

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

TNO-rapport - 2020 R11767A

Houtrook uit particuliere kachels: zoektocht naar indicatoren en verkenning van mogelijkheden voor reductie van overlast

Datum	26 maart 2020
Auteur(s)	Arjan Plomp, Arjan Hensen, Pim van den Bulk, Arnoud Frumau, Marcus Blom
Exemplaarnummer	2
Oplage	
Aantal pagina's	36 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW)
Projectnaam	
Projectnummer	

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.

© 2019 TNO

Samenvatting

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft TNO onderzoek naar houtrook uit kleine (particuliere) houtkachels uitgevoerd en in dit rapport beschreven. Allereerst wordt het onderzoek beschreven met de onderzoeksvraag of indicatoren ten gevolge van houtrook met voldoende nauwkeurigheid en tegen acceptabele kosten kan worden gemeten. Het tweede onderzoek richtte zich op de technische mogelijkheden om de overlast van houtrook te reduceren, namelijk verhoging van de schoorsteen en toepassing van een elektrostatisch filter.

Het is technisch goed mogelijk om op basis van indicatoren als koolstofmonoxide, fijnstof, Black Carbon of formaldehyde, de immissie ten gevolge van houtrook nabij een schoorsteen te meten. Deze indicatoren zijn succesvol gemeten op ongeveer 10 meter afstand hemelsbreed van de schoorsteenmond. Op basis van de gemeten concentratie tijdens het stoken van hout in vergelijking met de achtergrondconcentratie en de gunstige signaal/ruis verhouding, is koolstofmonoxide een van de meest geschikte indicatoren voor metingen. Omdat er echter meerdere bronnen van koolstofmonoxide mogelijk zijn, kunnen de metingen worden aangevuld met Black Carbon of formaldehyde om met meer zekerheid houtrook als bron aan te kunnen wijzen.

Deze experimenten zijn uitgevoerd onder relatief gunstige condities. Zeker als ongunstige condities een rol spelen (zoals lage schoorstenen, slecht stookgedrag, ongunstige meteorologische condities), kan de concentratie op leefniveau aanzienlijk hoger zijn dan bepaald in deze experimenten. Het is wenselijk om aanvullende metingen op leefniveau uit te voeren, bij voorkeur onder ongunstige condities. Deze worden idealiter gecombineerd met ervaren overlast in brede zin. Mogelijk kan hierdoor een relatie worden gelegd tussen concentratie-pieken en overlast ten gevolge van houtrook.

Bij deze alternatieve aanpak kan overlast worden gerelateerd aan bijvoorbeeld de concentratie van de gemeten indicator. Op basis daarvan kan een theoretische schaal worden gedefinieerd met een maximum immissie-concentratie waarboven overlast verwacht kan worden. Bij een dergelijke vormgeving kan er ook nog rekening gehouden worden met geringe afstanden tussen de houtrookbron en de gehinderde, en de kwaliteit van het stoken (slechte stook leidt tot meer emissies), welke resulteren in een toenemende immissie-concentratie op het niveau van de gehinderde. Dit lijkt vooral kansrijk voor Black Carbon, omdat het verschil in de achtergrondconcentratie en de gemeten concentratie bij het stoken van hout voldoende significant is.

Tenslotte, er zijn meerdere mogelijkheden om houtrook-overlast te reduceren. Veelal wordt daarbij eerst gekeken naar de brandstofkwaliteit en het type installatie. Het verhogen van schoorstenen kan eveneens een (deel)oplossing bieden, maar hierbij is nadrukkelijk aandacht voor de schoorsteentrek van belang. Een te hoge schoorsteentrek leidt tot een toename van emissies; dit kan (deels) worden opgelost door toepassing van een trekbegrenzer op een schoorsteen. Daarnaast is er gemeten aan een elektrostatisch filter op een schoorsteen. Een dergelijk filter blijkt goed in staat om de emissie van fijnstof (ook wel aerosolen genoemd) aanzienlijk te reduceren. Een nageschakelde techniek als deze zal de overlast richting de leefomgeving reduceren.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Praktijkmeting indicatoren houtrook.....	6
2.1	Inleiding op mogelijke indicatoren voor houtrookoverlast.....	6
2.2	Emissiefactoren indicatoren	6
2.3	Achtergrondconcentraties in de buitenlucht	7
2.4	Black Carbon – metingen en relatie met houtrook	8
2.5	Meetcampagnes: een overzicht.....	9
2.6	Metingen aan de schoorsteen	9
2.7	Meting op 10 meter afstand.....	12
2.8	Metingen op grotere afstanden.....	23
3	Beperking overlast houtrook: schoorsteenhoogte en elektrostatisch filter ...	26
3.1	Invloed van de schoorsteenhoogte en belang van trekbegrenzer	26
3.2	Inzet van een ESP	27
4	Conclusies.....	30
5	Literatuur	33
6	Ondertekening	36

1 Inleiding

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft TNO opdracht gegeven om te onderzoeken of er een geschikte (technische) meetmethode bestaat, of ontwikkeld kan worden, die door gemeenten met voldoende nauwkeurigheid en tegen acceptabele kosten kan worden gebruikt bij overlastsituaties die ten gevolge van houtrook uit kleine (particuliere) houtkachels zijn ontstaan¹.

Het stoken van hout in kachels of haarden kan bij omwonenden leiden tot (geur)hinder en gezondheidsklachten, wat allemaal aspecten zijn van 'overlast'. Om overlast door het stoken van hout en andere vaste brandstoffen door particulieren te voorkomen en/of te verminderen, is, mede op initiatief van de Rijksoverheid, het Platform Houtrook en Gezondheid ingesteld. Een van de oplossingsrichtingen ter vermindering van overlast door houtrook, die door het Platform is aangedragen, is de ontwikkeling van een meetmethode waarmee de overlast van houtrook in de leefomgeving aantoonbaar gemaakt kan worden. De Rijksoverheid heeft deze oplossingsrichting overgenomen met het doel de handhaving door gemeenten en omgevingsdiensten bij houtrookoverlast te ondersteunen¹.

In dit onderzoek zijn enkele mogelijkheden verkend om overlast te reduceren, in het bijzonder de invloed van schoorsteenverhoging en het effect van een nageschakeld filter, namelijk de elektrostatische precipitator (ESP).

Het doel van het onderzoek is om goed meetbare indicatoren voor houtrookoverlast te identificeren, op basis waarvan overlast (gezondheidsklachten) in de leefomgeving objectief bepaald zou kunnen worden. Het uiteindelijke doel is om de overlast zodanig te kunnen vaststellen, dat er bij overlast-gevende situaties handhavend opgetreden zou kunnen worden.

In het verleden zijn diverse rechtszaken rondom houtrookoverlast aangespannen (Habitat, 2010; diverse gerechtelijke uitspraken). Er is daarbij in een aantal gevallen gebruik gemaakt van modelberekeningen, met name om de verspreiding van fijnstof en BaP (benzo(a)pyreen) naar de leefomgeving te berekenen, en metingen, van met name fijnstof. Zowel op basis van modelberekeningen als metingen zijn tot op heden geen normoverschrijdingen vastgesteld, op zodanige wijze dat dit heeft geleid tot een gerechtelijke uitspraak in het voordeel van gehinderden (Habitat, 2010; Infomil, 2019).

Zoals hiervoor beschreven, is het uiteindelijke doel om de overlast als gevolg van houtrook objectief te kunnen vaststellen, en dat in de toekomst op basis daarvan handhavend opgetreden zou kunnen worden bij overlastgevende situaties. Vermoedelijk zal een nieuwe schaal voor overlast moeten worden gedefinieerd. Dit onderzoek is erop gericht om emissies en immissies van meetbare componenten (technisch) te kunnen detecteren.

Op verzoek van de Rechtbank Oost-Brabant heeft de Stichting Advisering Bestuursrechtspraak (StAB) recent een rapport uitgebracht omtrent mogelijkheden

¹ Kamerbrief 30 mei 2018 - Reactie op brief Platform Houtrook en Gezondheid. Kamerstuk 30175-293

om overlast ten gevolge van houtrook te reduceren. In dat rapport wordt een aantal beoordelingsmogelijkheden beschreven, zoals de installatie, de brandstofkwaliteit, berekende geuroverlast en meetmogelijkheden (StAB, 2019). Uitspraak van de Rechtbank Oost-Brabant volgt een aanpak in meerdere stappen voor handhaving door een gemeente (SHE 18/596): eerst een 'zachte' aanpak m.n. gebaseerd op voorlichting, gevolgd door een 'harde' aanpak, zoals inspectie, en tenslotte berekeningen. Metingen kunnen bij een 'harde' aanpak helpen om een beter beeld te krijgen van de werkelijke overlast.

2 Praktijkmeting indicatoren houtrook

2.1 Inleiding op mogelijke indicatoren voor houtrookoverlast

De technische mogelijkheden om houtrook te meten in relatie tot geschikte indicatoren worden in dit hoofdstuk beschreven. Een voorwaarde voor het slagen van de gewenste meetmethode is dat de meetapparatuur in staat moet zijn om voldoende snel te meten en bij voorkeur in staat moet zijn om een bron eenduidig te herleiden. Bij eerder onderzoek is veelal levoglucosan als indicator voor houtrook geselecteerd; het nadeel van deze indicator is dat het verzameld moet worden op een filter gedurende langere tijd (meestal enkele uren) en vervolgens ex-situ moet worden geanalyseerd, d.w.z. analyse achteraf in een laboratorium.

Op basis van de wens tot snelle detectie en (vermoedelijke) correlatie met slechte houtstook, zijn de volgende indicatoren geselecteerd:

- Black Carbon
- Formaldehyde (H₂CO)
- Koolstofmonoxide (CO)
- Fijnstof (PM₁₀ en/of PM_{2.5})

In situaties van overlast door houtrook is het van belang dat zowel het overlastniveau nabij de gehinderde zo goed mogelijk wordt vastgesteld, als dat de (vermoedelijke) bron zo goed mogelijk wordt bepaald. Het lijkt daarom van belang dat meetapparatuur mobiel ingezet kan worden ofwel dat meerdere meetapparaten in de leefomgeving eenvoudig opgesteld kunnen worden.

2.2 Emissiefactoren indicatoren

De emissiefactoren per stof en kacheltype zijn opgenomen in Tabel 1, overgenomen uit de publicatie van Jansen (TNO, 2016). Voor formaldehyde zijn in deze publicatie geen emissiefactoren gegeven. Deze emissiefactoren zijn overigens exclusief de zogeheten 'condensables'.

Deze 'condensables' bestaan hoofdzakelijk uit organische stoffen, die snel na het verlaten van de schoorsteen afkoelen en condenseren tot deeltjes in de lucht (aerosolen). Deze aerosolen dragen daarmee eveneens bij aan de uitstoot van fijnstof. Dit fijnstof wordt bij sommige (voorgeschreven) meetmethoden standaard gemeten, zoals bij verkeeremissies of emissies tijdens koken. Bij metingen aan (heet) rookgas uit schoorstenen, wordt dit condenseerbaar fijnstof (meestal) niet gemeten: het bevindt zich nog in de gasfase. De bijdrage van condenseerbaar fijnstof aan de totale hoeveelheid fijnstof uit houtrook is substantieel en kan oplopen met een factor 2 tot 3 ten opzichte van emissiefactoren waarin deze bijdrage niet is opgenomen (Denier van der Gon et al, 2015; Denier van der Gon et al, 2018; Nussbaumer, 2010).

Tabel 1: emissiefactoren van mogelijke indicatoren volgens (TNO, 2016). NB: in referentie is de eenheid voor Black Carbon onjuist; daarvoor is gecorrigeerd in onderstaande tabel.

Stof	Eenheid	Open haard	Conventioneel Rendement-kachel	Verbeterd rendement-kachel	DINplus-kachel
CO	g/GJ	3226	6452	3871	2903
Black Carbon	g/GJ	76	73	28	10
PM ₁₀	g/GJ	161	194	97	52
PM _{2.5}	g/GJ	153	183	92	49

De toename van voornoemde emissies met de ouderdom van de kachel (en met het op slechte wijze bedrijven van kachels) wordt bevestigd in diverse andere studies, zoals (Kelz et al, 2010; Carlsson et al, 2017; Koppejan & De Bree, 2018).

Van de voornoemde indicatoren hebben fijnstof en koolstofmonoxide een direct verband met de eisen conform Ecodesign; Ecodesign stelt overigens ook eisen ten aanzien van emissies van VOS (vluchtige organische stoffen) en NO_x (EC, 2015). De emissie-eisen in Ecodesign worden uitgesplitst in (EC, 2015):

Cat 1) Toestellen voor lokale ruimteverwarming met open voorkant, die vaste brandstof gebruiken

Cat 2) Toestellen voor lokale ruimteverwarming met gesloten voorkant, die vaste brandstoffen gebruiken, anders dan samengeperst hout in de vorm van pellets

Cat 3) Toestellen voor lokale ruimteverwarming met gesloten voorkant, die samengeperst hout in de vorm van pellets als vaste brandstof gebruiken

PM-emissie-eisen:

Cat 1) 50 mg/m³ bij 13%O₂ of 6 g/kg (dry matter) → omgerekend: 32 g/GJ

Cat 2) 40 mg/m³ bij 13%O₂ of 2.4-5 g/kg (dry matter) → omgerekend: 25 g/GJ

Cat 3) 20 mg/m³ bij 13%O₂ of 1.2-2.5 g/kg (dry matter) → omgerekend: 13 g/GJ

CO-emissie-eisen:

Cat 1) 2000 mg/m³ bij 13%O₂ → omgerekend: 1273 g/GJ

Cat 2) 1500 mg/m³ bij 13%O₂ → omgerekend: 955 g/GJ

Cat 3) 300 mg/m³ bij 13%O₂ → omgerekend: 191 g/GJ

De voornoemde omrekeningen zijn uitgevoerd uitgaande van een eis op basis van een stookwaarde van 19,65 MJ/kg (droge stof) en 4.747 m³ droog rookgas/kg (droge stof). Volgens de Ecodesign zijn deze emissie-eisen goed haalbaar, gegeven een aantal voorgeschreven meetmethoden.

2.3 Achtergrondconcentraties in de buitenlucht

De achtergrondconcentraties van de mogelijke indicatoren zijn:

- PM₁₀: 16,5 µg PM₁₀/m³, jaargemiddeld in Nederland 2016. In Utrecht was dit 19,1 µg PM₁₀/m³, jaargemiddeld. In Noord-Nederland was dit 14,8 µg PM₁₀/m³, jaargemiddeld (RIVM, Grootschalige Concentratiekaart 2017).
- PM_{2.5}: 9,6 µg PM₁₀/m³, jaargemiddeld in Nederland 2016. In Utrecht was dit 11,9 µg PM₁₀/m³, jaargemiddeld. In Noord-Nederland was dit 8,1 µg PM₁₀/m³, jaargemiddeld (RIVM, Grootschalige Concentratiekaart 2017).

- Black Carbon (EC): 0,63 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$, jaargemiddeld in Nederland 2016. In Utrecht was dit 1,00 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$, jaargemiddeld. In Noord-Nederland was dit 0,46 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$, jaargemiddeld (RIVM, Grootschalige Concentratiekaart 2017).
- CO: op ca 9 meetstations wordt binnen het Luchtmeetnet de koolstofmonoxide-concentratie in de buitenlucht gemeten. In 2017 varieerde de jaargemiddelde uurwaarde tussen 216 en 369 $\mu\text{g CO}/\text{m}^3$ in Cabauw respectievelijk Amsterdam (de jaarmaximale uurwaarde in 2017 varieerde tussen 740 en 4833 $\mu\text{g CO}/\text{m}^3$ in Cabauw respectievelijk Wijk aan Zee).
- Formaldehyde is typisch een component die in verhoogde concentraties kan worden aangetroffen in de binnenlucht. De achtergrondconcentratie van formaldehyde in de buitenlucht is typisch een paar ppb ofwel $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, terwijl in verstedelijkte gebieden en industriële gebieden de gemeten concentratie typisch zo'n 20 $\mu\text{g formaldehyde}/\text{m}^3$ is (WHO, 2010).

2.4 Black Carbon – metingen en relatie met houtrook

Black Carbon kent meerdere definities, maar een belangrijk kenmerk is dat Black Carbon bestaat uit aerosolen met licht-absorberende eigenschappen. Black Carbon is veelal het product van onvolledige verbranding en vormt een onderdeel van roet (VMM, 2016; B. Henzing, persoonlijke mededeling). Een belangrijke meetmethode voor Black Carbon is om het aandeel EC (Elemental Carbon) en OC (Organic Carbon) te bepalen o.b.v. NEN-EN16909 2017 (*Ambient air – measurement of elemental carbon (EC) and organic carbon (OC) deposited on filters*). Dit is een thermo-chemische analyse op basis van aerosolen, verzameld op een filter.

Alternatief is om absorption photometers te gebruiken om Black Carbon te meten; deze zijn veelal gebaseerd op een filter-depositie en een optische meting van de absorptie van licht, waarbij het resultaat afhankelijk is van de 'zwart-grad' (VMM, 2016; B. Henzing, persoonlijke mededeling). Binnen het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) wordt op deze wijze gemeten, veelal met de MultiAngle Absorption Photometer van Thermo, kortweg de MAAP. De fabrikant heeft deze apparatuur uit productie genomen.

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van een Magee AE33 (ook wel bekend als Aethalometer), die zeer geschikt lijkt als alternatief voor de MAAP en ook geschikt lijkt voor het meten van houtrook volgens de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM, 2016). Dit apparaat meet niet alleen Black Carbon, maar bepaalt ook het percentage Black Carbon ten gevolge van biomassaverbranding. In de basis vindt dit plaats door de meetresultaten op de golflengten 470 nm en 950 nm middels een rekenformule aan elkaar te relateren. Het resultaat van deze berekening is het percentage Black Carbon gerelateerd aan biomassaverbranding. De VMM (Vlaamse Milieumaatschappij) heeft gevonden dat deze metingen goed correleren met houtrook op basis van bepalingen van de hoeveelheid levoglucosan. Hierbij was de Magee AE33 ingezet om de algemene luchtkwaliteit in een bepaalde omgeving te meten (VMM, 2016).

Buro Blauw heeft in 2017 gerapporteerd dat verhoogde concentraties van Black Carbon zijn gemeten ten gevolge van houtrook (op minuutgemiddelde basis), die significant boven de achtergrondconcentratie uitstijgen (tot max 30 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$). Deze verhogingen werden doorgaans tot 15 minuten gemeten, waarna de concentratieverhoging weer sterk inzakte (Buro Blauw, 2017).

2.5 Meetcampagnes: een overzicht

In het kader van dit onderzoeksproject is een aantal meetcampagnes uitgevoerd om de (technische) meetmogelijkheden en verschillende meetstrategieën te toetsen. Bij alle metingen is er gemeten aan afgekoeld rookgas, waardoor de ‘condensables’ (dat zijn aerosolen, die hoofdzakelijk bestaan uit gecondenseerde, organische emissie) zijn meegenomen in de metingen. Er zijn metingen uitgevoerd direct aan een schoorsteen van een houtkachel (zie paragraaf 2.6). Deze metingen zijn uitgevoerd in de winter van 2018. Hierbij werd direct gemeten aan het rookgas, waarbij het rookgas snel werd verdund en gekoeld. Metingen direct aan een schoorsteen geven weliswaar geen goed beeld van de concentratie van vervuiling die omwonenden in de leefomgeving kunnen inademen, maar deze metingen zijn wel gebruikt om de technische mogelijkheden van diverse metingen indicatief te bepalen (zie paragraaf 2.6). Daarnaast is het effect van een elektrostatisch filter op de fijnstof-emissie van houtrook bepaald (zie paragraaf 3.2). Vervolgens is een houtrook experiment in Noord-Holland uitgevoerd, waarbij op 12 meter hoogte en 10 meter afstand van de schoorsteenmonding van een houtkachel direct in de zichtbare houtrookpluim is gemeten (zie paragraaf 2.7). Dit experiment is uitgevoerd om in een “ongunstig scenario” immissies te meten: onder aanname dat een gehinderde op een dergelijke, zeer korte afstand van een houtrook-bron woont en een dergelijke houtrookpluim inademt. Dit zou de situatie kunnen zijn op bijvoorbeeld een bovengelegen verdieping of een zolder met ventilatieopeningen, maar mogelijk dat een neerwaarts zog van de houtrookpluim ook een dergelijk effect sorteert. Er is eveneens mobiel gemeten.

Daarnaast is de meetwagen een aantal malen ‘s avonds en ‘s nachts in Groet (gemeente Bergen, Noord-Holland) geparkeerd om met stationaire metingen de mogelijke detectie van houtrookpluimen te onderzoeken. Deze metingen zijn uitgebreid door gedurende twee dagen en een avond mobiel met de meetwagen te meten, eveneens voor mogelijke detectie van houtrookpluimen; er is daarbij actief gezocht naar houtrook. Tenslotte is er gedurende drie weken stationair fijnstof en Black Carbon gemeten op een huisjespark in Noord-Holland, waarvan het vermoeden was dat er met enige regelmaat hout werd gestookt op het betreffende park (zie paragraaf 2.8 voor een beschrijving van enkele resultaten van deze metingen).

2.6 Metingen aan de schoorsteen

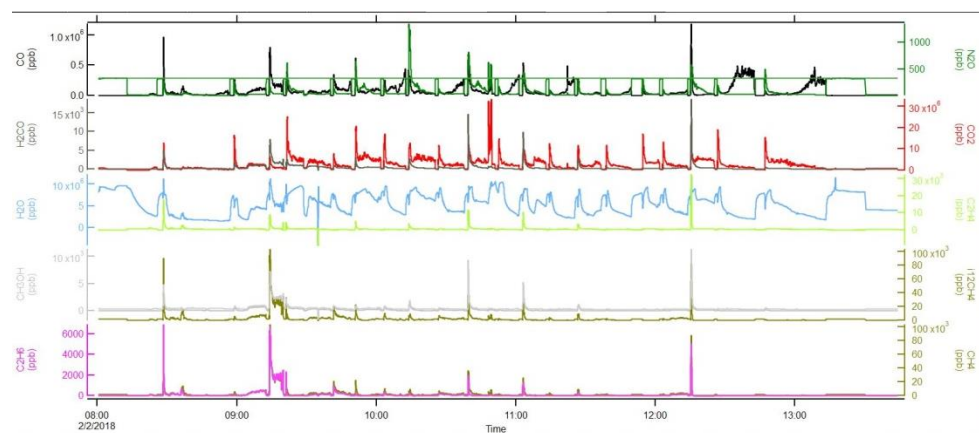
In de winter van 2018 is een praktijkmeting uitgevoerd aan een houtkachel om de effectiviteit van een filter, namelijk een elektrostatische precipitator (ESP), vast te stellen. De beschrijving en de discussie over de effectiviteit van de ESP is opgenomen in paragraaf 3.2. Bij deze kachel van een particulier in het oosten van Nederland, zie voor meer details paragraaf 3.2, is de meetwagen van TNO geplaatst. Met behulp van een anti-statische aanvoerleiding en een op maat gemaakte schoorsteenkap, is rookgas van de houtkachel aangezogen, ca 20x verdund in stikstof en op ca. 20-25°C gemeten. De metingen werden verricht met:

- Een Laser spectrometer van Aerodyne (dual laser pulsed system) voor simultane detectie van diverse gassen, in het bijzonder koolstofdioxide, koolstofmonoxide, formaldehyde en methaan. Meetfrequentie tot 10 Hz.
- SMPS in combinatie met CPC voor de detectie van fijnstof. De SMPS (Scanning Mobility Particle Size Spectrometer) meet de hoeveelheid UFP

(ultrafijnstof) en geeft daarnaast ook een klassenverdeling van de deeltjesgrootte van ongeveer 10 tot 800 nm. De SMPS maakt gebruik van een aangelegde elektrische lading op de aerosolen zelf en de grootteafhankelijke traagheid van de aerosolen om de diverse grootteklassen te onderscheiden. De lading op de deeltjes wordt aangebracht met behulp van een radioactieve bron (ioniserende straling). De deeltjes worden met een absolute meetmethode geteld (een zogenaamde condensation particle counter, CPC). Bij de CPC wordt voor het aangroeien van de deeltjes, butanol gebruikt. Ieder deeltje wordt zo in een druppeltje omgezet en met behulp van een laserstraal gedetecteerd. Het deeltjesspectrum wordt vervolgens berekend.

- Een Leckel voor filter-bepaling van totaal-stof. De Leckel is een automatisch filter-bemonsterings apparaat (CEN EN 12341 (2014) goedgekeurd), geschikt voor buitengebruik bij alle condities en weersinvloeden. Lucht wordt door een filter geleid en het fijnstof slaat op het filter neer. In de Leckel kan een cassette met voorgewogen filters worden geplaatst, deze worden automatisch op een ingestelde tijd verwisseld. De filters worden na het bemonsteren weer gewogen, waardoor de concentratie fijnstof per volume-eenheid te bepalen is.

De metingen met behulp van de Laser spectrometer zijn in deze paragraaf nader geëvalueerd, omdat deze een goed beeld geven van de relatieve concentratieniveaus van de verschillende gassen in het rookgas; in paragraaf 3.2 zijn de verdere metingen beschreven. Een voorbeeld van de datareeks is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Voorbeeld van metingen van CO, CO₂, N₂O, formaldehyde, H₂O en diverse koolwaterstoffen aan (verdund) rookgas van een hout kachel

De concentratiepieken voor koolstofdioxide, koolstofmonoxide, formaldehyde en methaan in het rookgas zijn weergegeven in Tabel 2. De concentratie is gecorrigeerd voor de toegepaste verdunning tijdens de metingen. De concentratiepieken worden vooral waargenomen snel na het bijvullen van de kachel met nieuwe houtbrandstof. Koolstofmonoxide (CO) laat de sterkste toename zien in houtrook in vergelijking met de buitenlucht (zie 'factor toename' in Tabel 2) en is daarmee de meest gevoelige indicator van de gassen, die technisch gemeten kan worden in een houtrookpluim. Complicierend voor CO is dat ook andere verbrandingsprocessen CO emitteren, bijvoorbeeld het verkeer. Bij meerdere, mogelijke bronnen kan daardoor de bronduiding van een CO-meting bij een gehinderde worden gecompliceerd.

Daarnaast blijkt uit deze resultaten dat formaldehyde (H_2CO) op de tweede plaats staat qua gevoeligheid voor detectie. Dat is wat lager dan voor CO, maar formaldehyde lijkt specifiek voor houtrook. Tijdens mobiele metingen wordt regelmatig CO gedetecteerd, afkomstig van bijvoorbeeld passerend verkeer; formaldehyde wordt echter vrijwel nooit gedetecteerd. Ook methaan (CH_4) laat een goed meetbare concentratie zien, maar de gevoeligheid ligt lager dan voor CO en formaldehyde; daarnaast is er een grote verscheidenheid van diverse andere bronnen van methaan (zoals landbouw en veehouderij, lekkage van aardgas, etc). Dit kan bronduiding compliceren.

Tabel 2: *Samenstelling van de piekconcentratie van gassen in het rookgas van een houtgestookte kachel (gecorrigeerd voor verdunning)*

Component	Achtergrond (ppm)	Piek (ppm)	Factor toename
CO ₂	400	400.000	1000
CO	0,2	10.000	50.000
H ₂ CO	0,002	80	40.000
CH ₄	2	400	200

Metingen van rookgas direct uit de schoorsteen resulteren in veel hogere concentraties dan op leefniveau. Op basis van het overzicht aan metingen in Tabel 2 is een hypothetische berekening uitgevoerd, om de signaal/ruis verhouding in te schatten en daarmee de kwaliteit van de metingen meer inzichtelijk te maken, zie Tabel 3. Als de signaal/ruis verhouding hoog is, kan het desbetreffende meetsysteem de indicator in de rookpluim goed onderscheiden. Daarentegen betekent een lage verhouding dat de concentratiepieken moeilijker te detecteren zijn. Voor de hypothetische berekening is verondersteld dat op leefniveau benedenwinds van een houtrookbron een CO piek wordt waargenomen, die een verdubbeling laat zien ten opzichte van de achtergrondconcentratie, bijvoorbeeld van 200 naar 400 ppb. Dan kan op basis van de in het rookgas gevonden 'factor toename' ingeschat worden dat de CO₂ piek rond de 16 ppm zal zijn, methaan 16 ppb en voor H₂CO 3 ppb. Al deze componenten kennen een onzekerheid in de meting, met name bepaald door de achtergrondruis in de meting (zie de kolom "achtergrondruis meting"). De piek gedeeld door de ruis resulteert in de signaal/ruis (S/N) verhouding. Hieruit wordt geconcludeerd dat de metingen van CO en CO₂ in een gunstige signaal/ruis verhouding resulteren, terwijl methaan en formaldehyde (H₂CO) een duidelijk ongunstiger signaal/ruis verhouding laten zien.

Tabel 3: *Hypothetische berekening van concentraties van gassen op leefniveau*

Component	Verwachte piek op leefniveau (ppb)*	(geschatte) ruis meting (ppb)**	S/N***
CO ₂	16.000	100	160
CO	400	1	400
H ₂ CO	3	1	3
CH ₄	16	1	16

* Concentratieniveaus indien het gas zo verdund wordt dat de CO piek gelijk is aan 2 keer de achtergrondwaarde . De verwachte waarde op leefniveau is uitgedrukt in ppb, 1000 ppb = 1 ppm.

** Ruis is ingeschat op basis van het meetsignaal van de meetapparatuur zelf

*** S/N = signal-to-noise ratio oftewel signaal/ruis verhouding

2.7 Meting op 10 meter afstand

2.7.1 Opzet van de metingen

In November 2018 is een praktijkmeting uitgevoerd aan een houtkachel in Noord-Holland om de technische detectie van mogelijke indicatoren, in de nabije omgeving van een houtkachel, vast te stellen (Figuur 2 en Figuur 3). De kachel is een ingebouwde HR-kachel (=hoog rendement), die met behulp van ventilatoren de opgewekte warmte rondom de kachel naar de woonruimte blaast. Deze kachel is in 2000 geplaatst. Uit informatie van de fabrikant blijkt dat de kachel voldoet aan de Amerikaanse EPA-normen. Ook is de kachel "DIN geprüft", wat een Duits milieukeur is.

De meetapparatuur is mobiel verplaatsbaar in de meetwagen van TNO, waarin de volgende apparatuur is opgenomen:

- Een Laser spectrometer van Aerodyne (dual laser pulsed system) voor simultane detectie van diverse gassen, in het bijzonder formaldehyde, koolstofmonoxide en methaan. De meetfrequentie is maximaal 10 Hz (ofwel 10 metingen/sec).
- Magee Aethalometer AE33 voor de detectie van Black Carbon. Dit meetinstrument verzamelt continu aerosol op een filter en meet de transmissie van licht op het beladen deel van het filter versus een onbeladen deel van het filter als referentie. De analyse wordt uitgevoerd op 7 verschillende optische golflengten. Naast Black Carbon meet dit apparaat eveneens het percentage Black Carbon gerelateerd aan houtrook ("biomass burning percentage"); deze meetwaarde van dit instrument is in een campagne van de Vlaamse Milieu Maatschappij getest en bleek veelbelovend (VMM, 2016). De ingestelde meetfrequentie is 1 Hz (ofwel 1 meting/sec).
- FIDAS 200 van PALAS voor de detectie van fijnstof. Dit is een (EN 16450 goedgekeurde) aerosol spectrometer, die simultaan PM₁, PM_{2.5} en PM₁₀ kan detecteren. De detectie-limiet van de FIDAS is 5.0 µg/cm³. De onderste detectiegrens van de deeltjesgrootte is 0.18 micron en de meetfrequentie 1 meting/ minuut.

Bij dit experiment is de rook uit de houtkachel gemeten door de meetwagen naast de woning te plaatsen. Met behulp van een snuivermast (12 meter hoogte), uitgerust met een anti-statische aanvoerleiding voor doorvoer van aerosolen, is gedurende de ochtend gemeten op een afstand van 10 meter hemelsbreed, benedenwinds van de schoorsteenmonding. Door buiten het rookgaskanaal te meten, kan het rookgas afkoelen en wordt ook het zogenaamd condenseerbaar fijnstof gemeten. Het meten van condenseerbaar fijnstof is relevant voor de blootstelling aan houtrook, of anders geformuleerd: dit is de relevante samenstelling van de lucht waaraan omwonenden blootgesteld zouden kunnen worden.



Figuur 2: Meetwagen met snuivermast: afstand ca 10 meter tot de schoorsteenmondning. Voorzijde (foto rechts) en achterzijde (foto links) van de gemeten schoorsteen. De houtrookpluim is zichtbaar op beide foto's.



Figuur 3: Interieur van de meetwagen (foto links) en opzet van de snuivermast (ca 12 meter hoog) met anti-statische aanvoerleiding (foto rechts)

De metingen op deze afstand van de schoorsteenmondning staan model voor de concentratie houtrook bij een “ongunstig scenario”: namelijk indien een nabijwonende gehinderde op een dergelijke afstand van een houtrook-bron woont en nabij bijvoorbeeld relevante ventilatie-openingen een dergelijke concentratie kan ervaren. Bij grotere afstanden zal de gemeten concentratie onder de meeste omstandigheden altijd lager zijn. Door veranderingen in de windrichting of turbulentie in de wind wordt de houtrookpluim afwisselend wel en soms ook niet door de inlaat van de snuivermast opgevangen. Hierdoor laten de metingen direct een beeld zien van sterke variaties tussen de achtergrondconcentratie en de maximale concentratie. Overigens zal bij een grotere afstand de kans toenemen dat een snuivermast de houtrookpluim niet opvangt.

In de middag draaide de wind (van zuid-zuidwest naar zuid-oost) en is de meetwagen verplaatst naar diverse locaties benedenwinds op grotere afstand van de schoorsteenmondning; vanaf circa 13.15u is de meetwagen verplaatst. De afstand van deze locaties was tenminste 70 meter of meer: door andere objecten was de houtrookpluim bij de windrichting in de middag niet naderbij detecteerbaar.

Op het KNMI-station De Kooy was gedurende de meetdag een daggemiddelde temperatuur van 10°C gemeten. Verder was het relatief zonnig (ca 7.9 uur zonnenschijn) en de gehele dag droog. De gemiddelde windsnelheid was circa 5 m/s (3 Bft).

De kachel is gestookt met relatief nat brandhout, zodat de emissies relatief hoog zouden moeten zijn: 20%-27% wood moisture equivalent (gemeten met Brennenstuhl MD Damp Detector). Het houtverbruik van de kachel was 4,28 kg (pruimen)hout/uur inclusief opstarttijd van de kachel en 4,25 kg (pruimen)hout/uur, gedurende de periode dat de kachel op bedrijfstemperatuur was. De kachel is om 9:45u (UTC) opgestart en daarna onafgebroken doorgestookt gedurende de gehele meetdag (zowel tijdens stationaire metingen in de ochtend, als tijdens de mobiele metingen in de middag).

2.7.2 Resultaat van de metingen

De metingen zijn verricht om inzicht te geven in de concentratieniveaus van de verschillende gemeten componenten en daarmee ook in de bruikbaarheid van deze componenten als tracer of indicator voor houtrook. Een belangrijk aspect is de signaal/ruis verhouding in de tijdreeksen van de verschillende meetsystemen. Het signaal wordt bepaald door de gemeten concentratie-piek en de ruis. De ruis wordt bepaald door de variabiliteit van deze component in het achtergrondsignaal (variatie in concentratie door verder afgelegen bronnen en de variatie door het meetinstrument zelf). Een hoge signaal/ruis verhouding laat zien dat het desbetreffende meetsysteem de indicator in de rookpluim goed kan onderscheiden, terwijl bij een lage signaal/ruis verhouding dit onderscheid kwalitatief veel minder goed is.

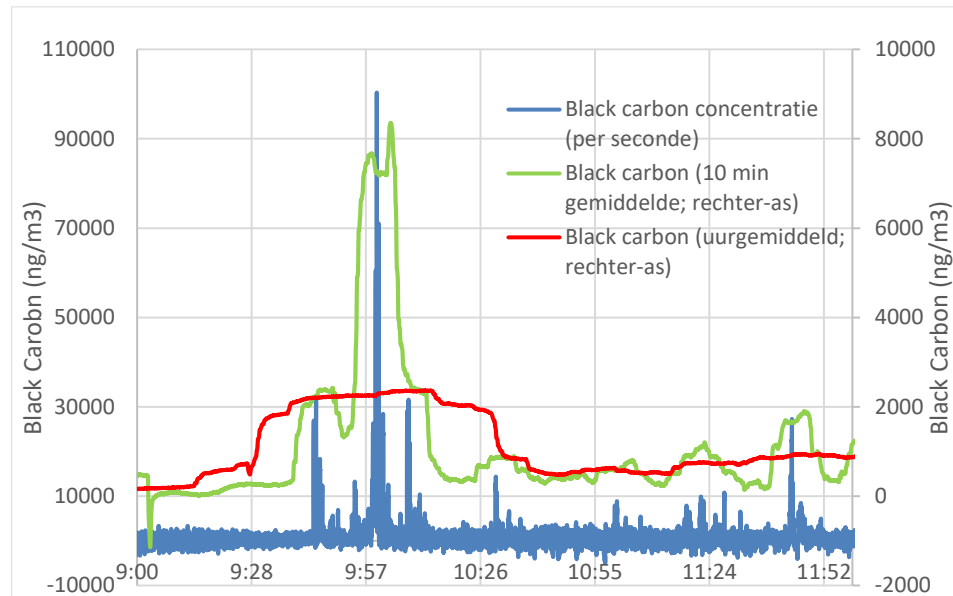
Black Carbon

De metingen van Black Carbon zijn weergegeven in Figuur 4 en laten zien dat gedurende de meettijd de concentratie Black Carbon maximaal en kortstondig oploopt tot circa 100 µg/m³. Het signaal laat duidelijk zien hoe de rookpluim door verwaaiing en turbulentie de snuivermast soms raakt en soms mist. Dat resulteert in relatief sterke fluctuaties van de metingen. Daarnaast laat het instrument ook een variatie in de achtergrond zien. Deze variatie wordt deels bepaald door het instrument zelf en deels bepaald door feitelijke variatie in de achtergrondconcentratie. In de data met de hoogste tijdsresolutie (1 Hz) ligt de signaal/ruis verhouding rond de 100. Als het signaal wordt uitgemiddeld naar een lopend gemiddelde van 10 minuten, lijkt een duidelijker patroon zichtbaar te worden met een signaal/ruis verhouding van rond de 30 (zie Figuur 4; groene lijn). Hierdoor worden kortstondige pieken, die een forse concentratieverhoging laten zien, uitgemiddeld in de tijd; een "forse piek" wordt dus "weggesmeerd". Bij uitmiddeling over een langer tijdsinterval gaat een deel van het signaal "verloren" (zie Figuur 4; rode lijn, lopend gemiddelde over 1 uur) en valt de signaal/ruis verhouding terug naar ongeveer 10.

Deze metingen laten zien dat met een hoge meetfrequentie er een relevante concentratie Black Carbon kan worden gemeten en eveneens de houtrookpluim het beste kan worden gedetecteerd, maar de metingen laten ook zien dat Black Carbon niet altijd in de rookpluim aanwezig is. Mogelijk kan dit als basis dienen voor een onderscheid tussen een "schone" en "vieze" houtkachel.

Het uitmiddelen van de meetgegevens is vooral van waarde om de gemiddelde concentratie gedurende een potentiële blootstellingstijd vast te stellen. Het lopend

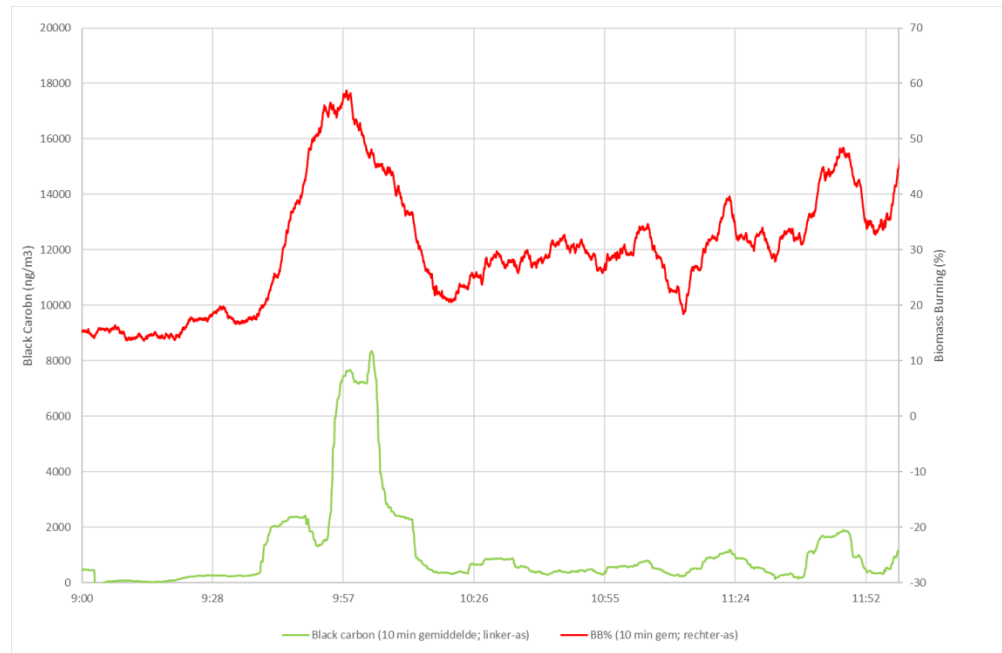
10-minuten gemiddelde laat zien dat de concentratie toeneemt tot ongeveer $7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hoewel het concentratie-maximum op één moment wat hoger ligt, is voornoemd maximum bepaald op basis van een wat langere meettijd. Het lopend uurgemiddelde laat zien dat de concentratie oploopt tot maximaal $2,3 - 2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 4: *Meting van Black Carbon met behulp van Magee AE33. Om 9.45u (UTC) is de kachel opgestart en daarna onafgebroken doorgestookt. De blauwe lijn representeert de ruwe meetdata per seconde (linker-as). De groene lijn is het lopend gemiddelde in de tijd over 10 minuten (rechter-as). De rode lijn is het lopend gemiddelde in de tijd over 1 uur (rechter-as).*

Het gebruikte meetinstrument bepaalt eveneens de hoeveelheid black carbon die kan worden toegeschreven aan biomassaverbranding. Dit percentage biomass burning is weergegeven in Figuur 5. Dit percentage is berekend voor het lopend 10 minuut-gemiddelde: bij de ingestelde meetfrequentie van 1 Hz fluctueerde deze meting sterk tussen 0% en 100%. Deze relatie is meer inzichtelijk en grafisch verbeterd door het lopend 10 minuut-gemiddelde te berekenen. De meting is direct uitgevoerd in de houtrookpluim, dus vrijwel alle gemeten Black Carbon kan toegeschreven worden aan biomassaverbranding. De gemeten percentages blijken echter relatief laag te zijn: het achtergrondniveau ligt op circa 10% en het maximum ligt niet hoger dan 60% biomass burning.

Hoewel er eerder een sterke correlatie is gevonden tussen het gemeten percentage biomass burning en metingen van levoglucosan (VMM, 2016), is dit mogelijk veroorzaakt doordat de metingen van VMM op een willekeurige locatie in de buitenlucht zijn uitgevoerd, waarbij de afstand tot bronnen relatief ver kan zijn. Of het berekende biomassa-percentage ook bruikbaar is bij metingen nabij een houtrookbron, zoals in dit onderzoek, moet nader onderzocht worden.

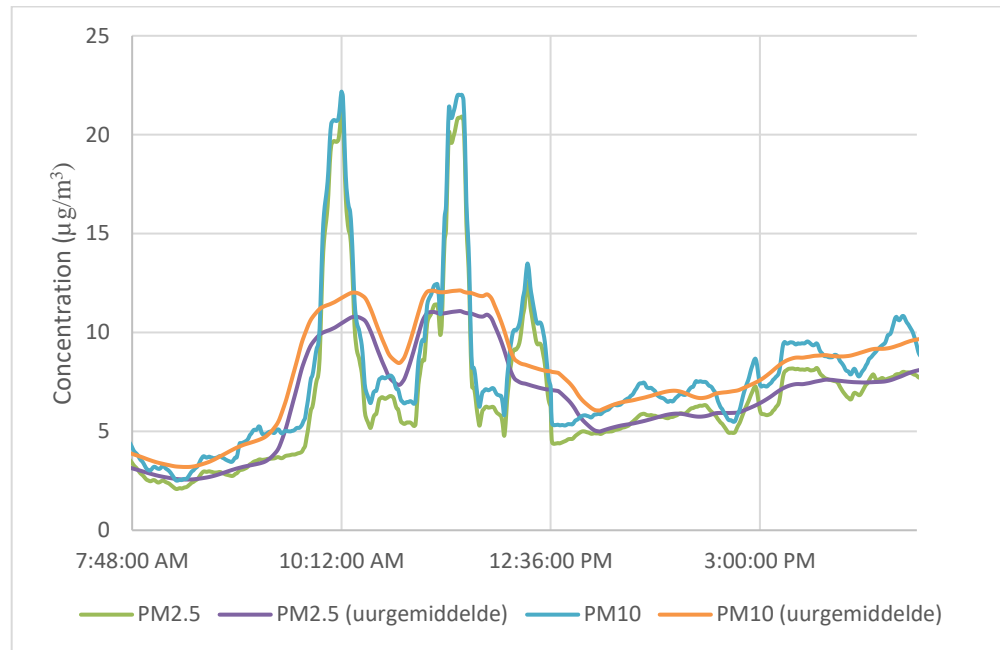


Figuur 5: *Meting van Black Carbon (linker-as) en percentage biomass burning (rechter-as) met behulp van Magee AE33 (berekend als lopend gemiddelde over 10 minuten)*

Fijnstof

De concentratie fijnstof is gemeten met behulp van een FIDAS. De metingen (Figuur 6) laten zien dat PM_{10} en $PM_{2.5}$ nabij elkaar liggen, wat betekent dat het fijnstof grotendeels bestaat uit de fractie $PM_{2.5}$ en kleiner. Dat komt overeen met de emissiefactoren uit de publicatie van Jansen (TNO, 2016). Het gemeten maximum van Black Carbon ligt hoger dan voor fijnstof, wat wordt toegeschreven aan de hogere meetfrequentie van Magee Aethalometer AE33 (meting per seconde) voor de detectie van Black Carbon in vergelijking met de FIDAS 200 van PALAS (meting per minuut). Uitgemiddeld in tijd blijkt dat de fijnstofconcentratie hoger is dan de concentratie Black Carbon, zoals verwacht mag worden.

Omdat fijnstof goed gerelateerd is aan de aanwezigheid van houtrook, is de concentratie omgerekend naar een (lopend) uurgemiddelde. Dit resulteert in een uurgemiddelde verhoging van 7 tot 9 microgram fijnstof/ m^3 ten opzichte van de achtergrondconcentratie (dit is bepaald door de maximum concentratie te corrigeren voor de achtergrondconcentratie). In de rookpluim op 10 meter afstand is fijnstof gedurende de gehele stooktijd wel gedetecteerd. In vergelijking met de metingen van Black Carbon laat het signaal voor fijnstof zien dat deze meer overeenkomt met het signaal van de gas-metingen dan het profiel van Black Carbon. Dit laat onverlet dat ook de fijnstofmetingen worden beïnvloed door verwaaiing en werveling, waardoor de rookpluim langs de snuivermast gaat. Dit resulteert in een aantal sterke fluctuaties van de gemeten fijnstofconcentratie.



Figuur 6: Meting van fijnstof met behulp van een FIDAS. Om 9.45u (UTC) is de kachel opgestart en er is daarna onafgebroken gestookt. De groene lijn ($PM_{2.5}$) en de blauwe lijn (PM_{10}) representeren de hoge resolutie meetdata. De paarse lijn ($PM_{2.5}$) en oranje lijn (PM_{10}) representeren het lopende gemiddelde over 1 uur. Vanaf circa 13.15u is de meetwagen verplaatst.

Gassen

De metingen van gassen met behulp van de laser spectrometer zijn uitgewerkt voor CO (koolstofmonoxide), CO₂ (koolstofdioxide), H₂CO (formaldehyde), C₂H₆ (ethaan) en CH₄ (methaan). In de rookpluim op 10 meter afstand zijn al deze gassen gedetecteerd en blijken deze gassen gedurende de gehele stooktijd goed te detecteren (Figuur 7). Daarin onderscheiden deze metingen zich van de metingen van Black Carbon, die veel kortstondiger piekconcentraties laat zien op de meetapparatuur dan de gasmetingen. Ook bij de gasmetingen laat het signaal zien dat de rookpluim niet continu de snuivermast bereikt en dat er sterke fluctuaties in de gemeten concentratieniveaus zijn.

De CO-concentratie resulteert in een piekmaximum op ca 17.000 ppb (oftewel 17 ppm). Van de gemeten gassen laat CO de beste signaal/ruis verhouding zien (zie Figuur 8 en Tabel 4); dit komt ook overeen met de waarnemingen en berekeningen zoals beschreven onder paragraaf 2.6. De signaal/ruis verhouding voor andere gassen ligt (aanzienlijk) lager; dit is overigens voor deze metingen ook bepaald voor methaan en ook deze signaal/ruis verhouding ligt lager dan bij de koolstofmonoxide-metingen. Overigens komt de concentratieverhouding van CO en methaan overeen met de onderlinge verhouding van de emissiefactoren uit de publicatie van Jansen (TNO, 2016).

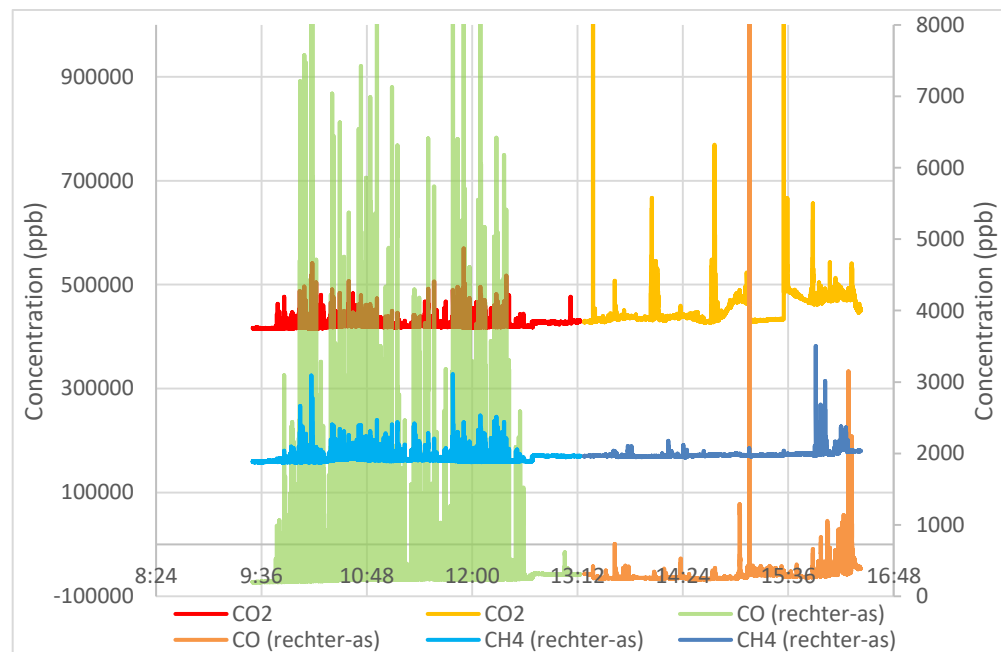
In de middag zijn de metingen mobiel uitgevoerd en is de meetwagen op diverse locaties kortstondig geplaatst. De afstand tot de schoorsteen was daarbij aanzienlijk groter dan gedurende de ochtend: die afstand was tenminste 70 meter of meer. Door andere objecten was de schoorsteen bij de heersende windrichting in de middag niet dichterbij te benaderen. Tijdens de diverse verplaatsingen, is er meestal gemeten op de voor-inlaat van de meetwagen, en daarmee op ongeveer 3 meter

hoogte. Gedurende deze middag was de rookpluim op de toegankelijke locaties niet te detecteren.

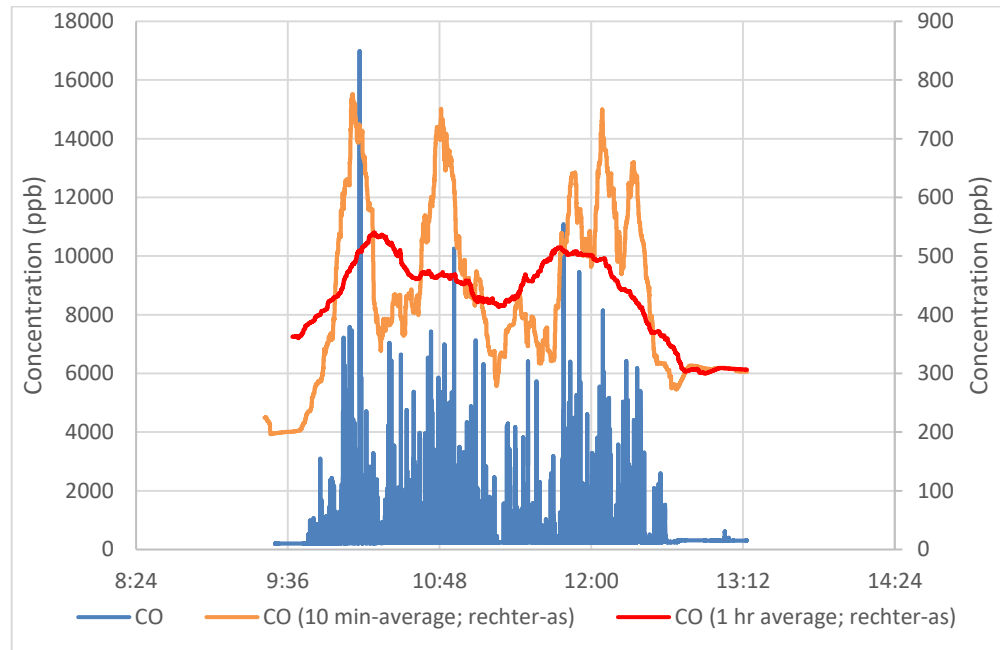
De waargenomen pieken in koolstofmonoxide en methaan moeten toegekend worden aan diverse andere bronnen in de omgeving variërend van passerend verkeer (CO) tot landbouw (CH₄).

Tussen 15:09 en 15.30u is opnieuw stationair gemeten met behulp van de snuivermast op ca 80 meter afstand (hemelsbreed) van de schoorsteenmonding. Op deze meetlocatie was kortstondig een zwakke geur van de kachel waar te nemen. Er zijn geen gassen of aerosolen gedetecteerd op deze locatie. De houtrookpluim gaat ofwel langs de inlaat ofwel de menging van de lucht door objecten (zoals een grote boom en bebouwing) tussen de snuivermast en de schoorsteen is dermate groot dat de concentratieniveaus onder de detectielimiet van de meetapparatuur komt.

De metingen na 15.45u zijn relatief ver van de schoorsteenmonding uitgevoerd (meer dan 300 meter en op de voorinlaat van de meetwagen). De gemeten concentratiepieken (in het bijzonder CO) worden toegekend aan emissies van passerend verkeer, zoals hiervoor beschreven.



Figuur 7: Meting van gassen met behulp van de Aerodyne laser spectrometer. Om 9.45u (UTC) werd de kachel opgestart en daarna onafgebroken doorgestookt. Tot 13.15u zijn de metingen stationair uitgevoerd op 10 meter afstand (benedenwinds). Daarna is de meetwagen diverse malen verplaatst. De rode en gele lijn zijn CO₂ (op de linker-as). De lichtblauwe en donkerblauwe lijn zijn CH₄ (op de rechter-as). De groene en oranje lijn zijn CO (op de rechter-as).

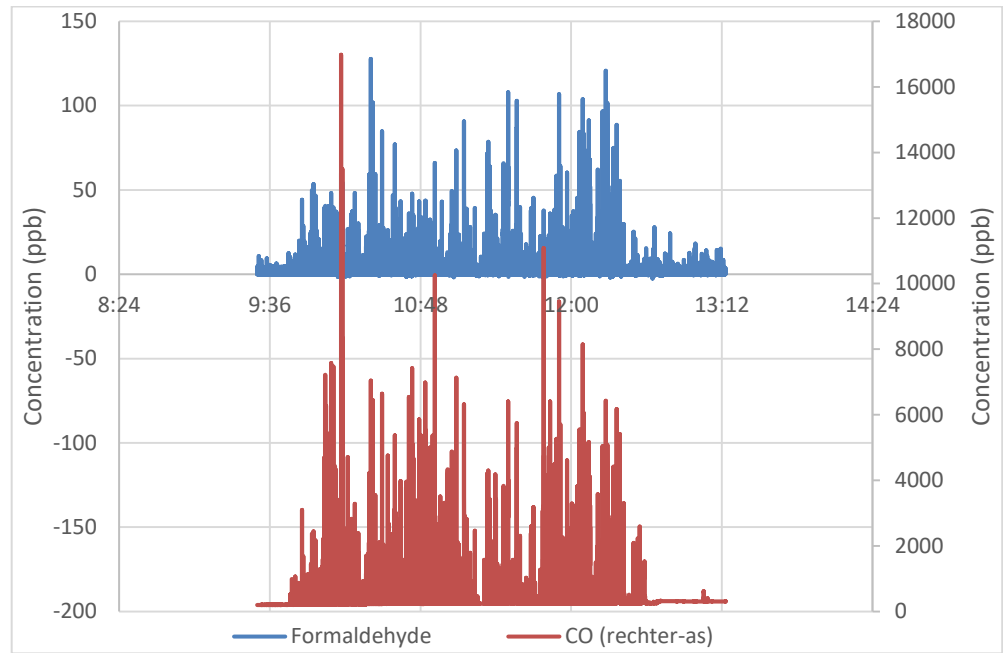


Figuur 8: *Meting van CO met behulp van de Aerodyne laser spectrometer. Om 9.45u (UTC) is de kachel opgestart en de kachel is daarna onafgebroken gestookt. De blauwe lijn representeert de hoge resolutie meetdata (linker-as). De oranje lijn is het lopend gemiddelde in de tijd over 10 minuten (rechter-as). De rode lijn is het lopend gemiddelde in de tijd over 1 uur (rechter-as).*

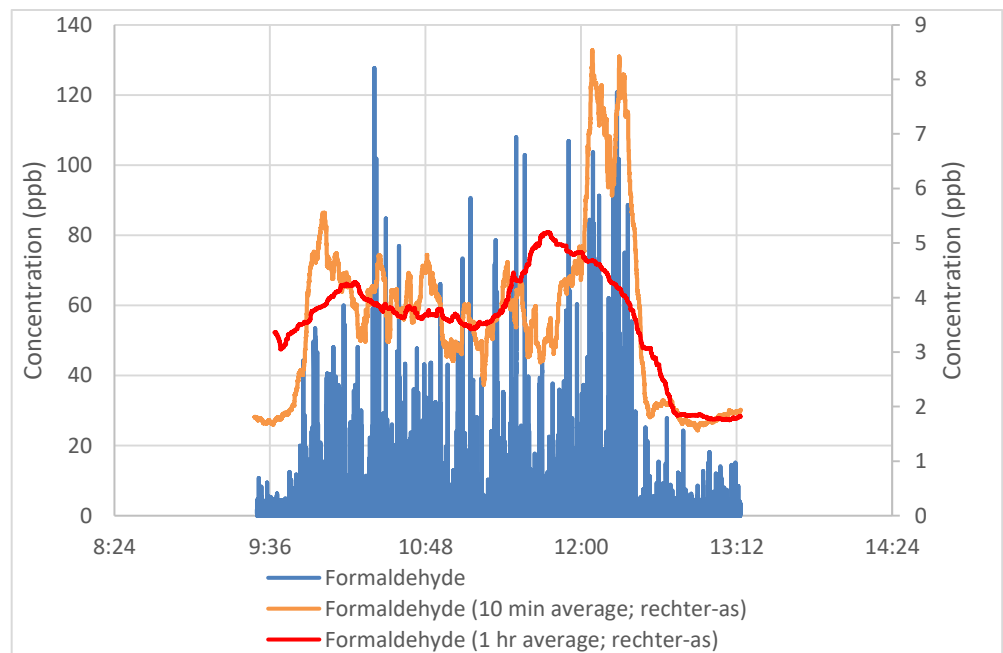
De koolstofmonoxide-metingen zijn nader uitgewerkt naar lopende gemiddelden in de tijd (zie Figuur 8). De concentratie koolstofmonoxide varieert tussen 300 en 750 ppb, op basis van het lopend gemiddelde voor 10 minuten. Deze concentratie loopt maximaal op tot ca 500 tot 550 ppb op basis van het lopend gemiddelde voor 1 uur.

Ook de concentratie formaldehyde (H_2CO) is bepaald met behulp van de laser spectrometer. De concentratie is in het algemeen laag en de hier gerapporteerde concentraties moeten kwalitatief gebruikt worden omdat er geen gecertificeerde kalibratiestandaard voor H_2CO beschikbaar was (er is voor dit rapport gerekend met behulp van de Hitran database). Tijdens de meetdag is formaldehyde technisch goed detecteerbaar in de rookpluim en is er een duidelijk relatie met koolstofmonoxide (Figuur 9). Het lopend gemiddelde over 10 minuten resulteert in concentraties tot ca. 8 ppb. Het lopend uurgemiddelde laat een toename in de concentratie zien tot ca. 5 ppb (Figuur 10).

Hoewel formaldehyde, net als koolstofmonoxide, volgens de literatuur door meer bronnen dan alleen houtstook geëmitteerd kan worden (verkeer, (oudere) gasgestookte ketels en fornuizen), is tijdens diverse andere meetcampagnes met de meetwagen niet tot nauwelijks formaldehyde gemeten, ondanks een zeer grote verscheidenheid van bezochte locaties in Nederland en daarbuiten. Ook benedenwinds van gasgestookte ketels en fornuizen lijkt H_2CO nauwelijks meetbaar in de buitenlucht. Echt grote bronnen, waar wel in forse hoeveelheden H_2CO uitgestoten wordt, zullen (waarschijnlijk) eenvoudig identificeerbaar zijn als 'mogelijk verstorend' voor houtrookmetingen.



Figuur 9: *Simultane meting van formaldehyde (blauw; linker-as) en koolstofmonoxide (rood; rechter-as) met behulp van laser spectrometer.*



Figuur 10: *Meting van formaldehyde met behulp van QCL. De blauwe lijn representeert de hoge resolutie meetdata (linker-as). De oranje lijn is het lopend gemiddelde in de tijd over 10 minuten (rechter-as). De rode lijn is het lopend gemiddelde in de tijd over 1 uur (rechter-as).*

Tabel 4 : Overzicht van achtergrondwaarden, gemeten concentraties in de meetcampagne, 10 m benedenwinds van houtkachelschoorsteen.

Metingen						Hypothetische berekening		
Component	Achtergrond	Piek ^a	10 min ^b	1 uur ^c	Factor toename ^d	Verwachte piek op leefniveau ^e	ruis meting ^f	S/N
Aerosol	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³		µg/m ³	µg/m ³	
Black Carbon	0,2	100	7,5	2,3 - 2,4	500	~2	1	2
PM _{2.5}	3	21	- ^g	11	7	0.5	0.1	5
PM ₁₀	3	22	- ^g	12	7	0.5	0.1	5
Gassen	ppm	ppm	ppm	ppm		ppb	ppb	
CO ₂	400	600	425	422	1.5	~14 x 10 ³ h	100	140
CO	0,2	17	0,75	0,5 – 0,55	85	400	1	400
H ₂ CO	0,002	0,13	0,008	0,005	65	~3	2	1.5

^a Piek: gemeten maximale concentratie direct op de meetapparatuur

^b 10 min: gemeten maximale concentratie als lopend gemiddelde over 10 minuten

^c 1 uur: gemeten maximale concentratie als lopend gemiddelde over 1 uur

^d Berekend o.b.v. de piekconcentratie versus de achtergrondconcentratie

^e Concentratieniveaus indien het gas zo verdund wordt dat de CO piek gelijk is aan 2 keer de achtergrondwaarde

^f Ruis is ingeschat op basis van het meetsignaal van de meetapparatuur zelf

^g Waarde voor 10 minuut-gemiddelde nauwelijks afwijkend van piek-concentraties

^h Voor CO₂ is dit de piek in ppb bovenop 400 ppm achtergrond

Naar analogie met de rookgasanalyse, zoals opgenomen in Tabel 2, zijn ook de meetresultaten op 10 m afstand van de schoorsteen weergegeven in Tabel 4, zowel de achtergrondconcentratie als de maximale piek. Op basis daarvan is de zogeheten 'Factor toename' berekend, zie ook paragraaf 2.6.

Opnieuw is een hypothetische berekening uitgevoerd, om de signaal/ruis verhouding in te schatten en daarmee de kwaliteit van de metingen meer inzichtelijk te maken (zie rechterzijde van Tabel 4): de concentratie CO is genormeerd op het dubbele van de achtergrondconcentratie (2x 0,2 ppm = 0,4 ppm oftewel 400 ppb). Op basis van de gemeten verhoudingen, is een inschatting gemaakt van de verwachte concentratiepiek op leefniveau met behulp van de factor toename (bijvoorbeeld voor formaldehyde: 65/85 x 2 (verdubbeling concentratie CO t.o.v. achtergrond) x 0,002 ppm (achtergrondconcentratie formaldehyde = ca 3 ppb; let op omrekening van ppm naar ppb). In combinatie met de ruis van de metingen (deze ruis is ingeschat op basis van de metingen op de meetapparatuur zelf) is de signaal/ruis verhouding bepaald door de hypothetisch berekende piekconcentratie te delen door de ruis. Hoewel de onderlinge verhouding afwijkt in vergelijking met Tabel 3, liggen de resultaten wel in dezelfde ordegrrootte. Daaruit blijkt eveneens dat de koolstofmonoxide-meting een gunstige signaal/ruis verhouding laat zien.

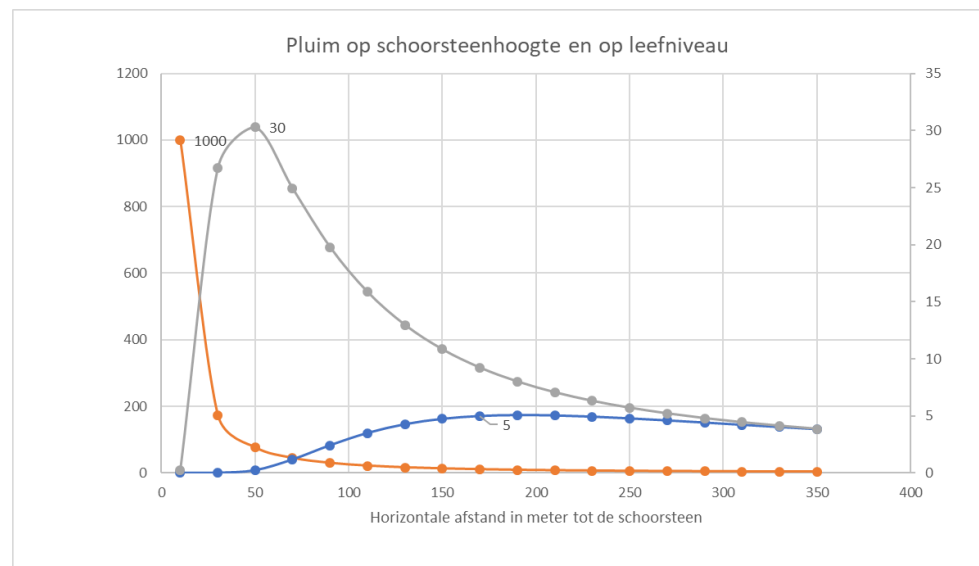
Blootstelling op afstand

De metingen zijn op 10 meter afstand van de schoorsteen uitgevoerd, zodat zichtbaar wordt welke concentratieniveaus er bij eventueel nabij wonende burens te verwachten zijn: de immissie op niveau van de nabije omgeving. In de zoektocht naar meetmethoden voor handhaving is het belangrijk als ook op grotere afstand de immissie geëvalueerd kan worden en succesvol gerelateerd kan worden aan een emitterende bron.

De mobiele metingen bij dit experiment laten zien dat die evaluatie moeilijk is bij een windsnelheid van ca 5 m/s. De concentratie schaaft ruwweg met de inverse van de windsnelheid. Bij een lagere windsnelheid is de concentratie hoger, waardoor de overlast naar verwachting toeneemt.

Naast de windsnelheid zijn ook de afstand en hoogte van de positie van de gehinderde, ten opzichte van de houtrookbron, van invloed op de blootstelling. Om dit te illustreren is Figuur 11 opgenomen: een eenvoudige en illustratieve modelberekening (o.b.v. een eenvoudig Gaussisch pluimmodel), uitgevoerd om het concentratieprofiel in relatie tot de afstand van de bron zichtbaar te maken.

Deze figuur laat zien hoe de concentratie in de rookpluim afneemt op 12 meter hoogte met toenemende afstand tot de bron; dit is dus gelijk aan de uitgevoerde metingen (oranje lijn). Op 10 meter afstand van de bron is de concentratie genormeerd op de fictieve waarde 1000. Met toenemende afstand daalt de concentratie snel door verdunning in de (steeds breder en verticaal uitwaaiierende) pluim. Voor een buurtbewoner die zich op grondniveau bevindt (de blauwe lijn) zien we dat de maximale concentratie circa 5 is en dus een factor 200 lager kan liggen (dan wat er op 10 meter van de schoorsteen gemeten wordt). Als een omwonende op zolder een raam open heeft staan, is deze locatie fysiek dichterbij het centrum van de pluim (de grijze lijn) en daar zal de mogelijke concentratie een orde grootte 30 lager zijn dan bij metingen op 10 meter afstand. Voor de locatie zolder geldt dat op een afstand van circa 50 meter van de schoorsteen de hoogste, berekende concentratie wordt bepaald. Deze locatie is voor iemand op grondniveau aanzienlijk verder van de bron en dan wordt de hoogste concentratie bepaald op circa 150 meter afstand van de bron.



Figuur 11: Modelberekening met de concentratie van een willekeurig gas, in de pluim als functie van de afstand tot de bron. De figuur geeft indicatief de verhouding van de concentraties weer t.o.v. een fictieve waarde, genormeerd op 1000 (oranje lijn geprojecteerd op linker-as; meting op 12 meter hoogte nabij de bron). Op de rechter-as is weergegeven de theoretische situatie op 10 meter hoogte (grijze lijn) en op grondniveau (blauwe lijn). Omdat ook in verticale richting de afstand tot de bron toeneemt, is de theoretisch bepaalde concentratie aanzienlijk lager in deze situaties dan voor de oranje lijn

Een belangrijke kanttekening is dat deze factoren indicatief zijn omdat de oriëntatie van gebouwen ten opzichte van elkaar, objecten die de wind beïnvloeden en de mate van turbulentie in de atmosfeer, allemaal invloed hebben op de houtrookpluim. Rookpluimen kunnen achter een huizenblok naar beneden “gezogen” worden of voor een groot gebouw juist omhoog worden gestuwd (StAB, 2019).

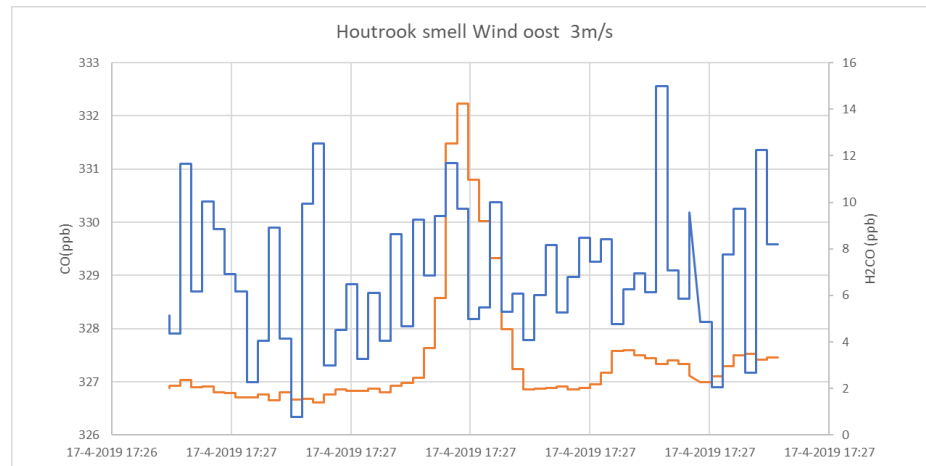
Daarnaast suggereren deze indicatieve berekeningen, dat een rookpluim in veel situaties met een grotere afstand tot de bron, alleen succesvol gedetecteerd kan worden indien de meetinstrumenten een signaal zouden kunnen detecteren dat ordegrrootte 20 tot 200 keer lager is, dan de gemeten concentraties in deze meetcampagne. Hier nogmaals opgemerkt dat deze indicatieve berekeningen van toepassing zijn op de gemeten situatie in deze meetcampagne. Er kan niet op voorhand worden geconcludeerd dat in alle situaties met grotere afstand tot de bron de meetresultaten niet significant zouden zijn.

2.8 Metingen op grotere afstanden

Zoals beschreven in paragraaf 2.5 is met behulp van de meetwagen een aantal aanvullende meetcampagnes uitgevoerd, zowel mobiel als stationair. In al deze gevallen was de afstand tot een mogelijke houtrookbron telkens (veel) groter dan 10 meter. Er is aantal malen 's avonds en 's nachts stationair gemeten op een parkeerplaats in Groet (gemeente Bergen, Noord-Holland). Het doel was om middels deze stationaire metingen na te gaan of houtrookpluimen kunnen worden gedetecteerd. Daarnaast is gedurende twee dagen en een avond mobiel gemeten met de meetwagen, waarbij actief is gezocht naar houtrookpluimen om deze te meten. Tijdens deze metingen is er gemeten op de voor-inlaat van de meetwagen, en daarmee op ongeveer 3 meter hoogte.

Er is tenslotte gedurende drie weken een stationaire meting uitgevoerd op een huisjespark in Noord-Holland, waarvan het vermoeden was dat er met enige regelmaat hout werd gestookt op het betreffende park. Tijdens deze meting is fijnstof en Black Carbon gemeten. Gedurende deze gehele meetperiode op dit huisjespark zijn echter geen significante concentratiepieken gevonden die gerelateerd konden worden aan houtrook. Dit komt deels door ongunstige windrichting indien er werd gestookt, maar vooral doordat er überhaupt relatief weinig werd gestookt in deze meetperiode, ondanks dat het een relatief koude periode was.

Tijdens een mobiele meetcampagne in April 2019 zijn op een avond tussen 17:30u en 21:30u op zes verschillende locaties CO pieken gedetecteerd, terwijl tegelijkertijd houtrook werd geroken. In Figuur 12 en Figuur 13 is een van de gedetecteerde CO pluimen weergegeven. Onder aanname dat de bron een particuliere woning is (er was ook geen andere, mogelijke bron zichtbaar), moet de bron van deze houtrookpluim op een afstand van 50 tot 150 meter van de meetlocatie liggen, onder aanname dat de emissie afkomstig is van een van de wind-opwaarts gelegen woningen. De CO piek is goed te detecteren, maar de gemeten concentratie is niet hoog met 6 ppb boven de achtergrondconcentratie. Formaldehyde werd in het geheel niet gedetecteerd (zie Figuur 12). Dit is, op basis van de eerder gemeten verhoudingen van CO en formaldehyde (H_2CO), conform verwachting (zie ook Tabel 2, Tabel 3 en Tabel 4).



Figuur 12: Metingen in Schoorl benedenwinds van houtstook bron (oranje lijn=CO, geprojecteerd op de linker-as; blauwe lijn=H₂CO, geprojecteerd op de rechter-as)



Figuur 13: Weergave van gemeten CO concentratie in Google Earth. De brede CO-piek, links van gele markering is op basis van geur toegeschreven aan een houtrookpluim

In Figuur 14 is een deel van de meetresultaten weergegeven van stationaire metingen op een parkeerplaats in Groet (Noord-Holland). De meetwagen is een aantal avonden en nachten geparkeerd, terwijl er waarschijnlijk hout is gestookt in de nabije omgeving. Of deze houtrookpluimen de meetinstrumenten in de meetwagen hebben bereikt, is niet vastgesteld op basis van visuele waarneming of geurwaarneming, want de metingen zijn onbemand uitgevoerd. De meetwagen was hierbij uitgerust met een Laser spectrometer van Aerodyne, voor detectie van gassen, en een Magee Aethalometer AE33, voor detectie van Black Carbon. De CO meting resulteerde in een groot aantal pieken, waarvan een deel samenvalt met gemeten piekconcentraties van ethaan (C₂H₆). Ethaan kan vrijkomen bij lekkage van onverbrand aardgas, maar kan ook aan houtstook gerelateerd worden. In tegenstelling tot methaan heeft ethaan geen landbouw gerelateerde bronnen. Hoewel de gemeten pieken mogelijk gerelateerd zouden kunnen zijn aan bronnen van houtrook, kan dit op basis van de simultane metingen van formaldehyde of Black Carbon niet met zekerheid worden vastgesteld: concentratieverhogingen van deze componenten vallen niet samen met elkaar. Deze metingen zijn grotendeels

onbemand uitgevoerd, daarom is dit ook niet op basis van de heersende geur vastgesteld.



Figuur 14: *Metingen op een parkeerplaats nabij Groet gedurende een periode waarin grote kans op 'houtstook' is (bovenste figuur van 20.00u-23.00u; onderste figuur van 20.00u-22.00u). Blauwe lijnen geprojecteerd op linker-as; oranje lijnen geprojecteerd op rechter-as.*

3 Beperking overlast houtrook: schoorsteenhoogte en elektrostatisch filter

Overlast van houtrook kan worden gereduceerd door schone en moderne kachels (zoals Ecodesign-kachels) en schone brandstof (droog hout, geen afvalhout met verf en/of lijmresten) te gebruiken.

Daarnaast wordt in dit verband ook veelvuldig gesproken over het verhogen van een schoorsteen en het plaatsen van een filter in een schoorsteen. Schoorsteenverhoging is een beproefde methode waarmee het rookgas beter verdund wordt, voordat de rookpluim het leefniveau raakt. Relevante aandachtspunten bij deze optie zijn alhier beschreven. Daarnaast is het effect van een elektrostatisch filter gemeten en zijn de resultaten in dit hoofdstuk gerapporteerd.

Overigens zijn voornoemde opties geen volledig overzicht van de mogelijkheden om de overlast van houtkachels te reduceren. Er zijn nog andere opties en aandachtspunten beschikbaar, zoals elders beschreven (Plomp, 2017; Koppejan & De Bree, 2018; StAB, 2019).

3.1 Invloed van de schoorsteenhoogte en belang van trekbe grenzer

De testmethode voor Ecodesign schrijft een schoorsteentrek voor van 12 Pa. In de praktijk wijkt de schoorsteentrek bij veel kachels naar boven af ten opzichte van dit voorschrift, wat het kachelrendement en de emissies van fijnstof, koolstofmonoxide en vluchtige organische stoffen negatief beïnvloedt (Reichert, 2014).

In het algemeen is het advies om de schoorsteen voldoende hoog, bij voorkeur 0,5 meter boven de nok, uit te laten monden (StAB, 2019).

Hier staat tegenover dat een verhoging van de schoorsteen in het algemeen leidt tot een toenemende schoorsteentrek. Hoewel verhoging van schoorstenen een beproefde techniek om een betere verspreiding van de schoorsteen-emissies te bewerkstelligen, kan dat in het geval van een particuliere houtkachel resulteren in een toename van de emissies doordat een (te) sterke schoorsteentrek ontstaat. Deze schoorsteentrek kan weer verbeterd worden door een trekbe grenzer op de schoorsteen te plaatsen. Dit zal in veel situaties een relatief eenvoudig te plaatsen hulpmiddel zijn, waarmee de schoorsteentrek op het gewenste niveau ingesteld en gestabiliseerd kan worden. Trekbe grenzers zijn te koop voor ca 70-170 euro (aanschafprijs zonder installatie).

Het nog verder verhogen van een (correct geplaatste) schoorsteen, bijvoorbeeld van 0,5 meter naar 2 meter boven nok, lijkt echter maar beperkt effect te sorteren, zoals berekend voor een schoorsteenverhoging tot 2 meter boven nok (Koppejan & De Bree, 2018). Dit laat onverlet dat het algemene advies is om de schoorsteen voldoende hoog, bij voorkeur 0,5 meter boven de nok, uit te laten monden, zodat de verspreiding en verdunning van houtrook voldoende wordt bevorderd. Daarnaast is ook aandacht voor de regenkap vereist: veel modellen regenkappen hinderen de vrije uitmonding van houtrook; beter is het om regenkappen te gebruiken die de schoorsteentrek voldoende in stand houden, bijvoorbeeld met behulp van een windvaan (een zogeheten 'gek') of een roterende kap (StAB, 2019).

Het Bouwbesluit zou ingezet kunnen worden om een aantal complexe situaties te voorkomen, zoals plaatsing van lage schoorstenen of plaatsing van schoorstenen nabij kadastrale grenzen.

3.2 Inzet van een ESP

Het wegfilteren van fijnstof uit het rookgas van een (particuliere) houtkachel met een elektrostatisch filter (ESP) lijkt een geschikte techniek te zijn (Plomp, 2017). Er is in de winter van 2018 een praktijkmeting uitgevoerd om de effectiviteit van een dergelijk filter te bepalen. Deze metingen zijn deels geanalyseerd in Paragraaf 2.6 om de technische mogelijkheden van diverse metingen indicatief te bepalen.

3.2.1 Opzet van de metingen

De bemeten ESP was circa 1 jaar oud en was voor het tweede stookseizoen in gebruik. De meetapparatuur en meetopzet is in paragraaf 2.6 beschreven.

De ESP kon alternerend aan- en afgeschakeld worden. Tijdens de meting, die gedurende 6 uur is uitgevoerd, is de ESP diverse malen aan- en afgeschakeld, in afwisseling met het bijvullen van de kachel. Dit laatste is zodanig uitgevoerd, dat de invloed van het bijvullen van de kachel op de stof-emissie en omschakeling van de ESP uitgesloten kan worden: er zijn diverse metingen uitgevoerd met het bijvullen van de kachel, terwijl de ESP aan- of juist afgeschakeld bleef.



Figuur 15 : Foto van de op maat gemaakte schoorsteenkap. De aanvoerleiding (links op de foto) voert stikstof aan ter verdunning van het rookgas, dat in de kap wordt aangezogen. De anti-statische leiding naar de meetwagen is rechts op de foto zichtbaar.

De kachel is gestookt met droog brandhout, haagbeuk, in de vorm van stukhout (=gekloofd hout): 9,4% watergehalte (gewichtsperscentage). Het houtverbruik in de kachel was 2,65 kg hout/uur gedurende de stooktijd. Het aanmaakhout om de kachel op te starten is niet gewogen, dus het houtverbruik bij aanvang van de stookcyclus is niet bekend. De kachel is een HR-kachel (hoog rendement) met secundaire verbranding, ook wel naverbranding genoemd. De kachel voldoet aan enkele milieukeuren: Flamme Verte (Frankrijk) en SINTEF (Noorwegen).

3.2.2 Resultaten praktijkmeting ESP

De meetresultaten van de stofmetingen zijn samengevat in onderstaande tabel voor de metingen met behulp van de SMPS als de Leckel-filter bepalingen.

Tabel 5 : meetresultaten van stof in rookgas achter de ESP (mg/m^3). De concentratie is gecorrigeerd voor de toegepaste verdunning met stikstof en gemeten bij circa kamertemperatuur. Het zuurstofgehalte en het gehalte waterdamp is niet bepaald, dus de gegeven concentratie is bij actuele rookgascondities.

	ESP aan	ESP Uit	ESP aan	ESP uit
meting	SMPS	SMPS	Leckel	Leckel
1	4.5		11	
2	4.1		11	
3		82		145
4		57		79
5	0.2		8	
6	63		65	
7		45		73
8		49		50
9	0.6		6	
10	1.7		22	
11		47		60
12		71		72
13	0.9		9	
14	1.5		6	
15		22		28
16		78		71
17	0.7		7	
18	47		87	
19		29		67
20	0.8		3	
Gemiddelde	11	54	21	72
Gemiddelde (excl 6 en 18)	1.7		9.4	
Emissiereductie ESP	79%		70%	
Emissiereductie ESP (excl 6 en 18)	97%		87%	

Elke meting is uitgevoerd gedurende 15 tot 20 minuten; alleen meetpunt 20 is gedurende 45 minuten gemeten. Vervolgens is ofwel de kachel bijgevuld ofwel de

ESP omgeschakeld. Voor elke meetperiode is de gemiddelde stof-concentratie berekend.

De meetperiodes 6 en 18 vertonen een duidelijk afwijkend profiel: ondanks dat de ESP aanstond, is de stof-concentratie hoog en vergelijkbaar met de metingen waarbij de ESP uit stond. Analyse van de temperatuur bovenin de schoorsteen (deze is continu gemeten en schommelde meestal tussen 100°C en 120°C), laat zien dat dit samenvalt met een sterke stijging van de temperatuur bovenin de schoorsteen (stijging met 30-40°C in circa 7-10 minuten). Dit is niet op andere momenten waargenomen.

Vermoedelijk is dit veroorzaakt door een onregelmatigheid tijdens de verbranding in de kachel: de kachel wordt handmatig gestookt, waardoor het verbrandingsproces niet volledig continu is. Het gebruik van vaste brandstoffen kan een vrij plotselinge, sterke ontbranding veroorzaken, waarbij mogelijk veel stof vrijkomt, die de ESP onvoldoende snel kan verwijderen. Een alternatieve verklaring is dat de toename van het rookgasdebiet door de temperatuurverhoging de werking van de ESP negatief beïnvloed. Deze verklaringen zijn echter onzeker.

3.2.3 *Conclusie van deze meetsessie*

De emissiereductie van stof ten gevolge van het gebruik van een ESP blijkt 70%-79%, afhankelijk van de meettechniek. Als de afwijkende meetpunten 6 en 18 buiten beschouwing worden genomen, is de emissiereductie van stof ten gevolge van het gebruik van een ESP 87%-97%, afhankelijk van de meettechniek.

4 Conclusies

Overlast ten gevolge van houtrook uit kachels is een complex dossier, waarin belanghebbenden direct in hun privé-sfeer betrokken zijn. Enerzijds wordt het stoken van eigen vuur als een vrijheid ervaren. Anderzijds kan in de directe omgeving van de houtgestookte kachel of haard overlast worden ervaren ten gevolge van emissies van houtstook. Deze overlast kan variëren van (geur)hinder tot gezondheidsklachten.

De emissie van houtkachels bevat componenten, die geassocieerd kunnen worden met gezondheidsklachten. Het is echter relevant om hierbij de concentratie in de leefomgeving (blootstellingsconcentratie), te relateren aan de blootstellingsduur. Blootstellingsduur is complex bij overlast ten gevolge van particuliere houtkachels: veel houtstokers stoken onregelmatig en veelal is de stookduur beperkt tot een aantal uren op een dag. Daarnaast beïnvloedt de heersende windsnelheid en windrichting de mate van overlast in de omgeving. Dit compliceert de metingen en mogelijk ook eventuele handhaving.

De mogelijkheden voor objectieve methoden om te bepalen of de overlast bij omwonenden beter gekwantificeerd kan worden op basis van metingen van houtrook-indicatoren is onderzocht. Er zijn in het kader van dit project meerdere type meetcampagnes uitgevoerd om de technische meetmogelijkheden te onderzoeken en om de emissie en immissie van houtkachels in de directe omgeving te meten. Dit omvatte zowel metingen aan de schoorsteen (zie paragraaf 2.6), als metingen zeer nabij de schoorsteen (in de rookpluim op 10 meter afstand hemelsbreed; zie paragraaf 2.7) als ook mobiele en stationaire metingen op (aanzienlijk) grotere afstanden van mogelijke houtrookbronnen (zie paragraaf 2.8). Een belangrijk argument om op enige afstand van een schoorsteen te meten, is het verschijnsel dat dan gecondenseerde koolwaterstoffen ontstaan en bijdragen aan de fijnstof-uitstoot van houtkachels. Dit is relevant voor de immissie in de leefomgeving, oftewel de ervaren overlast in de omgeving.

Technisch blijken zowel fijnstof, Black Carbon, formaldehyde als koolstofmonoxide goed te meten aan en nabij de schoorsteen, dus op 10 meter afstand van de schoorsteen in de rookpluim. Meettechnisch gezien blijkt koolstofmonoxide de beste indicator als er een houtrookpluim aanwezig is: het verschil in de achtergrondconcentratie als de gemeten concentratie bij het stoken van hout is voldoende significant en daarnaast is de signaal/ruis verhouding gunstig. Metingen van koolstofmonoxide kunnen gecombineerd worden met een parallelle meting van Black Carbon, dat eveneens een geschikte indicator is om houtrook te meten. Beide indicatoren zijn niet exclusief aan houtrook toe te wijzen. Door beide metingen te combineren kan waarschijnlijk wel met meer zekerheid houtrook als bron aangewezen worden.

Voor het meten van koolstofmonoxide zijn ook relatief goedkope sensoren beschikbaar. Als deze sensoren technisch geschikt zijn en voldoende geaccrediteerd kunnen worden, dan biedt dat mogelijkheden voor goedkope metingen. Maar koolstofmonoxide is niet uniek voor houtrook en kent meer mogelijke bronnen. Het toewijzen van een immissieconcentratie aan een (houtkachel)bron kan hierdoor worden bemoeilijkt. Een combinatie van CO met andere componenten, bijvoorbeeld Black Carbon (of eventueel formaldehyde indien de bron voldoende nabij is) zou een

route naar een meetinstrument kunnen zijn. Voor zowel Black Carbon als formaldehyde zijn (nog) geen (goedkope) sensoren beschikbaar.

Metingen nabij de schoorsteen om het effect op de leefomgeving vast te stellen (zoals bij burens op 10 meter afstand) zijn wellicht praktischer dan metingen direct aan de schoorsteen van de houtkachel: er dient dan namelijk toegang te worden verleend tot de schoorsteen en mogelijk slaagt dat niet altijd. Metingen op grotere afstanden van de schoorsteen en op leefniveau lijken daarom essentieel. Metingen in de leefomgeving stellen wel veel hogere eisen aan de meetinstrumenten: de concentratie kan een veelvoud lager liggen dan ter hoogte van de schoorsteen. Op grond van metingen zal het dan ook veel minder eenvoudig zijn om overlast van houtrook vast te stellen.

In geval van Black Carbon zou een theoretische overlastschaal opgesteld kunnen worden vanwege het verschil in concentratie tijdens houtstook in vergelijking met de achtergrondconcentratie. In het geval van formaldehyde, CO en fijnstof is de concentratie bij houtstook in vergelijking met de achtergrondconcentratie onvoldoende hoog om een theoretische overlast schaal op te stellen. Gemeten concentraties van de individuele houtrookindicatoren liggen beneden de opgestelde normwaarden (waarbij opgemerkt dat er voor Black Carbon geen normen zijn).

Samenvattend:

Het is technisch goed mogelijk om op basis van indicatoren als koolstofmonoxide, fijnstof, Black Carbon of formaldehyde, de immissie ten gevolge van houtrook uit een kachel of haard te meten, in ieder geval in de houtrookpluim op 10 meter afstand van de schoorsteenmonding. Vanwege de gunstige signaal/ruis verhouding, is koolstofmonoxide een van de meest geschikte indicatoren. Idealiter worden metingen van koolstofmonoxide aangevuld met metingen van Black Carbon of eventueel formaldehyde.

In geval van Black Carbon zou een theoretische overlastschaal opgesteld kunnen worden vanwege het verschil in concentratie tijdens houtstook in vergelijking met de achtergrondconcentratie. Of deze theoretische grenswaarden bij blootstelling gerelateerd zijn aan gezondheidsklachten moet in de praktijk onderzocht worden. Het verdient aanbeveling om daarbij niet enkel het overlastaspect gezondheidsklachten mee te nemen, maar overlast in brede zin. Bij een dergelijke vormgeving kan er ook nog rekening gehouden worden met geringe afstanden tussen de houtrookbron en de gehinderde, en de kwaliteit van het stoken (slechte stook leidt tot meer emissies), wat resulteert in een toenemende immissieconcentratie op het niveau van de gehinderde.

Tenslotte, er zijn meerdere mogelijkheden om houtrook-overlast te reduceren, zowel met behulp van technische aanpassingen als gedragsmatige aanpassingen door de stoker. De kwaliteit van de brandstof en de installatie zijn daarbij van belang. Het verhogen van schoorstenen kan een oplossing bieden, maar hierbij is nadrukkelijk aandacht voor de schoorsteentrek van belang. Een te hoge schoorsteentrek leidt tot een toename van emissies; dit kan (deels) worden opgelost door toepassing van een trekbe grenzer op een schoorsteen. Daarnaast blijkt dat een elektrostatisch filter goed in staat is om de emissie van fijnstof (ook wel aerosolen)

aanzienlijk te reduceren. Ook hiermee wordt de overlast van fijnstof richting de leefomgeving gereduceerd.

5 Literatuur

Buro Blauw.(2009): *Effecten luchtemissies houtkachels sfeerhaarden en vuurkorven*. Rapportnummer BL2009.4503.01

Buro Blauw (2017): *Monitoring overlast houtkachels, Zutphen. Metingen van Black Carbon concentraties bij twee woningen*. 4 juli 2017, Rapportnummer BL2017.8340.02-V01

Carlsson, S.; Gustavsson, L.; Johansson, M.; Persson, H.; Andersen, J.S.; Bjerrum, M.; Anders, K.S.; Hvidberg, R.B. (2017): *Measurements of emissions of EC, OC and other pollutants from residential wood combustion in the Nordic countries*. Nordic Working Papers. ISSN 2311-0562

Denier van der Gon, H.; Bergström, R.; Fountoukis, C.; Johansson, C.; Pandis, S.N.; Simpson, D.; Visschedijk, A.J.H. (2015): Particulate emissions from residential wood combustion in Europe – revised estimates and an evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 6503-6519, 2015. doi:10.5194/acp-156503-2015

Denier van der Gon, H.; Henzing, B.; Kranenburg, R.; Visschedijk, A.; Schaap, M. (2018): Houtstook en de concentraties fijnstof. *Tijdschrift Lucht*, nummer 2, Juni 2018, pag. 19-22.

Dimosthenis A.S., S.P. Karakitsios, A. Gotti (2011): *Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk*. *Env. Int* 37 (2011) 743-765

Dusseldorp, A, M. van Bruggen (2007): *Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu, een update*. RIVM rapport nr 609021043/2007

Dusseldorp, A., P.H.Fischer, M,B,A, Dijkema, M.M. Strak (2014). *Luchtkwaliteitsindex aanbevelingen voor de samenstelling en duiding*. RIVM rapport nr 2014-0050

EC (2015): *COMMISSION REGULATION (EU) 2015/1185 of 24 April 2015 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to Ecodesign requirements for solid fuel local space heaters*

GGD (2015) - GGD Groningen in samenwerking met GGD Drenthe en GGD Fryslân: *Overlast door houtrook; onderzoek naar het meten van fijnstof als hulpmiddel bij het beoordelen van klachten over houtstook*.

GGD Kennemerland (2017): *Houtrook. Resultaten van het panelonderzoek*.

Hagens, W.I., A.J.P. van Overveld, P.H. Fischer, M.E. Gerlofs-Nijland, F.R. Cassee (2011) *Gezondheidseffecten van houtrook*. RIVM Rapport 609300027/2011.

Infomil (2019): *Hinder door houtkachels*. Informatie, literatuur en jurisprudentie beschikbaar op <https://www.infomil.nl/>

(sublink:

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/functies/hinder-houtkachels/#heaa66717-0e37-d109-24ea-b9dde7ea3ec7>; laatst bezocht maart 2020)

Janssen, N.A.H, G. Hoek, M. Simic-Lawson, P. Fischer, L. van Bree, H. ten Brink, M. Keuken, R.W. Atkinson, H. Ross Anderson, B. Brunekreef and F.R. Cassee (2011): *Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM₁₀ and PM_{2.5}*. EnvironHealth Perspect., 119,12, 1691-1699.

Kelz, J.; Brunner, T.; Obernberger, I.; Jalava, P.; Hirvonen, M.-R. (2010): *PM emissions from old and modern biomass combustion systems and their health effects*. 18th European Biomass Conference and Exhibition, 3-7 May 2010, Lyon, France. BIOENERGY 2020+

Koppejan, J.; De Bree, F. (2018): *Kennisdocument Houtstook in Nederland*. September 2018, Procede Biomass BV en Buro Blauw BV. Project PB201704

Mathijssen, E.A.M., R.P. Bogers, K.J. Rijs (2018): *Gevolgen van Houtstook voor het binnenmilieu*. RIVM-rapport (2018-0170)

Nussbaumer, T (2010): Emissionsfaktoren von Holzfeuerungen und Klimaeffekt von Aerosolen aus der Biomasse-Verbrennung. 11. Holzenergie-Symposium, 17. September 2010, ETH Zürich, 2010, ISBN 3-908705-21-5, 67–90

Plomp, A.J. (2017): *Mogelijkheden voor emissiereducties bij houtkachels*. ECN-N-17-006, maart 2017.

Reichert, G. (2014): *Investigation of user behavior and operating conditions of residential wood combustion (RWC) appliances and their impact on emissions and efficiency*. BIOENERGY 2020+ GmbH. www.bioenergy2020.eu

Salthammer, T., T. Schripp, S. Wientzek, M. Wensing (2014): *Impact of operating wood-burning fireplaces ovens on indoor air quality*. Chemosphere 103: 205-211.

Salthammer, T, S. Mentese, R. Marutzky (2010): *Formaldehyde in the indoor environment*. Chem. Rev. 2010, 110, 2536-2572

SHE 18/596: *ECLI:NL:RBOBR:2019:4055*. Rechtbank Oost-Brabant, 12 juli 2019, zaaknummer SHE 18/596.

StAB (2019): *Gezondheids- en hindereffecten door houtkachels van particulieren*. STAB Kennisdocument door E. Feringa, I. van der Wal, R. de Vogel, C. Coenrady. Stichting Advisering Bestuursrechtspraak. 2019, publicatie beschikbaar najaar 2019

TNO (2016): *Vernieuwd Emissiemodel Houtkachels*. Auteurs: B.I. Jansen en R. Dröge, TNO 2016 R10318, projectnr 060.03100

VMM (2016): *Inschatting van de bijdrage van houtverbranding door burgers aan luchtverontreiniging in Vlaanderen*. Door M. van Poppel, W. Aerts, B. Bayens, R. Brabers, J. Peters, M. Spruyt, J. van Laer. 2016/MRG/R0825

WHO (2010): *WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. WHO, 2010, ISBN 978 92 890 0213 4

WHO (2013). Health risks of air pollution in Europe –HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide.

6 Ondertekening

Petten, 26 maart 2020



Dr. J.E. Strijk
Research manager

TNO



Arjan Plomp
Auteur

(in samenwerking met Pim van den Bulk, Arnoud Frumau,
Marcus Blom, Arjan Hensen)