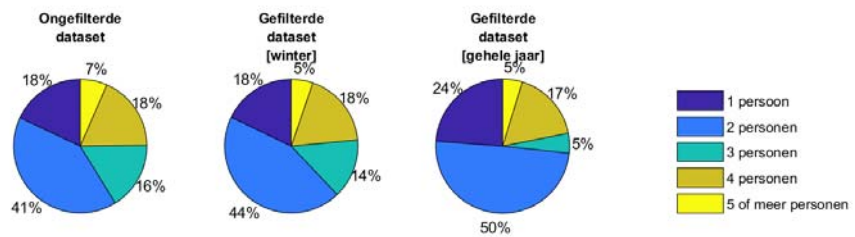




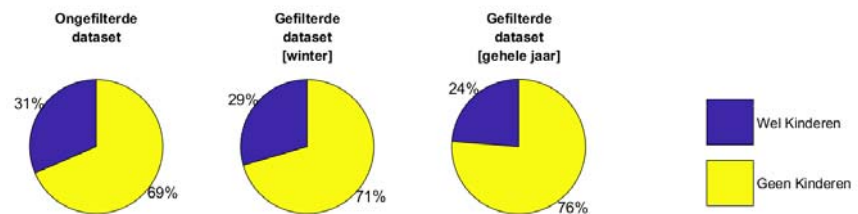
Figuur H-8 Distributie wel of geen luchtreiniger



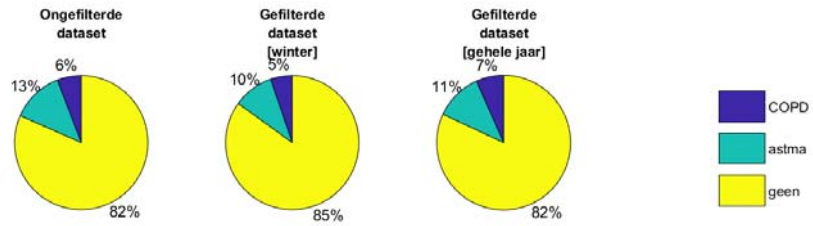
Figuur H-9 Distributie wel of geen airconditioner



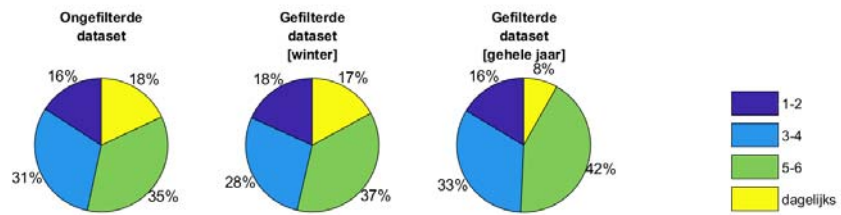
Figuur H-10 Distributie aantal personen in een huishouden



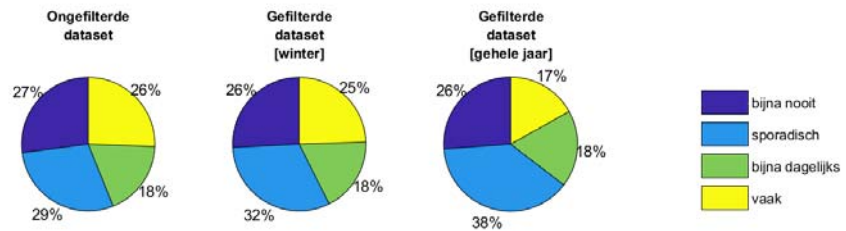
Figuur H-11 Distributie wel of geen jonge kinderen



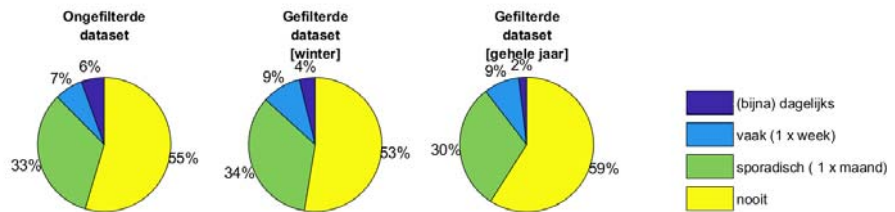
Figuur H-12 Distributie longziektes



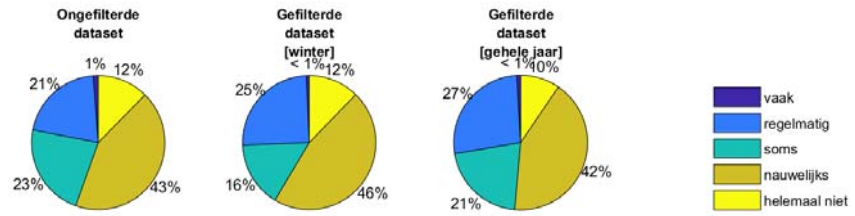
Figuur H-13 Distributie (roer) bakken in de avond (dagen per weer)



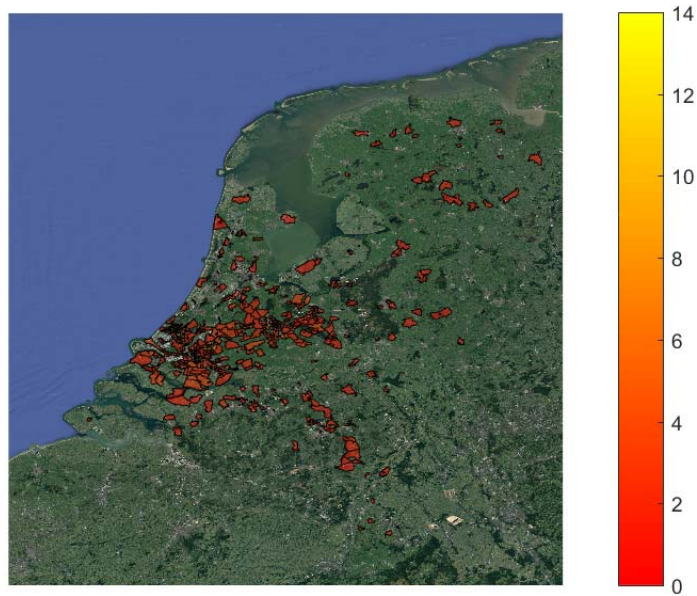
Figuur H-14 Distributie branden van kaarsen



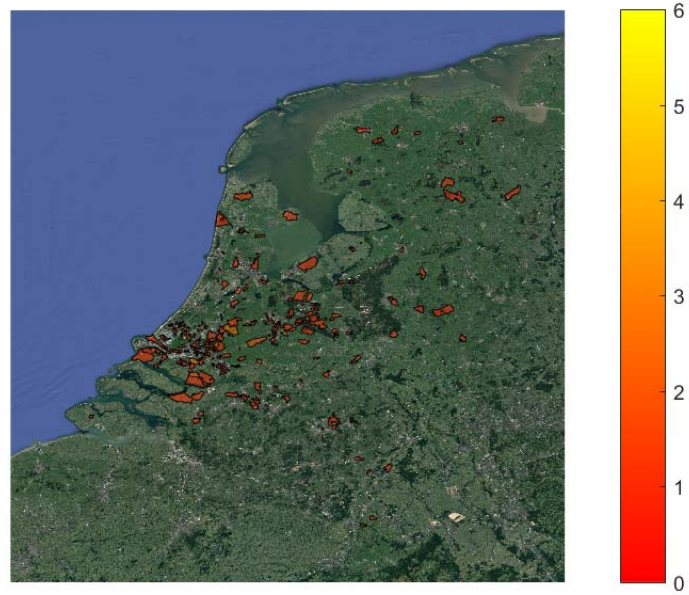
Figuur H-15 Distributie overlast van de openhaard van de buren



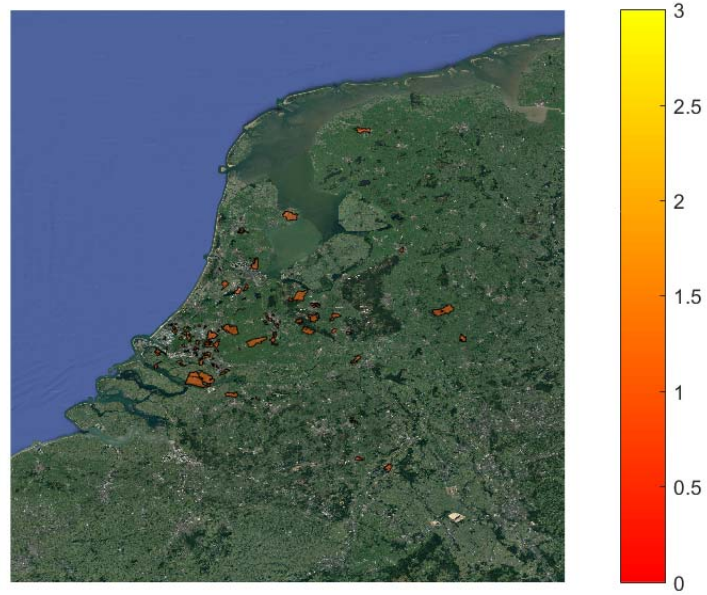
Figuur H-16 Distributie over hoe vaak men zich zorgen maakt over de luchtkwaliteit



Figuur H-17 Geografische spreiding (postcode gebied) van huishoudens in de ongefilterde dataset. In kleur het aantal huishoudens per postcode gebied.

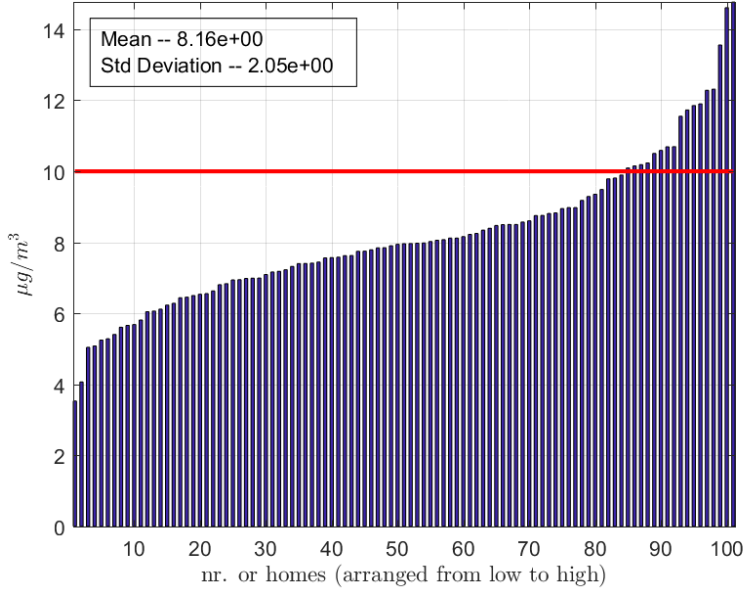


Figuur H-18 Geografische spreiding (postcode gebied) van huishoudens in de gefilterde dataset voor de winter periode. In kleur het aantal huishouden per postcode gebied.



Figuur H-19 Geografische spreiding (postcode gebied) van huishoudens in de gefilterde dataset voor het gehele jaar. In kleur het aantal huishoudens per postcode gebied.

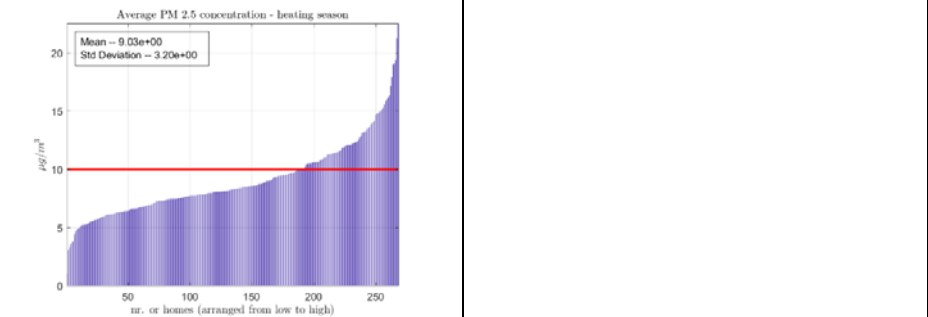
# I Hypotheses

<b>Hypothese / onderzoeksvraag</b>
In hoeveel woningen wordt de WHO (2010) jaargemiddelde PM2.5 advieswaarde van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden?
<b>Dataset Gehele Jaar</b>
<p>Average PM 2.5 concentration - complete year</p>  <p>Mean -- <math>8.16\text{e}+00</math> Std Deviation -- <math>2.05\text{e}+00</math></p> <p><math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></p> <p>nr. or homes (arranged from low to high)</p>
<b>Gehele jaar</b>
<b>Conclusies/Observaties</b>
In bovenstaand figuur is de gemiddelde jaar concentratie PM2.5 per woning weergegeven. De gemiddelde waarde is $8.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wat lager is dan de WHO advieswaarde, echter bij zo'n 15% procent van de woningen is deze gemiddelde concentratie boven de advieswaarde.

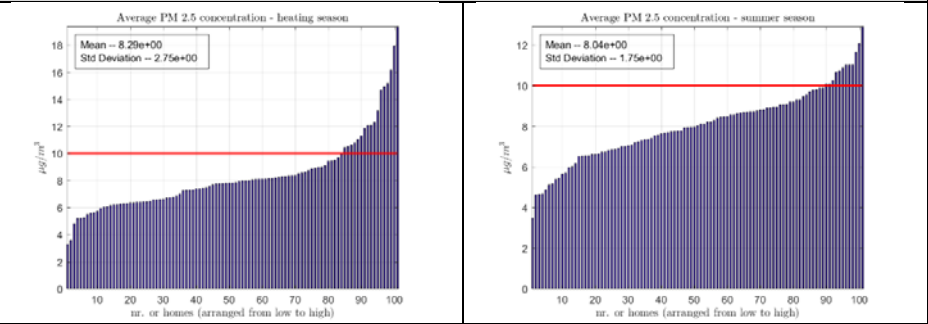
Hypothese / onderzoeksvraag

Zit er een verschil in de concentratie PM2.5 tussen de winter en zomer periode?

Dataset Winterperiode



Dataset Gehele Jaar



Winter Periode

Zomer Periode

Conclusies/Observaties

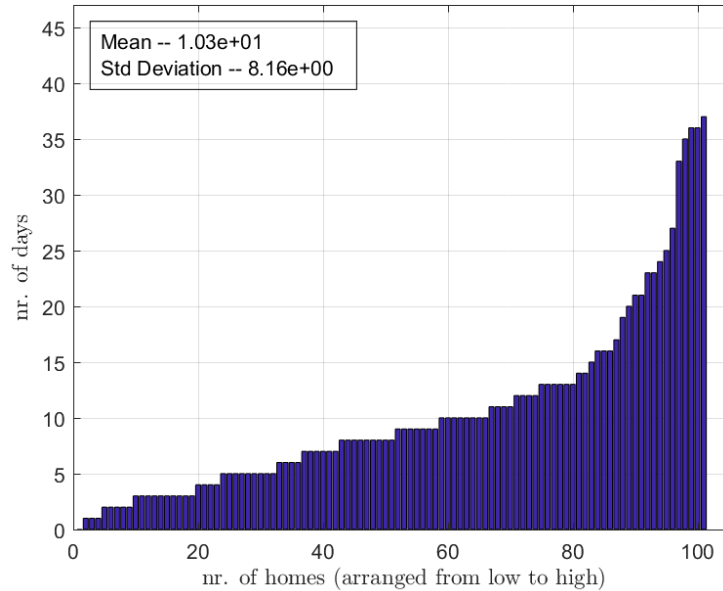
Er is een duidelijk verschil tussen de winter en zomer periode. In de winter periode zijn er meer woningen, ongeveer 20% die boven de advieswaarde zijn, in de zomerperiode is dat ongeveer 10%.

**Hypothese / onderzoeksvraag**

In hoeveel woningen in de dataset en gedurende hoeveel dagen wordt de WHO (2010) daggemiddelde PM<sub>2.5</sub> advieswaarde van 25 µg/m<sup>3</sup> overschreden ?

**Dataset Gehele Jaar**

Nr. of days per house in which daily average of PM 2.5 exceeds 25 µg/m<sup>3</sup> - complete y

**Gehele jaar****Conclusies/Observaties**

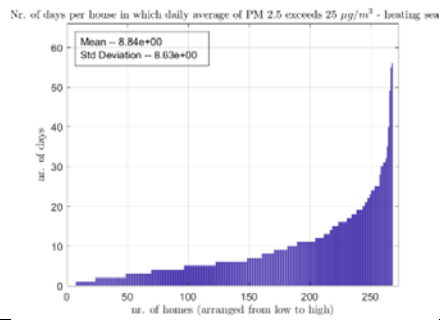
Gemiddeld wordt de advieswaarde van 25 µg/m<sup>3</sup> ruim 10 dagen per jaar overschreden. Echter de spreiding is groot, er zijn woningen waar deze waarde nooit wordt overschreden tot woningen waar dit vaker dan 35 dagen per jaar voorkomt (10% van de tijd)



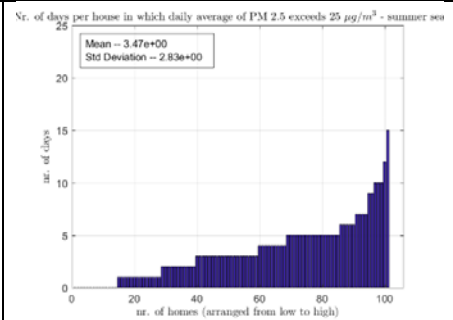
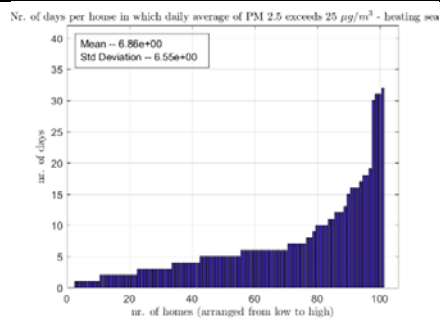
**Hypothese / onderzoeksvraag**

Zit er een verschil in de het aantal dagen waarop de advieswaarde van  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wordt overschreden tussen de winter en zomer periode?

**Dataset Winterperiode**



**Dataset Gehele Jaar**



Winter Periode

Zomer Periode

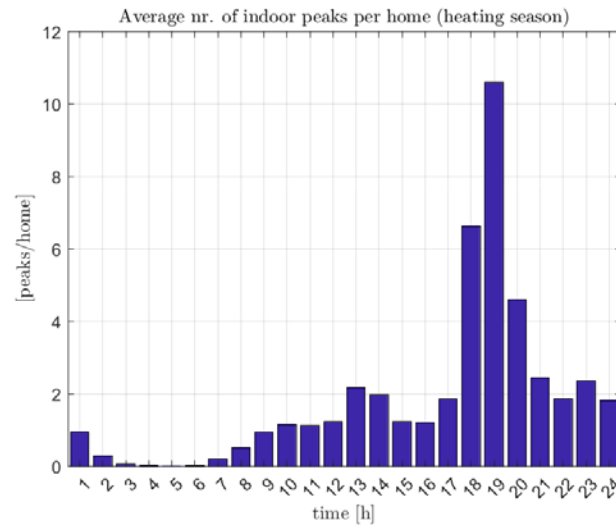
**Conclusies/Observaties**

Er is een duidelijk verschil tussen de winter en zomer periode. In de winter zijn er gemiddeld 7 dagen per woning dat de daggemiddelde concentratie boven de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  is. In de zomer periode is dit aantal ongeveer gehalveerd.

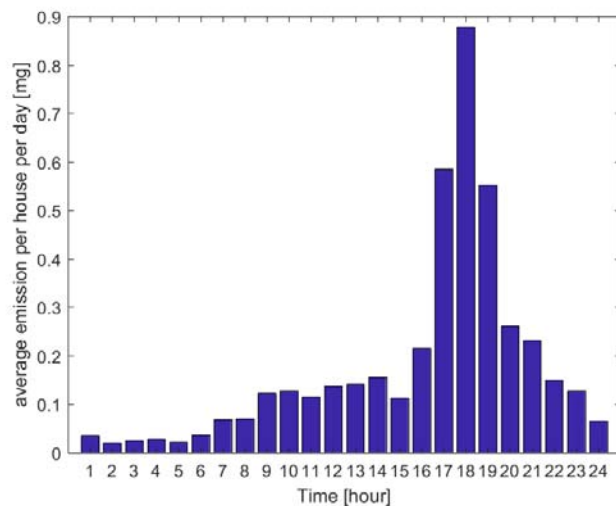
### Hypothese / onderzoeksvraag

Fijnstof productie in woningen vindt voornamelijk tussen half vijf en half acht plaats ten gevolge van koken (Jacobs 2016, Kluzenaar 2017). Hoeveel emissies zijn er en hoe groot zijn deze emissies ?

### Dataset Winterperiode



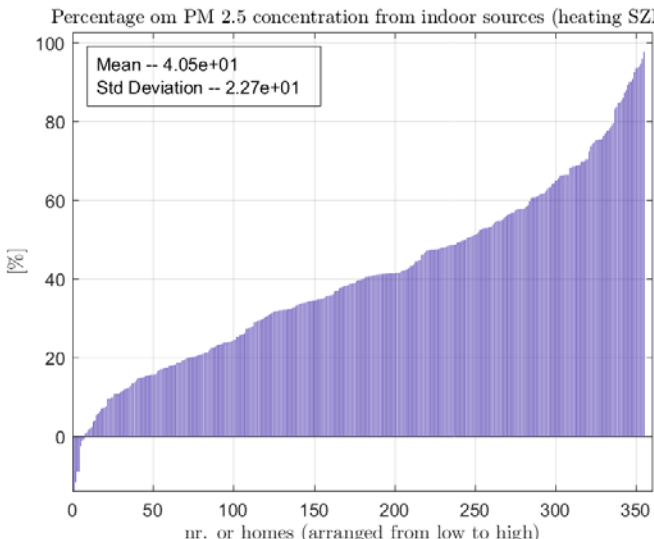
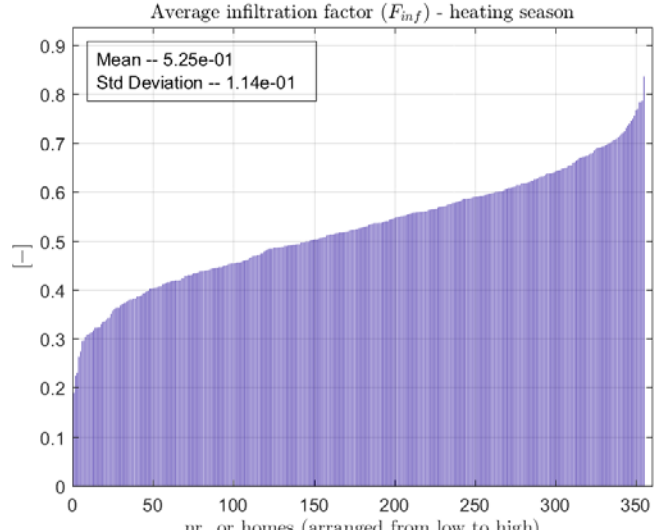
### Dataset Winterperiode



### Conclusies/Observaties

In het bovenste figuur is te zien dat de meeste emissies plaatsvinden tussen 18 en 20 uur. Ook is te zien dat er een verhoogd aantal emissies zijn rond de lunch 13/14 uur. In de periode tussen 2 en 6 's nacht zijn er nauwelijks emissies. In het onderste figuur is te zien dat de grootste emissiesterkte door koken wordt veroorzaakt. Belangrijk is wel op te merken dat dit de gemiddelde emissie bedraagt. En grote emissie die minder vaak voorkomt heeft zo in de grafiek een lage waarde. De emissies in de periode 17 – 19 uur opgeteld bedraagt 2,2 mg. Bij aanname van een typisch volume woonkamer van 100 m<sup>3</sup> veroorzaakt dit gemiddeld een concentratieverhoging van 22 µg/m<sup>3</sup>.

<b>Hypothese / onderzoeksvraag</b>	
Hoeveel uur per week wordt de grenswaarde van 1200 ppm CO <sub>2</sub> in de woonkamer overschreden ?	
<b>Dataset Winterperiode</b>	
<b>Dataset Gehele Jaar</b>	
<b>Winter Periode</b>	<b>Zomer Periode</b>
<b>Conclusies/Observaties</b>	
<p>Gemiddeld zijn er ongeveer 4 uren per week waarin de concentratie boven de 1200 ppm uitkomt. Er is een grote spreiding tussen de verschillende woningen. Bij ongeveer 80% van de woningen komt de concentratie maximaal 5 uur boven de grenswaarde. In de resterende 20% zijn er uitschieters tot wel 40 uur per week (24% van de tijd). In de winterperiode komen er meer periodes voor boven de grenswaarde dan in de zomerperiode.</p>	

<b>Hypothese / onderzoeksvraag</b>
Kan er uit monitoringsdata de bronnen van binnenluchtvervuiling worden achterhaald ? Wat is de bijdrage van binnen en buiten bronnen.
<b>Dataset Winterperiode</b>
<p>Percentage om PM 2.5 concentration from indoor sources (heating SZN)</p> 
<b>Concentratie tgv binnenbronnen</b>
<p>Average infiltration factor (<math>F_{inf}</math>) - heating season</p> 
<b>Infiltratie factor (bijdrage van buiten aan binnen concentratie)</b>
<b>Conclusies/Observaties</b>
<p>De infiltratie factor is gemiddeld 0.52, wat inhoudt dat bij de afwezigheid van binnen bronnen de binnenconcentratie oploopt naar <math>5 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> als de buitenconcentratie <math>10 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> is. De binnen bronnen hebben gemiddeld 40,5% bijdrage op de totale binnenconcentratie. De spreiding van de bijdrage van de binnen bronnen heeft een enorme spreiding van 0% tot bijna 100%. De infiltratie factor heeft ook een flinke spreiding 0.2 tot 0.8.</p>