



Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu  
*Ministerie van Volksgezondheid,  
Welzijn en Sport*

A. van Leeuwenhoeklaan 9  
3721 MA Bilthoven  
Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

KvK Utrecht 30276683

T 030 274 91 11

[info@rivm.nl](mailto:info@rivm.nl)

**Ons kenmerk**

2020-0034/VLH/HW/CRO/NvV

**Behandeld door**

E. van Putten

N. van Veen

Milieuongevallendienst (MOD)

[edith.van.putten@rivm.nl](mailto:edith.van.putten@rivm.nl)

[niels.van.veen@rivm.nl](mailto:niels.van.veen@rivm.nl)

## **RIVM metingen bij brandproeven Oudewater**

### **Resultaten en toelichting**

**24-26 juni 2019**

**Bestemd voor:** IFV onderzoeksleiders brandexperimenten Oudewater:

- Dhr. H. Hazebroek
- Dhr. L. de Witte
- Dhr. T. Geertsema

25 september 2019

## **RIVM metingen bij brandproeven Oudewater**

### **resultaten en toelichting**

**24-26 juni 2019**

Met medewerking van:  
TNO - Applied Environmental Chemistry

#### Disclaimer

Deze conceptrapportage bevat een samenvatting van meetresultaten van het onderzoek dat door de Milieuongevallendienst (MOD) van het RIVM is uitgevoerd bij de IFV brandproeven op 24, 25 en 26 juni 2019 te Oudewater. Deze technische rapportage is bedoeld als toelichting van de ruwe meetresultaten bij de brandproeven om duiding en interpretatie van gegevens mogelijk te maken. Sommige meetresultaten zijn beïnvloed doordat meet-en monstername apparatuur is toegepast bij extreme omstandigheden waar deze apparatuur niet voor ontworpen of gekalibreerd is. Wanneer dit een rol speelt is dit weergegeven in dit document. De rapportage is niet geschreven voor publiekscommunicatie. Er is geen duiding gegeven over (gezondheids)risico's van de verschillende gemeten waarden.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding—4</b>
<b>2</b>	<b>Monstername en metingen—4</b>
<b>3</b>	<b>Brandexperimenten—6</b>
<b>4</b>	<b>Uitwerking meet- en monsternameresultaten—7</b>
4.1	Inleiding—7
4.2	Luchtstofbemonstering—7
4.2.1	Achtergrond informatie—7
4.2.2	Concentratie bepaling totaalstof—9
4.2.3	Elementen screening van luchtstof met XRF—11
4.3	Analyse aldehyde cartridges—12
4.3.1	Achtergrond informatie—12
4.3.2	Interpretatie van meetresultaten—12
4.4	FTIR analyses—13
4.4.1	Achtergrond informatie—13
4.4.2	Interpretatie van meetgegevens en knelpunten—14
4.4.3	Betrouwbaarheid van de meetgegevens—15
4.4.4	Grafiek A: CO en CO <sub>2</sub> concentraties—16
4.4.5	Grafiek B: HCN in combinatie met CO metingen—19
4.4.6	Grafiek C: Alkanen—22
4.4.7	Grafiek D: Overige verbindingen—25
4.5	VOC's middels cannister bemonstering—28
4.5.1	Knelpunten bij monstername en analyse—28
4.5.2	Rapportage en resultaten—28
4.6	Fijnstof deeltjesgrootte metingen—29
4.6.1	Resultaten en interpretatie—29
4.7	Indicatief beeld handheld apparatuur en waarnemingen—30
4.7.1	Achtergrond informatie—30
4.7.2	Verschil in CO concentraties in de ruimte 1.26—31
4.7.3	Beeld CO, VOC en detectie van isocyanaten in ruimte1.26—31

## 1 Inleiding

Het IFV heeft eind juni 2019 brandproeven uitgevoerd in een leegstaande flat te Oudewater. Het doel van de testen was in beeld te brengen hoe de rookverspreiding en –samenstelling wordt beïnvloed door deurposities en brandweeroptreden. Deurposities werden afgewisseld door deze tijdens de brand te openen en vervolgens te sluiten of in open positie te houden. Deurposities van zowel de brandruimte als omliggende ruimten werden hierin meegenomen.

De Milieuongevallendienst (MOD) van het RIVM is op maandag 24 juni, dinsdag 25 en woensdag 26 juni gevraagd te ondersteunen bij het verrichten van specialistische metingen bij deze brandexperimenten. In deze dagen zijn vijf brandexperimenten uitgevoerd. De resultaten van de metingen zijn uitgewerkt in deze rapportage.

## 2 Monstername en metingen

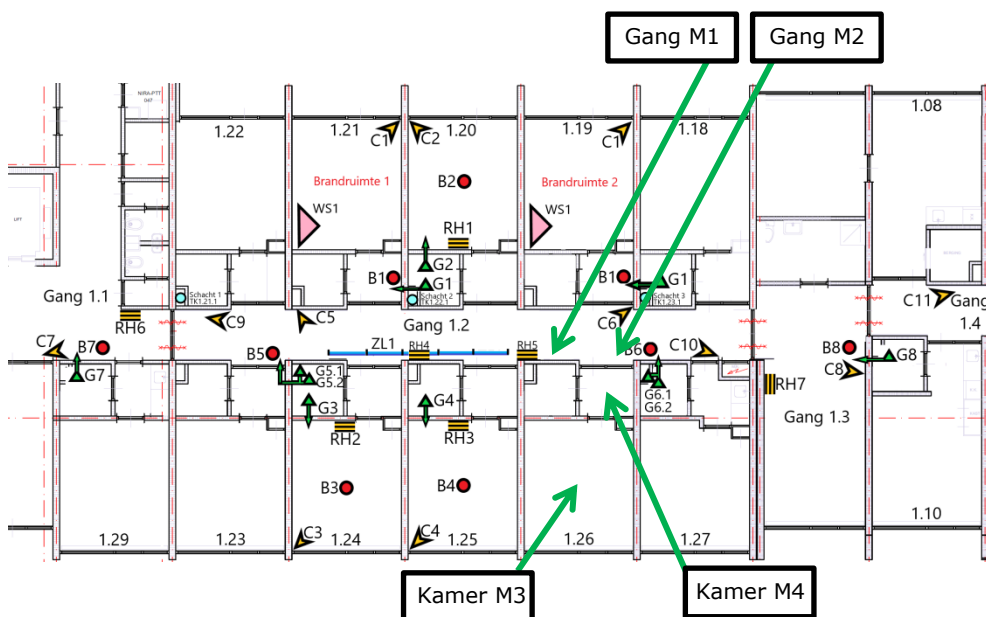
In overleg met het IFV heeft de MOD zich bij de brandexperimenten gericht op het meten van de volgende onderdelen op de gang:

- anorganische gassen
- aldehyden en ketonen
- vluchtige organische componenten (VOC)
- totaalstof (van rook deeltjes) en elementenscreening daarvan

Aanvullend zijn metingen verricht in ruimte 1.26 waarvan de verwachting is dat deze waardevol zijn voor de beeldvorming:

- fijnstof met onderscheid in deeltjesgrootte
- isocyanaten, VOC's en CO m.b.v. handheld detectieapparatuur

In Afbeelding 1 is een overzicht van de verdiepingvloer getoond. De brandruimten zijn hier zichtbaar (rode tekst brandruimte 1 & 2), net als de locaties waar de metingen zijn uitgevoerd (groene pijl). In Tabel 1 staat een overzicht van de bemonsterde locaties, hoogte en meet- of monsternamemiddel.



Afbeelding 1: plattegrond van verdiepingvloer met locatie van brandexperimenten en meetlocaties.

Tabel 1: Overzicht van locatie, hoogte en soort meting / monstername

Meet- en Monstername locaties (M)	Hoogte meetpunt	Meet – en monstername methode
M1 gang	1.50m	- Aldehyde cartridge bemonstering - FTIR meting gassen - Luchtstofbemonstering met KFG voor totaalstof en XRF elementenscreening
M2 gang	1.50m	- Lucht bemonstering met cannisters voor GCMS analyse op VOC's
M3 kamer 1.26	± 20 cm & 1.20 m	- VOC detectie met handheld PID meter - Isocyanaten detectie met handheld - CO detectie met handheld elektrochemische cel
M4 kamer 1.26	± 1.20 m	- VOC detectie met handheld PID meter - CO detectie met handheld elektrochemische cel

### 3 Brandexperimenten

De MOD heeft bij vijf brandexperimenten bemonsterd en gemeten. Bij deze brandexperimenten is steeds eenzelfde type tweezitsbankstel op dezelfde wijze tot ontbranding gebracht. De brandruimtes waren verder vrij van brandbare materialen.

Per experiment is de brandlocatie gewisseld tussen ruimte 1.21 en 1.19. Factoren die invloed hebben op brandontwikkeling en rookverspreiding wisselden elkaar af. Zulke factoren zijn bijvoorbeeld openingstijden van de deur naar de brandruimte, offensieve brandweer inzet (gebruik water en overdruk ventilator) of defensieve brandweerinzet (deur brandruimte dicht en geen water op de brand).

In onderstaande tabel is een selectie van brandontwikkeling- en rookverspreiding factoren getoond inclusief relevante tijdstippen. Deze relevante tijdstippen zijn ook zichtbaar in individuele analyses

Tabel 2: overzicht tijden experimenten en gebeurtenissen

Experiment nr	1	2	3	4	5
Datum & tijd	24-6 middag	25-6 ochtend	25-6 middag	26-6 ochtend	26-6 middag
Brandruimte	1.21	1.21	1.19	1.21	1.19
Brandweerinzet	Geen Nulme- ting	Offensief	Defensief	Defensief	Offensief
Start brand	13:21:00	10:38:00	15:01:00	10:30:00	15:00:00
Deur brandruimte open naar gang	13:26:00	10:43:00	15:06:00	10:35:00	15:05:00
Deur brandruimte weer dicht	n.v.t.	10:43:30	n.v.t.	10:35:30	n.v.t
Brandweer betreedt brandruimte		10:59:30	15:38:30	11:05:00	15:21:30
Brand uit	-	11:00:00	-	-	15:22:32
Ventileren brandruimte en gang		11:03:00	15:43:00	11:08:30	15:25:00
Start Aldehyden	13:07:00	10:27:00	15:01:00	10:30:00	15:00:00
Stop Aldehyden	14:47:00	10:54:00	15:07:30	10:45:00	15:06:40
Vullen Cannister 1	13:28:00	10:43:00	N.A.*	10:34:00	15:04:00
Vullen Cannister 2	13:35:00	10:45:00	N.A.*	10:37:00	15:07:00
Vullen Cannister 3	13:36:30	10:53:00	N.A.*	10:45:00	15:15:00
N.b: Tijden genoteerd als uur:minuten:seconden. Seconden zijn vaak afgerond op halve minuten					
* N.A.= Niet geanalyseerd.					

## 4 Uitwerking meet- en monsternameresultaten

### 4.1 Inleiding

De MOD van het RIVM voert regelmatig metingen uit bij branden. Rook bestaat altijd uit een zeer complex mengsel van stoffen in de vorm van gassen, stofdeeltjes en druppeltjes. De meet-en monsternamelocatie bij dit experiment is t.o.v. gemiddelde MOD metingen erg dicht bij de bron. Hierdoor zijn bij sommige proeven extreem hoge concentraties stoffen en stofdeeltjes aanwezig. De toegepaste apparatuur is niet in alle gevallen ontworpen voor gebruik in dergelijke extreme omstandigheden.

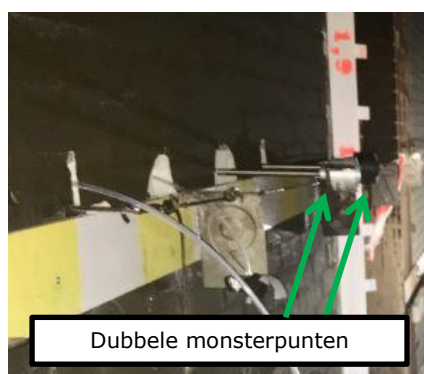
Meetresultaten kunnen in enkele gevallen afwijken van het beeld dat logisch of representatief lijkt. Afwijkingen in meetresultaten zijn mogelijk doordat bijvoorbeeld filters met roet verzadigd zijn geraakt. Roet kan (ongewenst) stoffen afvangen waar juist naar gemeten wordt. Wanneer afwijkingen zijn geconstateerd die meetresultaten kunnen beïnvloeden is dit beschreven in dit document. Bij de interpretatie van resultaten dient rekening te worden gehouden met de mogelijkheid van meetafwijkingen.

Bij monsternamen worden standaard zogenaamde 'blanco' monsters genomen. Dit blanco monster is nodig om de achtergrondconcentratie te bepalen om vast te kunnen stellen wat de werkelijke verhoging is. Omdat bij dit experiment meetapparatuur met bijzonder hoge concentraties stoffen geconfronteerd zijn blijven de achtergrondwaarden bij alle metingen in orde van een factor 1000 (of meer) lager dan de monsters. Ten behoeve van leesbaarheid en overzicht van dit document is daarom besloten deze blanco resultaten niet in deze rapportage te tonen. De blanco resultaten zijn (wanneer van toepassing) wel beschikbaar voor IFV.

### 4.2 Luchtstofbemonstering

#### 4.2.1 *Achtergrond informatie*

Bij deze luchtstofbemonstering is gebruik gemaakt van een nauwkeurige luchtpomp die een aangegeven debiet lucht via een filter bemonstert. De bemonstering is dubbel uitgevoerd om de variatie tussen monsters inzichtelijk te krijgen. De filterkoppen bemonsterden lucht op 1.50m hoogte op de gang (locatie M1 op de plattegrond van Afbeelding 1).



Afbeelding 2: monsterpunten op locatie M1

Na monsternamen kunnen de filters o.a. geanalyseerd worden op soorten elementen, aanwezigheid van metalen, hoeveelheid fijnstof, PAK en dioxinen. Bij deze brandproeven is gekozen voor een elementenscreening en een bepaling van de totale massa (fijn)stof.

Bij alle experimenten zijn de filterpompen afgeslagen. Het afslaan van de filterpompen is direct toe te wijzen aan volledige verzadiging/verstopping van de filters, die vrijwel geen lucht meer doorlaten. Met uitzondering van een experiment zijn beide filterpompen bij het begin van de brand aangezet.

De filters worden na monsternamen gedroogd, gewogen en gescreend met XRF techniek. De filters bevatten naar verhouding met 'normale omstandigheden' extreem dikke lagen roet. Onderstaande foto toont dat een roetlaag in orde van mm dikte op de filter zichtbaar is.



Afbeelding 3: twee gebruikte filters en rechts een detail van een van de filters waarbij de roetlaag dikte zichtbaar is.



#### 4.2.2 Concentratie bepaling totaalstof

In deze paragraaf worden de hoeveelheden luchtstof per m<sup>3</sup> uitgewerkt. Hierbij wordt gekeken naar de totale som van de massa luchtstof. Er is bij deze analyse geen onderscheid tussen bijvoorbeeld PM10 en PM 2,5 of roetvlokken.

Door de extreme omstandigheden (zoals rookdichtheid) waarin bemonsterd is komen afwijkingen voor die hierna zijn toegelicht.

##### 4.2.2.1 Interpretatie van de meetresultaten

Nadat een aantal experimenten is uitgevoerd constateerde het monstername team dat de filterpomp iedere keer vrij snel afsloeg nadat de deur met de brandruimte werd geopend. Dit is ook het moment dat de rook met een hoge deeltjesdichtheid de gang in stroomt. Deze dichte rook zorgt voor een snelle verzadiging van de filters. De filterpompen hebben dus in eerste instantie alleen relatief schone lucht aangezogen. De gemeten waarden in µg/m<sup>3</sup> stof zijn een gemiddelde van relatief schone lucht en rooklucht met een hoge stofdichtheid. Deze waarden zijn daarmee niet representatief voor de waarden die in rook aanwezig is nadat de deur geopend is. Analyse 10 is hierop een uitzondering, dit wordt hierna verder toegelicht.

##### 4.2.2.2 Resultaten van de filterweging

Tabel 3: Overzicht van de massa stofdeeltjes per filter.

Analyse nr	Datum & experiment nr	µg stof per filter	m <sup>3</sup> bemonsterde lucht	mg/m <sup>3</sup>
<b>1</b>	24-jun exp1	8887	0,55	-
<b>2</b>	24-jun exp1	14540	0,55	26,44
<b>3</b>	25-jun exp2	7521	0,244	30,82
<b>4</b>	25-jun exp2	5515	0,98	5,63
<b>5</b>	25-jun exp3	8890	0,138	64,42
<b>6</b>	25-jun exp3	9850	0,142	69,37
<b>7</b>	26-jun exp4	11620	0,183	63,50
<b>8</b>	26-jun exp4	11092	0,192	57,77
<b>9</b>	26-jun exp5	7825	0,139	56,29
<b>10</b>	26-jun exp5	9166	0,01	916,60

##### 4.2.2.3 Toelichting van afwijkingen

Doordat de bemonstering dubbel is uitgevoerd, is ook de variatie en daarmee de betrouwbaarheid van de meetmethode zichtbaar. Daarnaast hebben wij de mogelijkheid gebruikt om bij sommige experimenten te onderzoeken hoe we beter konden bemonsteren. Dit verklaart een aantal afwijkingen. De volgende afwijkingen worden apart toegelicht:

- Analyse 1 van experiment 1 is mislukt doordat roet van het filter brak voordat het gewogen is. De overgebleven waarden zijn nog vermeld, maar concentraties zijn achterwege gelaten.

- Bij analyse 4 van experiment 2 zien we een erg grote afwijking in de meetresultaten van de twee filtermetingen. Deze afwijking komt doordat het pompvermogen bij analyse 4 verhoogd is ingesteld. Doel was om te kijken of er meer deeltjes konden worden afgevangen voordat de pomp afsloeg. Het tegenovergestelde gebeurde, de pomp sloeg eerder af waardoor er minder lucht en deeltjes bemonsterd zijn. Daarom is deze instelling daarna niet meer toegepast. Dat de hoeveelheid bemonsterde hoeveelheid lucht hoger is valt te verklaren doordat de pomp vooral schone lucht heeft bemonsterd. Dit was mogelijk voordat de deur met de brandruimte open ging en dichte rook de gang in stroomde. De metingen van analyses 4 zijn niet representatief en zijn daarom licht gekleurd weergegeven.
- Bij experiment 1, 3 en 4 zijn de instellingen van beide pompen identiek geweest.
- Bij experiment 5 is de filterpomp voor analyse nr 10 pas aangezet (direct) nadat de eerste pomp voor analyse nr 9 was afgeslagen. Analyse nr 10 heeft daarom uitsluitend dichte rook bemonsterd en is geen gemiddelde van relatief schone en dichte rook. Analyse 10 geeft daarmee het meest betrouwbare en representatieve beeld van de werkelijke massa stof per m<sup>3</sup> lucht in dichte rook.  
De pomp sloeg na 10l lucht af door verzadiging/verstopping van het filter, terwijl de andere pompen 150-500l bemonsterden voordat ze afsloegen. De hoeveelheid stof in de rooklaag zelf komt in het bereik van gram per m<sup>3</sup>.

Meting nr 10 is de meest representatieve meting voor de stof-dichtheid in de rookwolk. Het is aannemelijk dat deze stofdichtheid ook bij de andere brandproeven in de dichte rook in de buurt van de 1 gram/m<sup>3</sup> zijn geweest.

#### 4.2.3 Elementen screening van luchtstof met XRF

De elementen screening is uitgevoerd m.b.v. XRF techniek. Deze techniek geeft een indicatief beeld welke elementen in welke concentratie in het filter aanwezig zijn. De berekening naar  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  komt op dezelfde wijze tot stand als de totaalstof wordt berekend. Ook hier gelden vaak dezelfde afwijkingen. Afwijkingen die niet gelijk zijn aan de resultaten van de concentratiebepaling totaalstof zijn hierna toegelicht:

- De XRF meet vooral de bovenste laag van de roetlaag op het filter. Bij dikke rookstoflagen met een onregelmatig oppervlak op het monster kunnen afwijkingen ontstaan die meetresultaten beïnvloeden.
- Net zoals de resultaten van de luchtstofconcentratie berekeningen zijn ook bij deze analyse pompdebiet en moment van inschakelen van grote invloed op de resultaten. Ook hier geeft analyse nr 4 van experiment 2 een onjuist beeld doordat verhoudingsgewijs veel schone lucht en meer lucht is bemonsterd. Analyse 10 van experiment 5 heeft een zeer beperkte hoeveelheid lucht bemonsterd waardoor de concentraties onevenredig hoog zijn. Analyse 1 wordt in tegenstelling tot de stofanalyse niet (of beperkt) beïnvloed door de gebroken roetlaag.
- De duplex uitgevoerde monsters van experimenten 1, 3 en 4 vertonen qua meetresultaat duidelijke overeenkomsten en geven daarmee een betrouwbaar beeld van de luchtconcentraties.

Wanneer de MOD wordt ingezet bij grote branden, wordt de XRF techniek toegepast o.a. toegepast om te screenen hoeveel (element) chloor is vrijgekomen. Chloorconcentraties hoger dan  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  vormen een aanwijzing dat er dioxines bij de brand kunnen zijn vrijgekomen. De brandexperimenten tonen ook hoge concentraties van het element chloor. Door de hoge verbrandingstemperatuur bij de experimenten is het niet zeker of er ook bij deze branden dioxines zijn vrijgekomen. De bij filters van dit experiment zijn niet geanalyseerd op dioxines.

Tabel 4: waarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  van elementen. Waarden beneden de detectielimiet worden aangegeven als <DL. Waarden die als '0' staan aangegeven zijn naar beneden afgerond (bijv 0,49 wordt als 0 aangeduid). Analyse 4 geeft een niet representatief beeld. Analyse 10 heeft uitsluitend rook bemonsterd met een hoge rookdichtheid en heeft daardoor afwijkend hoge waarden.

analyse nr	24-jun		25-jun		25-jun		26-jun		26-jun	
	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3		Experiment 4		Experiment 5	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>m<sup>3</sup> bemonsterde lucht</b>	0,55	0,55	0,24	0,98	0,14	0,14	0,18	0,19	0,14	0,01
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Al</b>	26	34	107	28	162	161	100	108	163	2229
<b>P</b>	10	10	19	5	37	38	35	33	39	539
<b>S</b>	22	21	35	4	96	94	35	40	115	592
<b>Cl</b>	416	417	183	35	593	650	1105	1016	604	8171
<b>K</b>	31	30	58	14	111	115	86	82	115	1640
<b>Ti</b>	1	1	2	< DL	5	4	3	3	8	28
<b>Cr</b>	1	1	1	0	< DL	2	2	2	2	29
<b>Fe</b>	7	6	18	2	20	22	21	13	27	238
<b>Co</b>	1	< DL	5	< DL	< DL	4	11	3	< DL	64
<b>Ni</b>	1	1	3	0	4	< DL	2	2	3	42
<b>Ag</b>	< DL	6	34	< DL	< DL	23	24	17	< DL	346
<b>Cd</b>	< DL	< DL	27	1	4	< DL	16	5	< DL	< DL
<b>Te</b>	< DL	< DL	21	4	< DL	< DL	< DL	< DL	< DL	543
<b>Ba</b>	3	3	6	2	11	11	7	8	11	157
<b>Hg</b>	< DL	< DL	< DL	< DL	< DL	< DL	< DL	< DL	< DL	30

### 4.3 Analyse aldehyde cartridges

#### 4.3.1 Achtergrond informatie

Aldehyden en ketonen worden met speciale cartridges bemonsterd en vervolgens in het lab geanalyseerd. De aldehyde cartridges zijn bemonsterd op locatie M1 in de gang.

#### 4.3.2 Interpretatie van meetresultaten

Bij extreem hoge concentraties kan er doorslag bij de cartridge ontstaan. In dat geval zijn de werkelijke waarden hoger dan de getoonde waarden. Uit laboratoriumonderzoek is gebleken dat waarschijnlijk bij drie van de vijf experimenten doorslag heeft plaatsgevonden.

De aldehyde cartridges hebben verschillende monstertijden. Alle monsternamemomenten zijn begonnen op het moment dat de brand werd aangestoken. Over het moment van stoppen van bemonsteren met aldehyde cartridges zijn vanaf experiment 3 afspraken gemaakt om 15 minuten te bemonsteren. Bij experiment 3 en 5 is ongeveer 6 minuten bemonsterd omdat de pomp is afgeslagen. Alleen experiment 4 is 15 minuten bemonsterd.

Een langere monstertijd geeft meer kans op verdunning met schonere lucht (voor openen deur of nadat met ventileren is begonnen). Hierdoor zijn de waarden van de eerste experimenten 1 en 2 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  niet representatief voor de concentraties in de rook. Bij experiment 1, 3 en 4 kan er sprake zijn van doorslag, waardoor de werkelijke waarden hoger kunnen zijn dan in de tabel is aangegeven. Bij experiment 2 en 5 speelt dit niet.

Tabel 5: Analyse resultaten aldehyden cartridge. De concentraties in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  zijn beperkt onderling te vergelijken omdat de hoeveelheid bemonsterde lucht op een uitzonderling na niet gelijk is.

Tabel. Berekende gehalten	Experiment 1			Experiment 2			Experiment 3			Experiment 4			Experiment 5		
			det. grens			det. grens			det. grens			det. grens			det. grens
Bemonsterd liter lucht		100,45			23,854			6,5			14,854			6,645	
Eenheid	$\mu\text{g}$ totaal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}$ totaal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}$ totaal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}$ totaal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}$ totaal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
formaldehyde	15068	150	0,1	10257	430	0,4	18200	2800	1	43077	2900	0,6	9303,0	1400	1
acetaldehyde	36162	360	0,1	3817	160	0,6	30550	4700	2	5496	370	0,9	7974,0	1200	2
acroleine	4420	44	0,2	406	17	0,8	11050	1700	3	1040	70	1	1595	240	3
aceton	18081	180	0,2	1312	55	0,9	124	19	3	1263	85	1	4784	720	3
propionaldehyde	4721	47	0,2	477	20	0,9	3315	510	3	1055	71	1	930	140	3
crotonaldehyde	1406	14	0,3	167	7	1	1560	240	4	178	12	2	279	42	4
n-butylaldehyde	3114	31	0,3	<	<	1	559	86	5	312	21	2	651	98	5
benzaldehyde	6730	67	0,5	1527	64	2	10400	1600	8	1233	83	3	3588	540	8
iso-valeraldehyde	<	<	0,5	<	<	2	<	<	8	<	<	3	<	<	8
n-valeraldehyde	934	9,3	0,5	334	14	2	429	66	8	564	38	4	219	33	8
o-tolualdehyde	<	<	0,8	835	35	3	<	<	12	1352	91	5	186	28	12
m-tolualdehyde	743	7,4	0,7	5009	210	3	1235	190	11	7130	480	5	665	100	11
p-tolualdehyde	<	<	0,8	<	<	3	<	<	12	<	<	5	<	<	12
hexanal	944	9,4	0,8	668	28	4	1170	180	13	728	49	6	<	<	13
2,5-dimethylbenzaldehyde	<	<	1	<	<	5	293	45	19	<	<	8	166	25	18
DNPH recovery in %	16%			27%			0%			5%			29%		
	1) In geval < 25% DNPH op de cartridge aanwezig is, kan er sprake zijn van doorslag. De werkelijke gehalten kunnen daarom hoger uitvallen.														
	2) De monsters van experiment 1-5 zijn gecorrigeerd voor de waarden van het blanco														

De blanco referentie toont op aceton na geen meetwaarden hoger dan  $0,1\mu\text{g}$ . Aceton in het blanco werd op  $0,93\mu\text{g}$  vastgesteld. In de tabel is zichtbaar dat een aantal aldehyden in concentraties boven de AGW waarden voorkomt, zoals bijvoorbeeld acroleine met een AGW van  $0,23\text{mg}/\text{m}^3$ .

## 4.4 FTIR analyses

### 4.4.1 Achtergrond informatie

Luchtmonsters voor FTIR analyse zijn genomen op locatie M1 op een hoogte van 1.20m. Per brandexperiment is een aantal combinaties van chemische verbindingen gemeten die in onderstaande grafieken zijn weergegeven.

#### 4.4.2 *Interpretatie van meetgegevens en knelpunten*

Voor de interpretatie van de meetgegevens is het belangrijk dat de lezer enige kennis heeft over de impact van rook op meetresultaten. Extreem hoge concentraties stoffen kunnen bijvoorbeeld tot een grote meetfout leiden. Dit speelt wanneer de gemeten waarden veel hoger zijn dan de waarden van het kalibratiegas. Concentraties van gassen worden berekend door extrapolatie van het referentiewaarden. Als ver wordt afgeweken van de referentiewaarden kan de afwijking in het meetresultaat ook groot zijn. Dit speelt een rol bij bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> meetwaarden.

Bij deze brand komt ook veel waterdamp vrij. De damp was zichtbaar door condensvorming in de monsternameslangen. Waterdamp veroorzaakt ruis en hindert de analyse. Daarnaast hangt de betrouwbaarheid van de geïdentificeerde chemische verbindingen af van de eigenschappen van het spectrum dat deze verbindingen tonen. Sommige spectra zijn zeer specifiek een duidelijk herkenbaar, andere spectra vallen samen met andere verbindingen en geven dan een indicatief beeld van welke verbinding verwacht kan worden.

Net als bij andere metingen is een filter toegepast om het meetapparaat te beschermen tegen roetdeeltjes. Ook hier kan het verstopping van filters de luchtflow beïnvloeden en daarmee de waargenomen concentraties.

#### 4.4.3 Betrouwbaarheid van de meetgegevens

Er zijn per experiment 4 grafieken met tijd-concentratieverloop weergegeven. In onderstaande tabel is aangegeven welke grafieken zichtbaar zijn, hoe de betrouwbaarheid van de identificatie van de chemische verbinding en de concentratie van de stof worden ingeschat.

Tabel 6: Overzicht van weergegeven stoffen die met FTIR zijn geanalyseerd en de betrouwbaarheid van de identificatie en de gemeten concentratie.

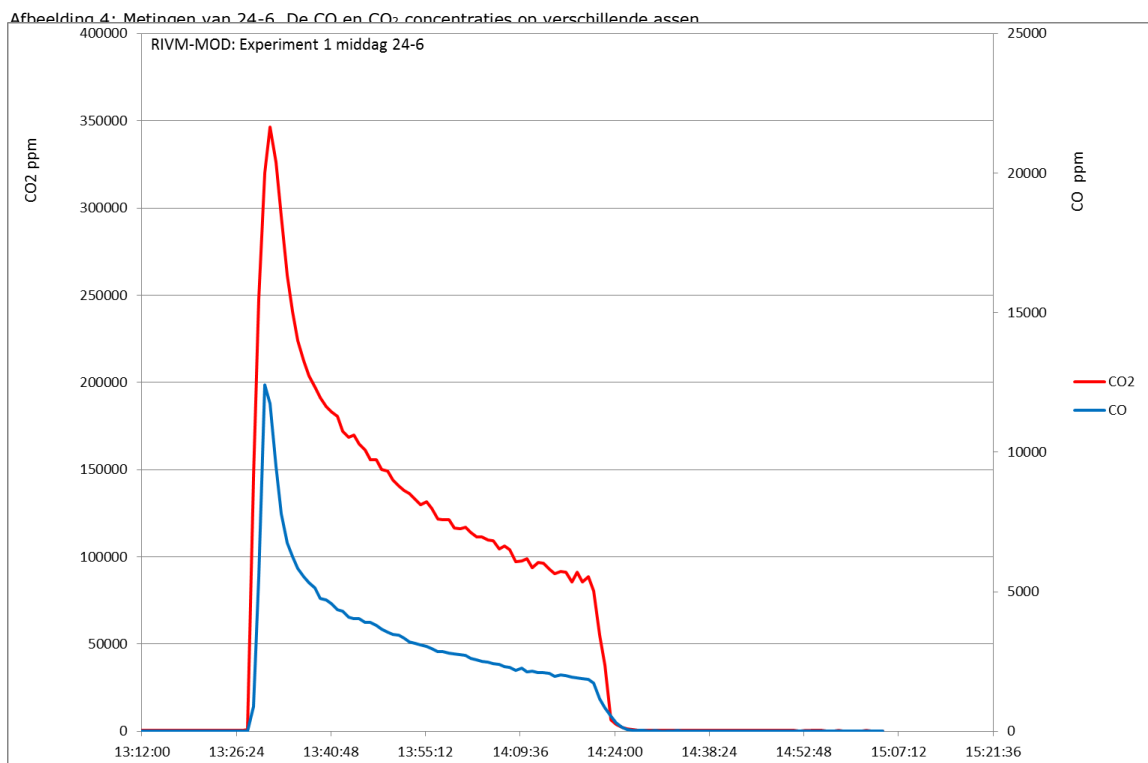
Grafiek Nr	Chemische verbinding	Betrouwbaarheid van identificatie en concentratie van de stof
Grafiek A	CO	Afwijking in concentratie mogelijk als CO <sub>2</sub> en water extreem hoog worden, duidelijke identificatie
	CO <sub>2</sub>	Hoge concentraties CO <sub>2</sub> kunnen een grote afwijking vertonen, duidelijke identificatie
Grafiek B	CO	Afwijking in concentratie mogelijk als CO <sub>2</sub> en water extreem hoog worden, duidelijke identificatie.
	HCN	Chemische verbinding is niet erg markant maar meetbaar
Grafiek C	Methane	Kenmerkende piek voor methaan, samen verklaren ze een zelfde deel van het spectrum
	Ethane	
	Propene	
	Butane	
Grafiek D	Formaldehyde	Identificatie duidt op een aldehyde verbinding in het algemeen. De grafiek geeft vooral duiding wanneer aldehyden in hogere concentraties voorkomen.
	Benzene	Identificatie duidt op een aromatische verbinding
	HCl	Moelijk zichtbaar tussen de alkanen, identificatie niet erg betrouwbaar.
	SO <sub>2</sub>	In de flanken van water absorbtie maar goed herkenbaar, redelijk betrouwbare identificatie

Het infraroodspectrum toont waar bepaalde verbindingen energie absorberen. De C-H (koolstof waterstof) heeft een markante energie bij 3018 cm<sup>-1</sup>. Omdat we te maken hebben met een mix van heel veel stoffen is niet voor alle absorpties duidelijk waar het vandaan komt. Groepen stoffen zijn wel te herkennen, aromaten tonen een bepaald patroon en CO en CO<sub>2</sub> zijn duidelijk herkenbaar. Een groot deel van het spectrum heeft absorptiebanden van water. Hierdoor raken bepaalde markante absorpties van andere stoffen ondergesneeuwd.

#### 4.4.4 Grafiek A: CO en CO<sub>2</sub> concentraties

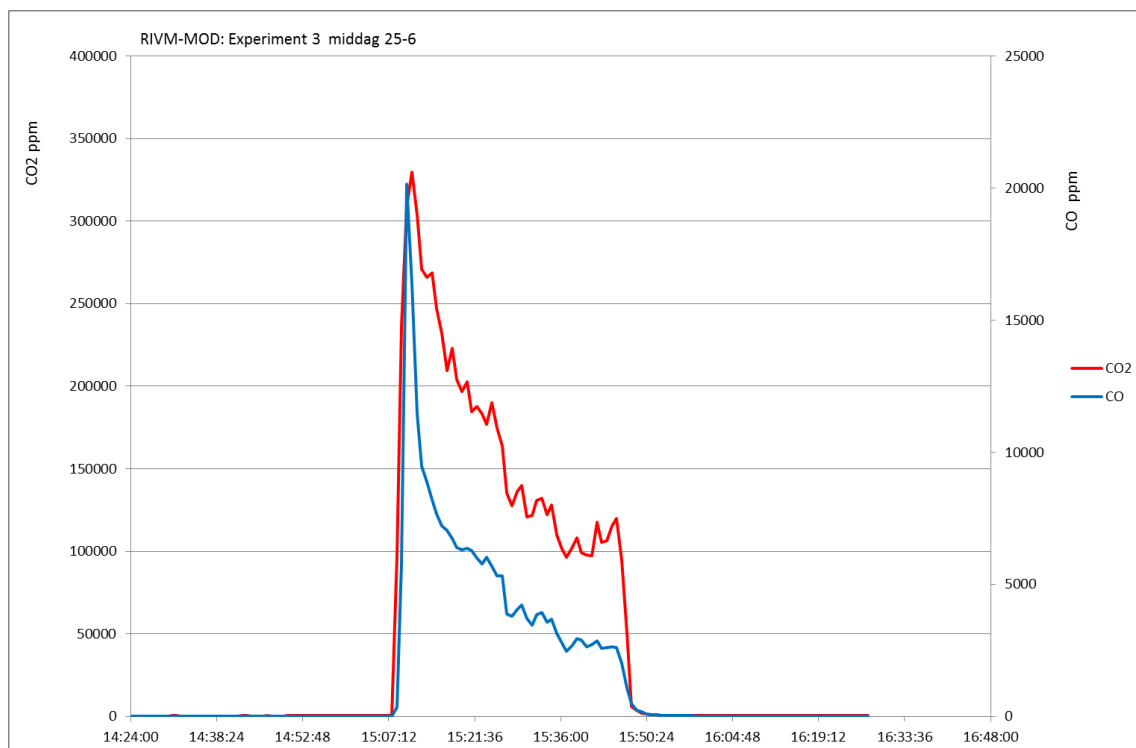
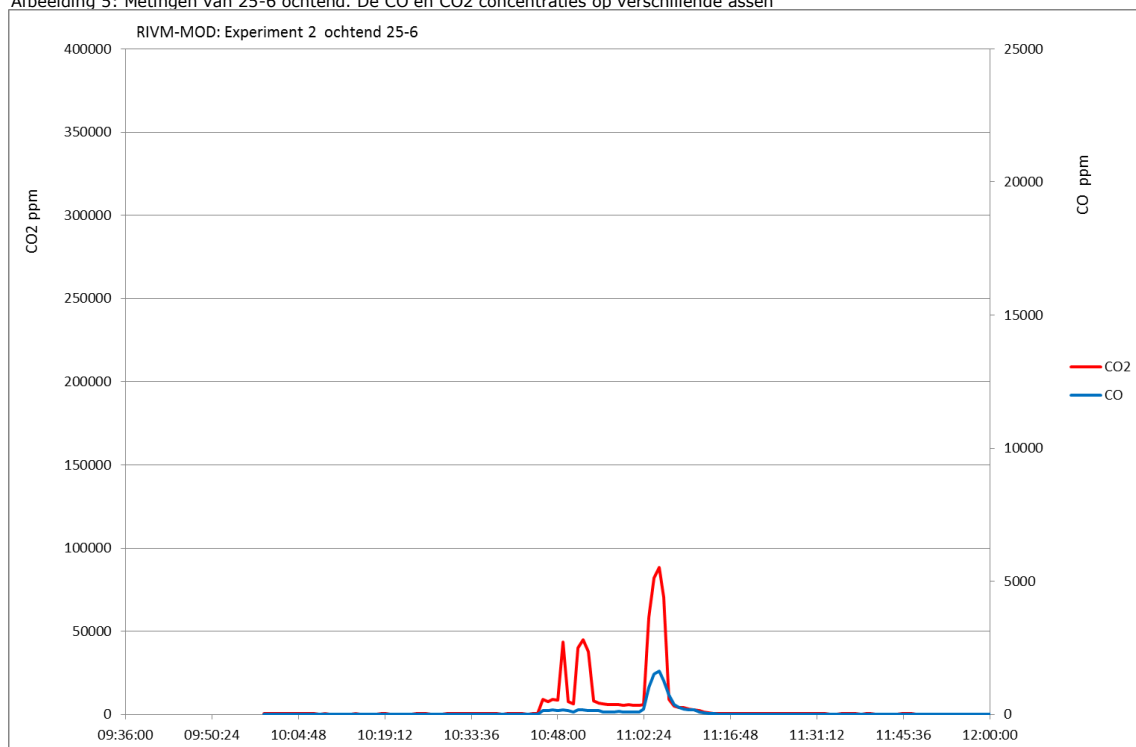
In grafiek A zijn de CO tegen de CO<sub>2</sub> concentraties uiteengezet. De schaalverdeling voor CO en CO<sub>2</sub> is niet gelijk, CO<sub>2</sub> wordt op de linker as afgelezen terwijl CO op de rechter as wordt afgelezen. In het algemeen gelden de volgende punten voor grafiek A:

- De concentraties CO<sub>2</sub> kunnen een grote afwijking bevatten omdat de concentraties in het luchtmengsel zich ver boven de referentiewaarde bevinden. De gegevens zijn tot stand gekomen door grote extrapolatie (en dus grote afwijking) van het spectrum. Deze afwijking speelt met name bij de experimenten 1,3, en 5. CO<sub>2</sub> concentraties hoger dan 200.000ppm zijn bij dit experiment in principe niet mogelijk. De kwantitatieve CO<sub>2</sub> bepaling van deze grafieken is niet betrouwbaar.
- De CO concentraties kunnen een geringe afwijking tonen. Deze afwijking zal beduidend minder groot zijn dan de afwijking van de CO<sub>2</sub> concentraties.
- Bij de grafieken is dezelfde schaalverdeling aangehouden om een vergelijking tussen de 5 experimenten mogelijk te maken.

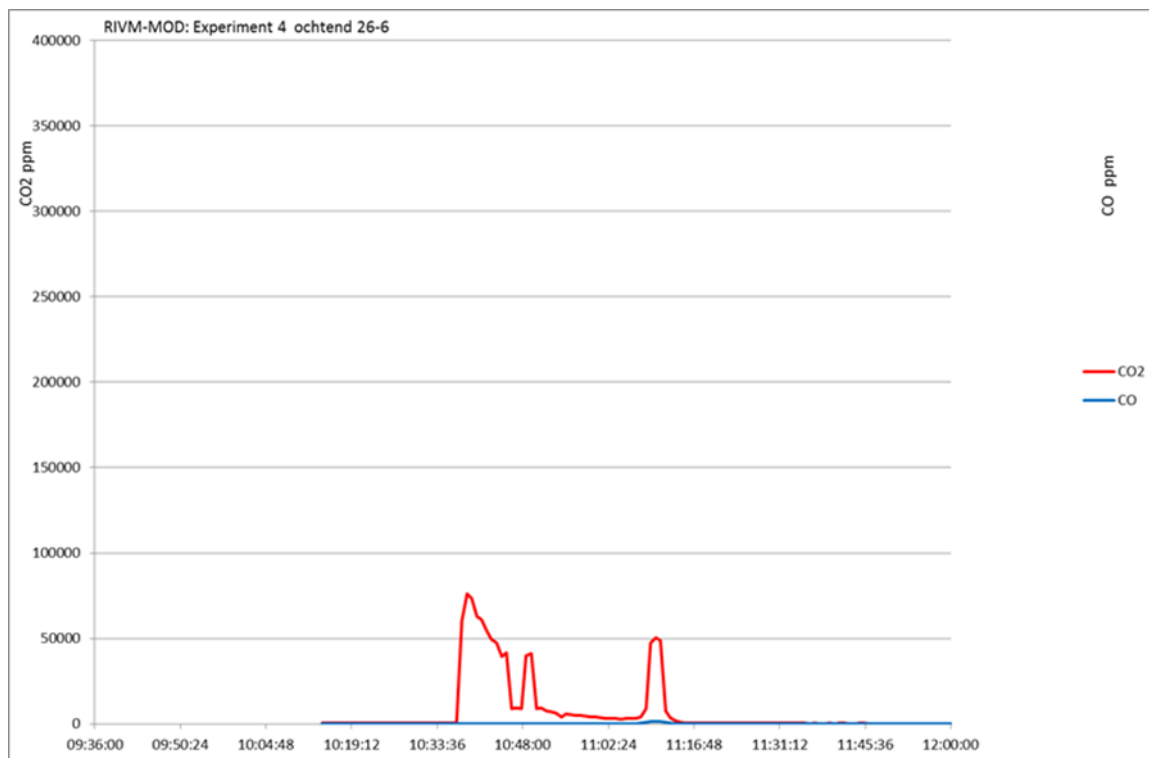




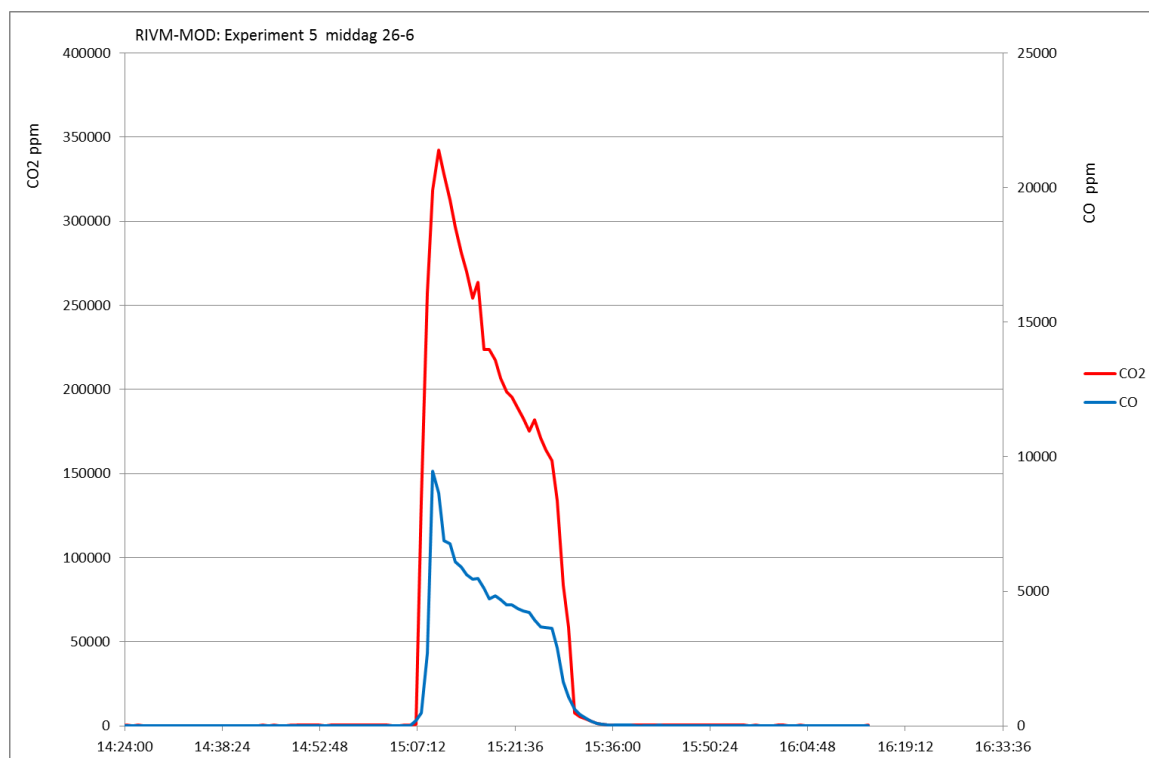
Afbeelding 5: Metingen van 25-6 ochtend. De CO en CO<sub>2</sub> concentraties op verschillende assen



Afbeelding 6: Metingen van 25-6 middag. De CO en CO<sub>2</sub> concentraties op verschillende assen



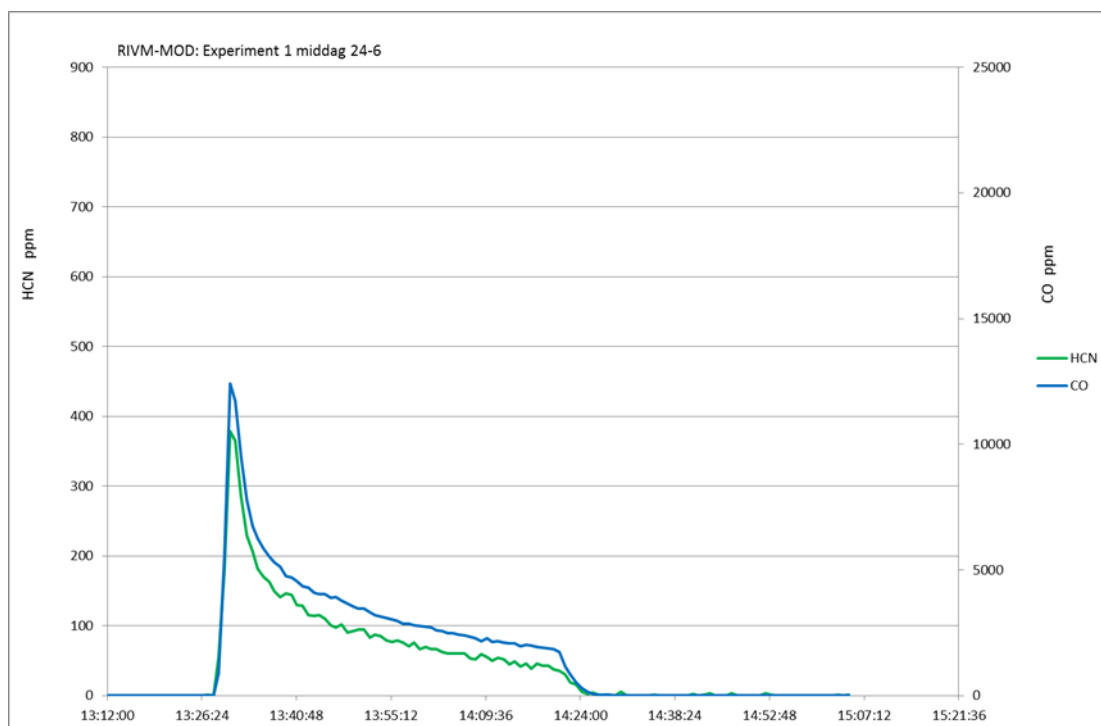
Abbeelding 7: Metingen van 26-6 ochtend. De CO en CO<sub>2</sub> concentraties op verschillende assen



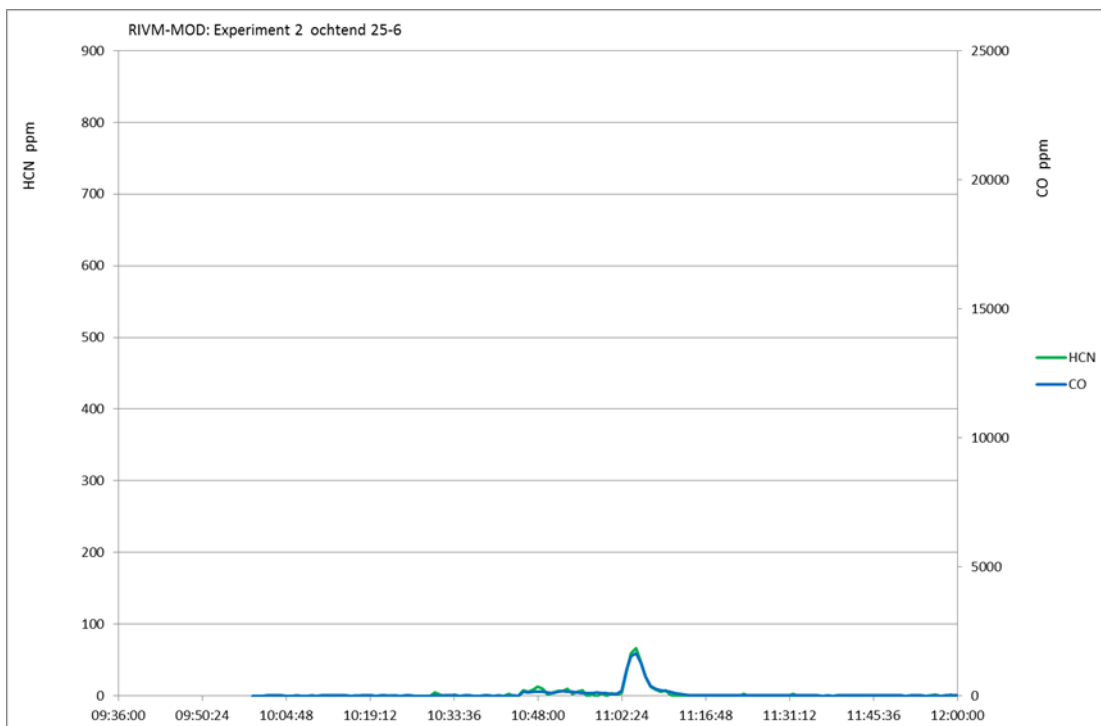
#### 4.4.5 Grafiek B: HCN in combinatie met CO metingen

Bij de brandexperimenten zijn ook relatief hoge concentraties waterstofcyanide (HCN) waargenomen. Om een beeld te zien van het moment van vorming i.c.m. CO zijn deze waarden in dezelfde grafiek getoond.

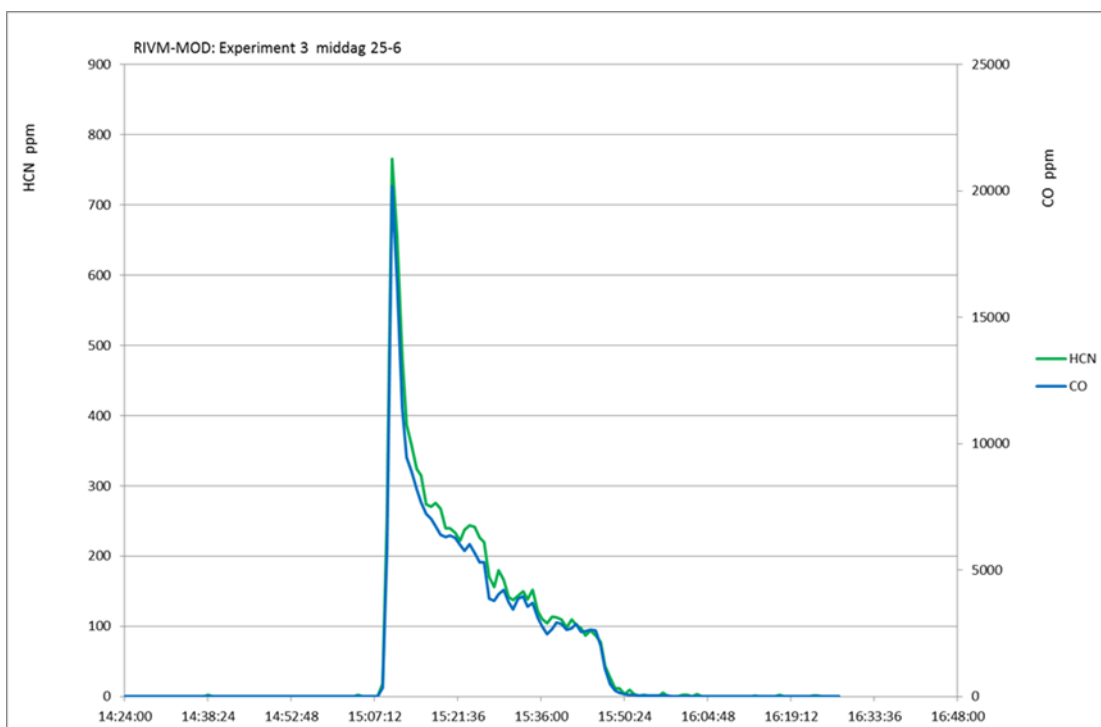
Bij de grafieken is dezelfde schaalverdeling aangehouden om een vergelijking tussen de 5 experimenten mogelijk te maken. De HCN concentraties zijn op de linker as uitgewerkt terwijl de CO concentraties op de rechter as zichtbaar zijn.



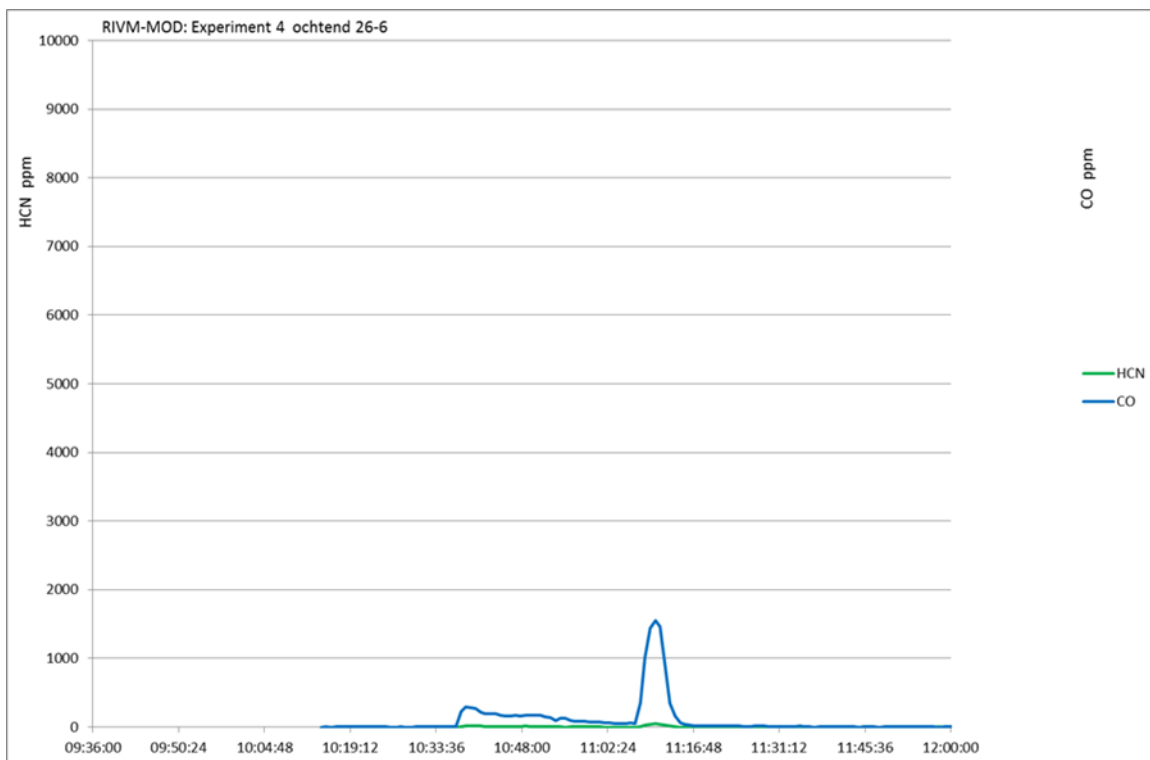
Afbeelding 9: Metingen van 24-6 middag. De HCN en CO concentraties op verschillende assen



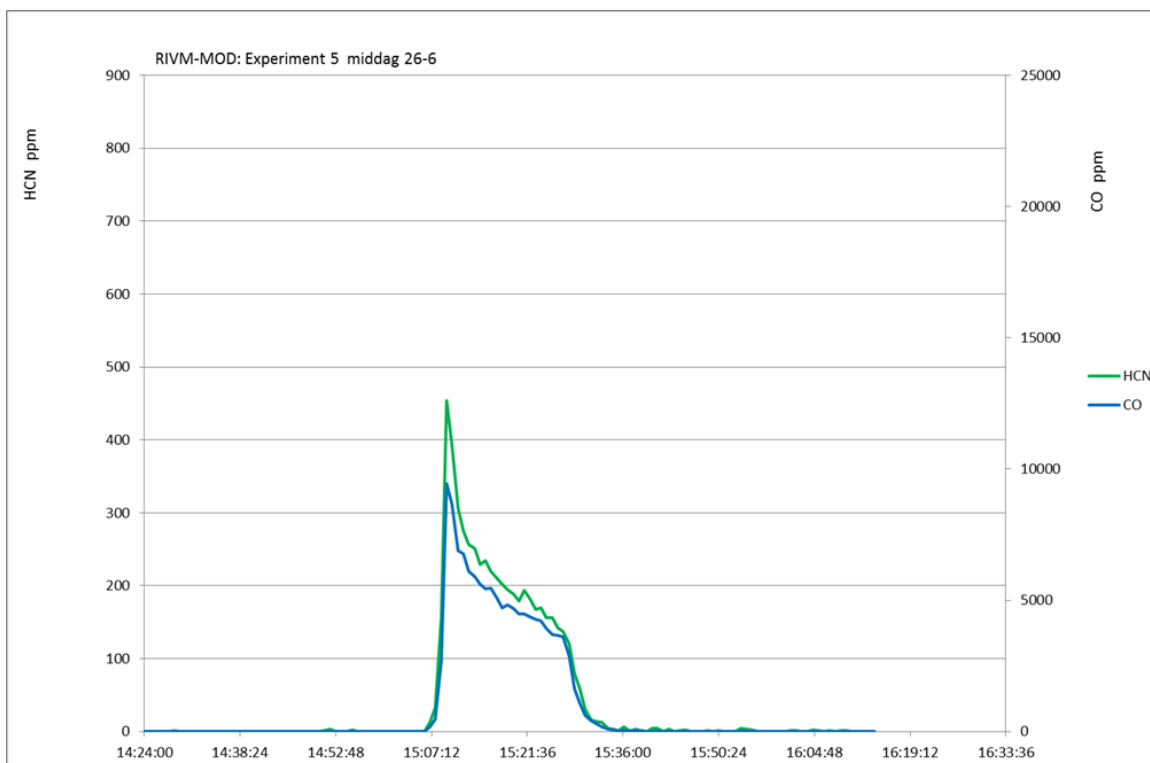
Abbeelding 10: Metingen van 25-6 ochtend. De HCN en CO concentraties op verschillende assen



Abbeelding 11: Metingen van 25-6 middag. De HCN en CO concentraties op verschillende assen



Afbeelding 12: Metingen van 26-6 ochtend. De HCN en CO concentraties op verschillende assen

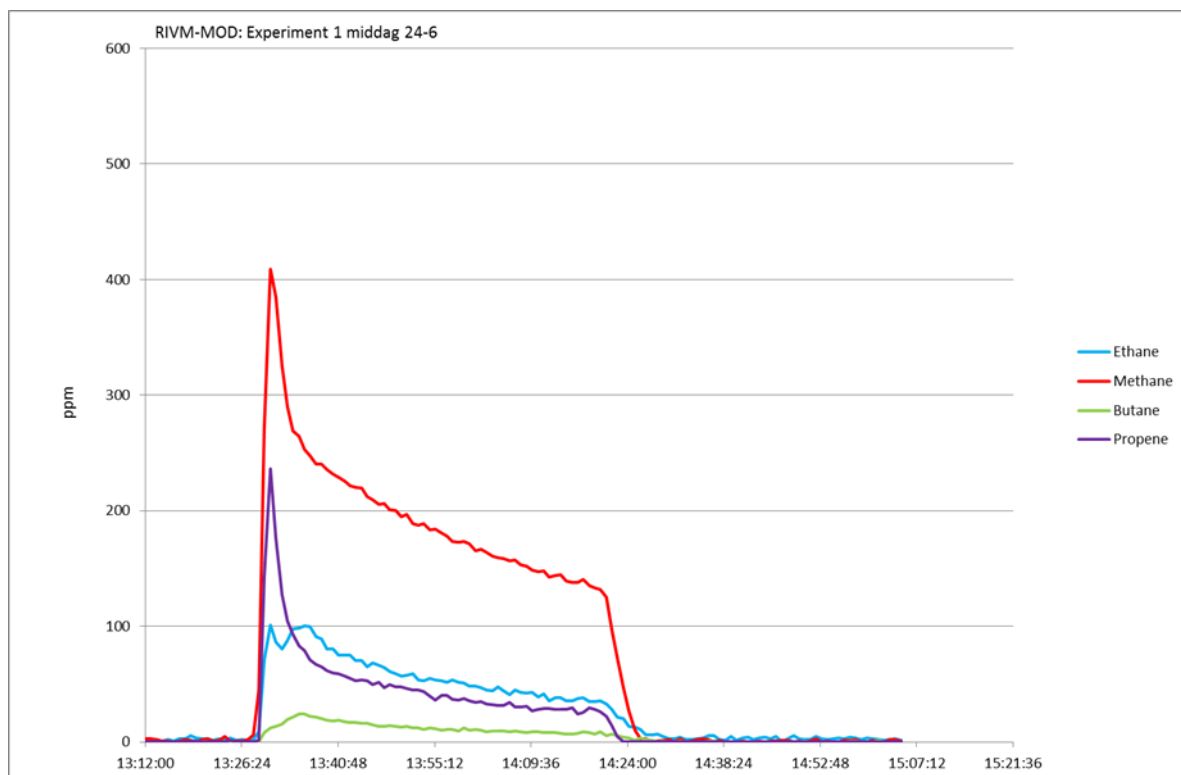


Afbeelding 13: Metingen van 26-6 middag. De HCN en CO concentraties op verschillende assen

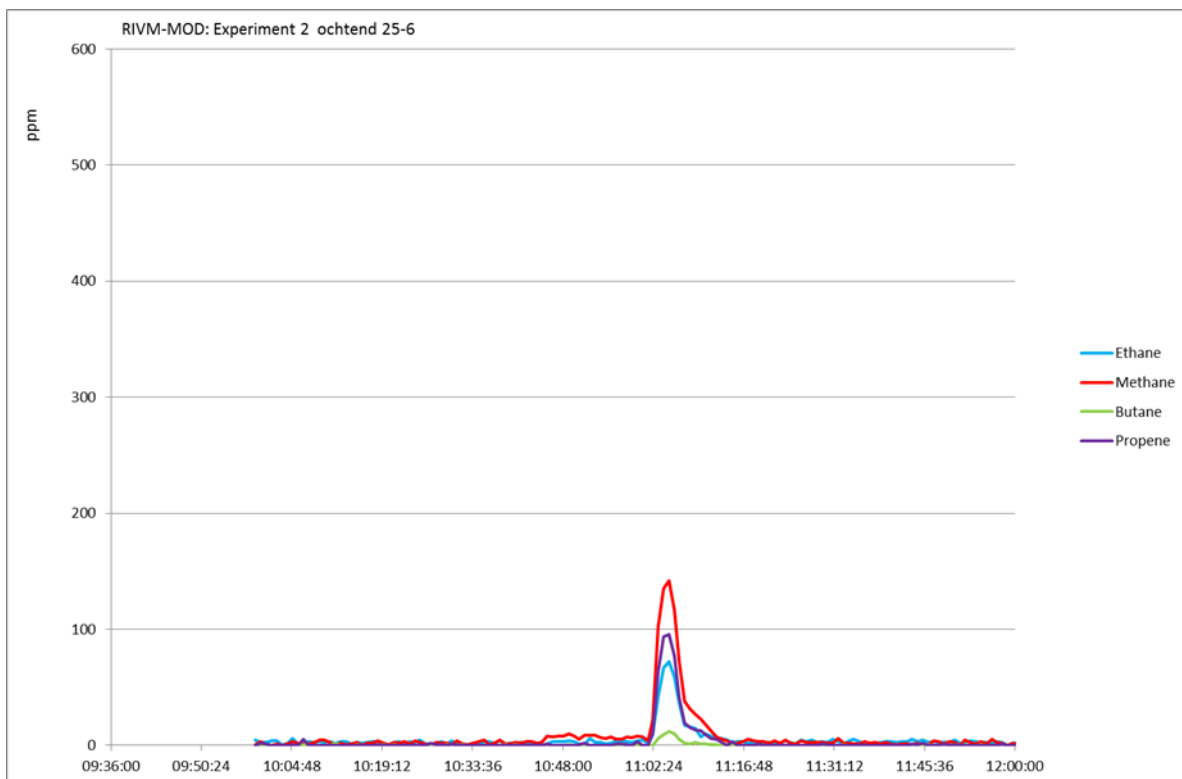
#### 4.4.6 Grafiek C: Alkanen

Uit het spectrum werd een aantal alkanen geïdentificeerd, die in de volgende reeks zijn getoond.

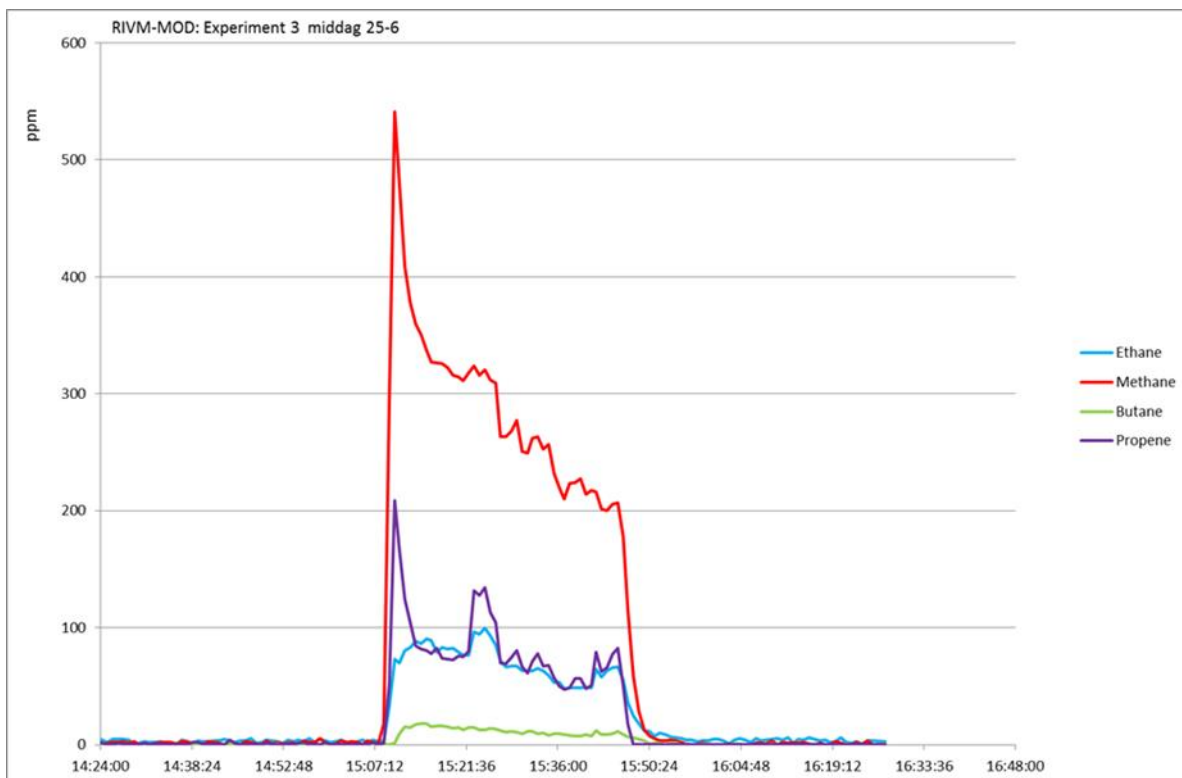
De meetwaarden van de verschillende stoffen staan in dezelfde as.



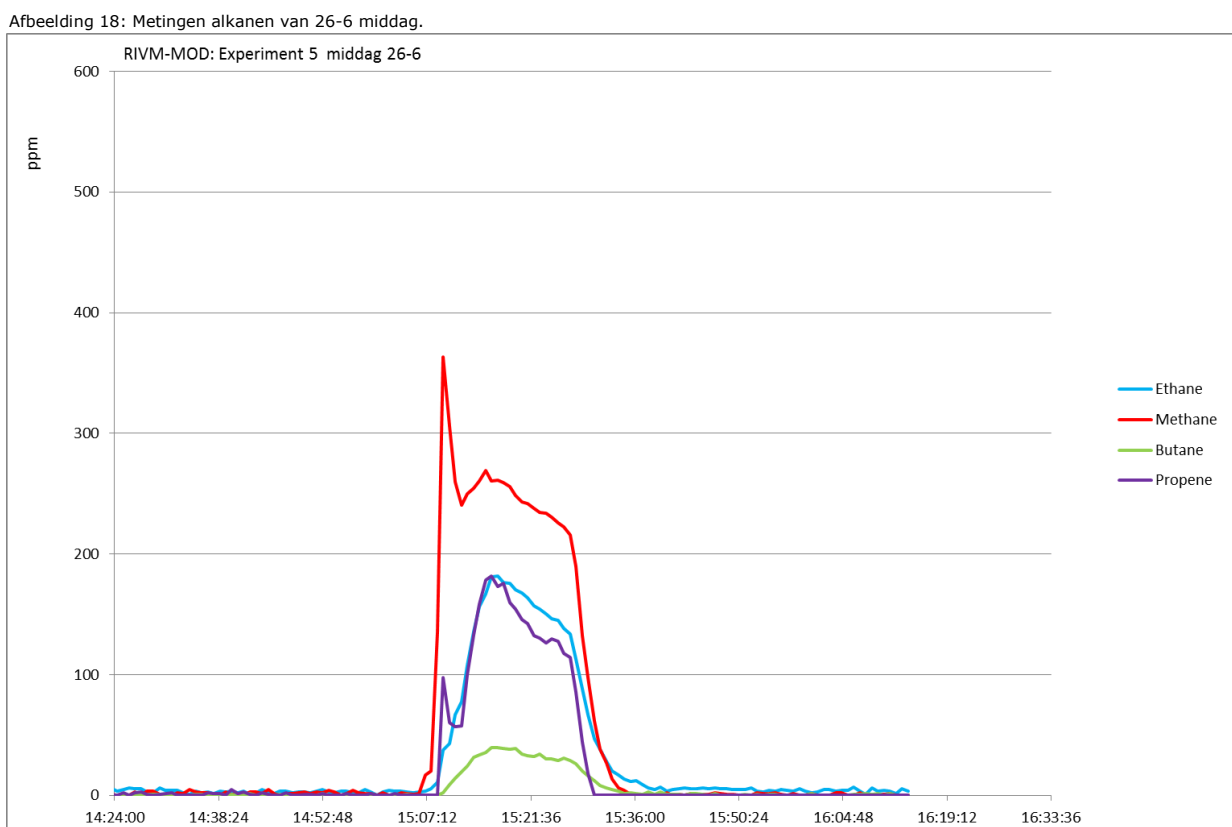
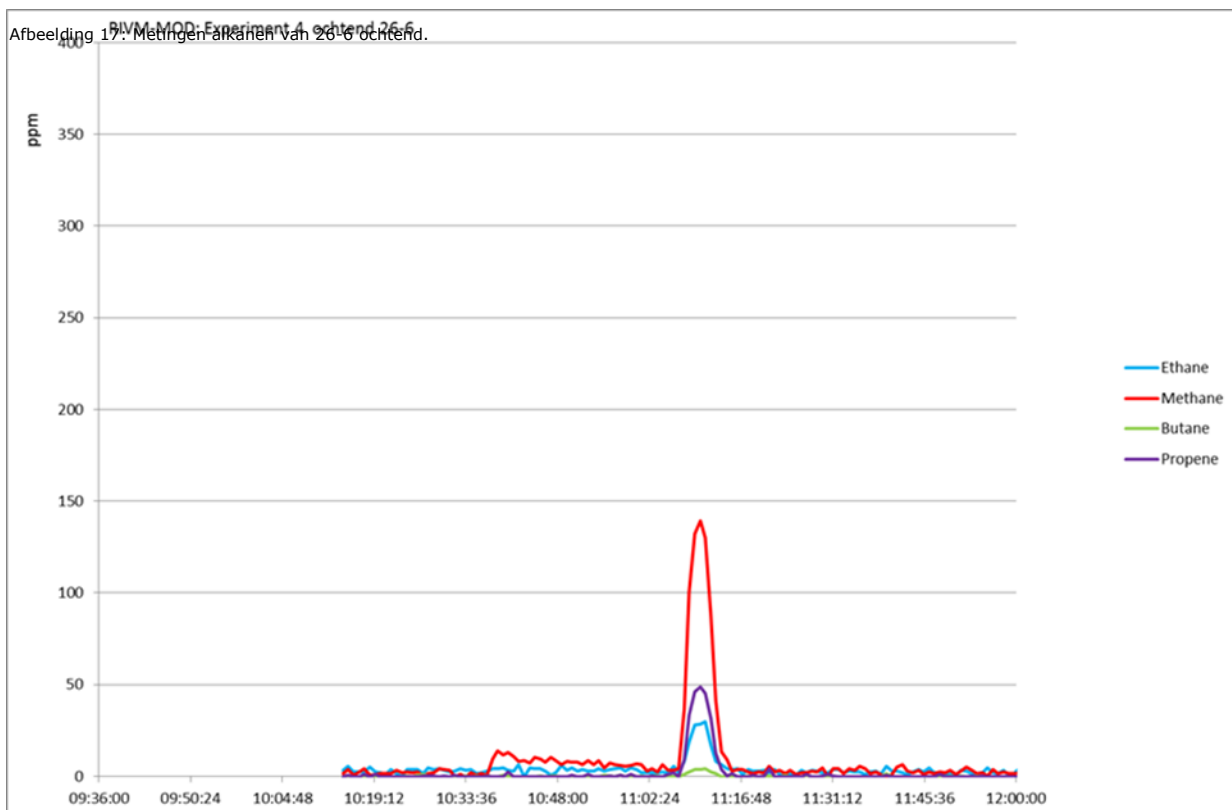
Afbeelding 14: Metingen alkanen van 24-6 middag.



Afbeelding 15: Metingen alkanen van 25-6 ochtend.



Afbeelding 16: Metingen alkanen van 25-6 middag.

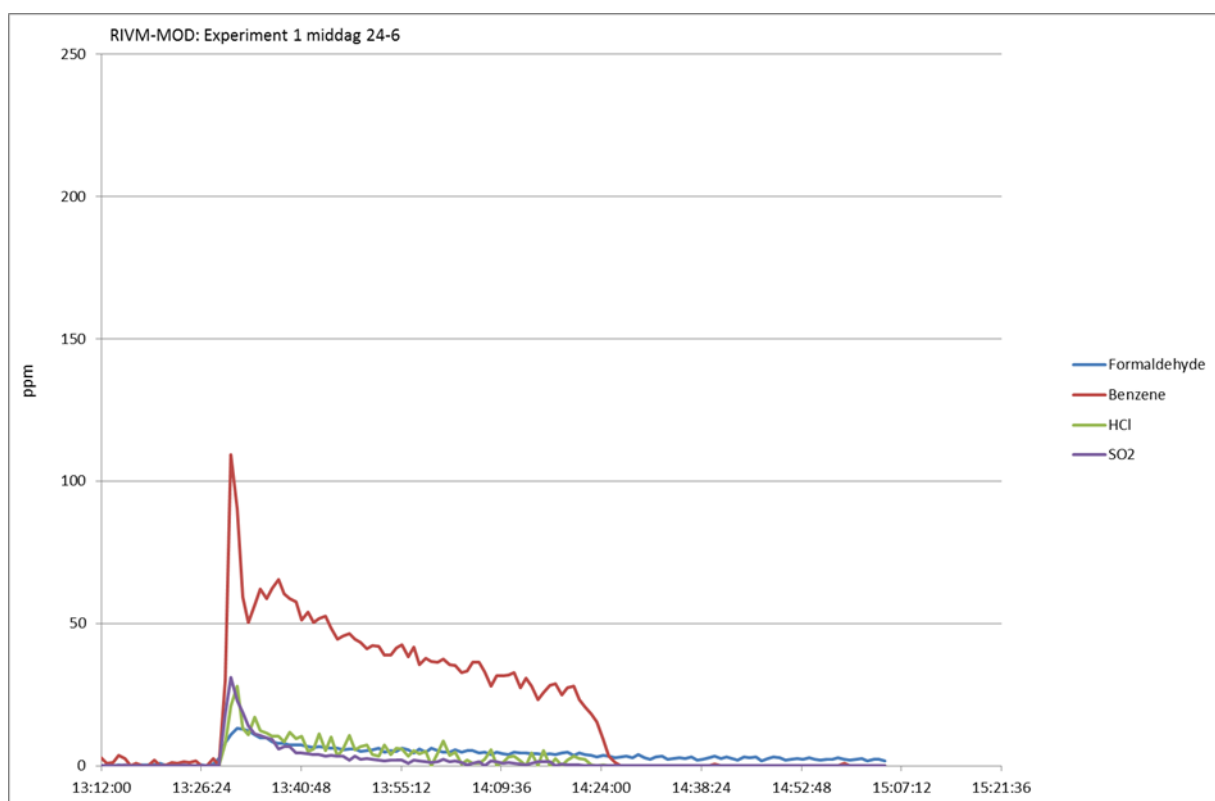




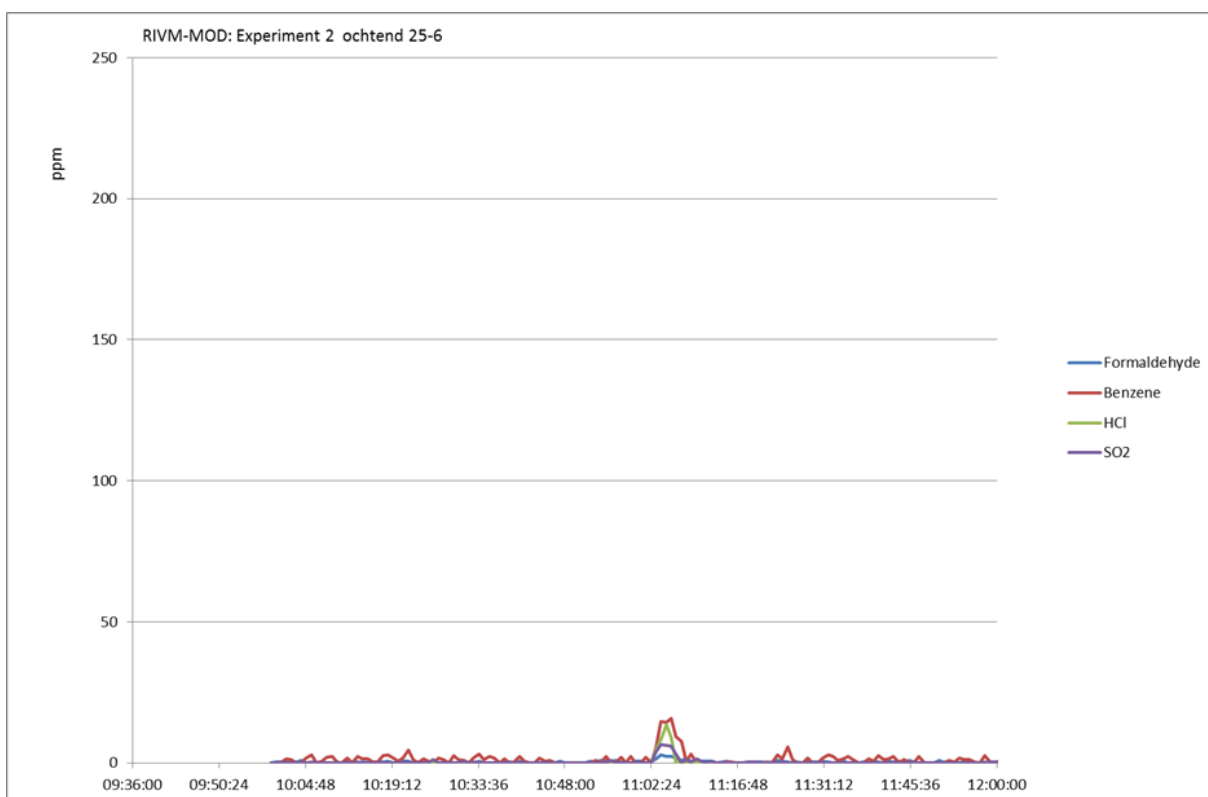
#### 4.4.7 Grafiek D: Overige verbindingen

De FTIR herkent een aantal spectra die duiden op de aanwezigheid van de stofgroepen zoals aldehyden en aromatische verbindingen. De lijn van formaldehyde is indicatief en kan ook door andere aldehyden beïnvloed worden. Dezelfde benadering geldt voor benzeen, waarmee ook de aanwezigheid van andere aromatische verbindingen kunnen bijdragen tot de concentratie benzeen in deze grafiek.

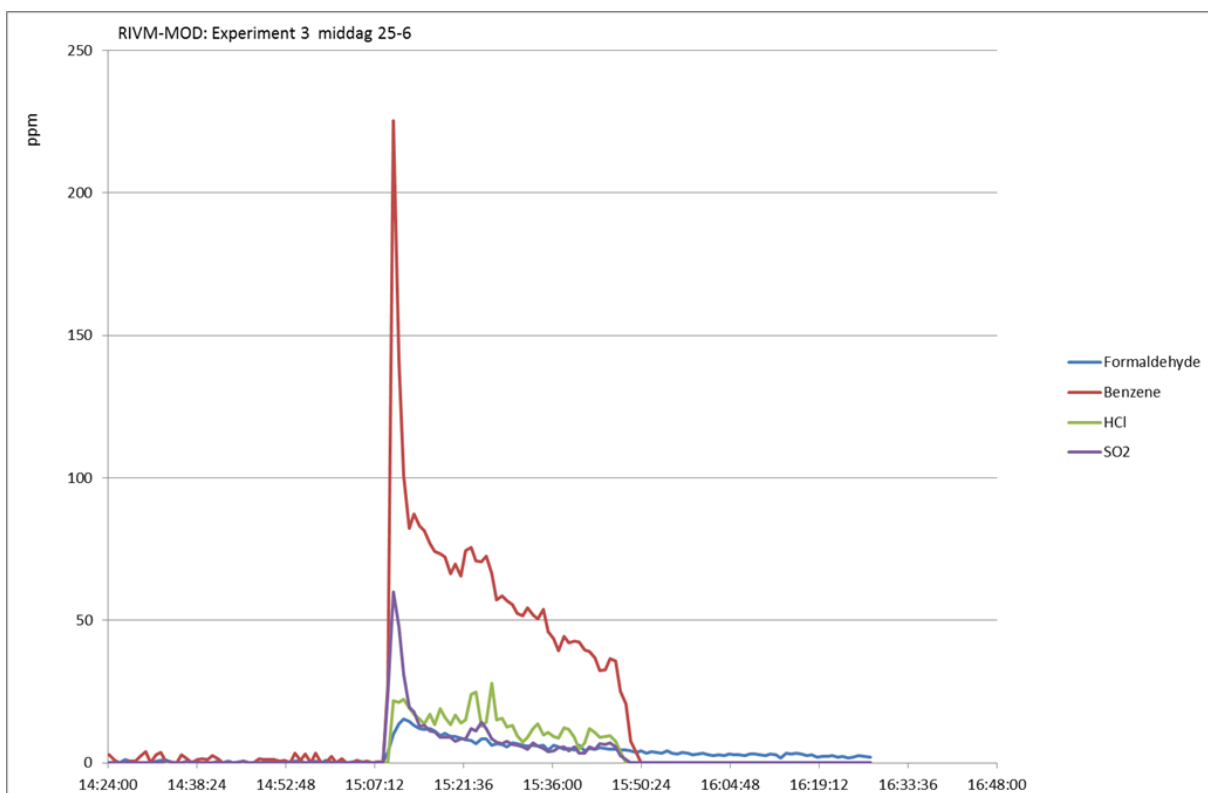
De waarden van HCl en SO<sub>2</sub> zijn indicatief weergegeven en blijven relatief laag.



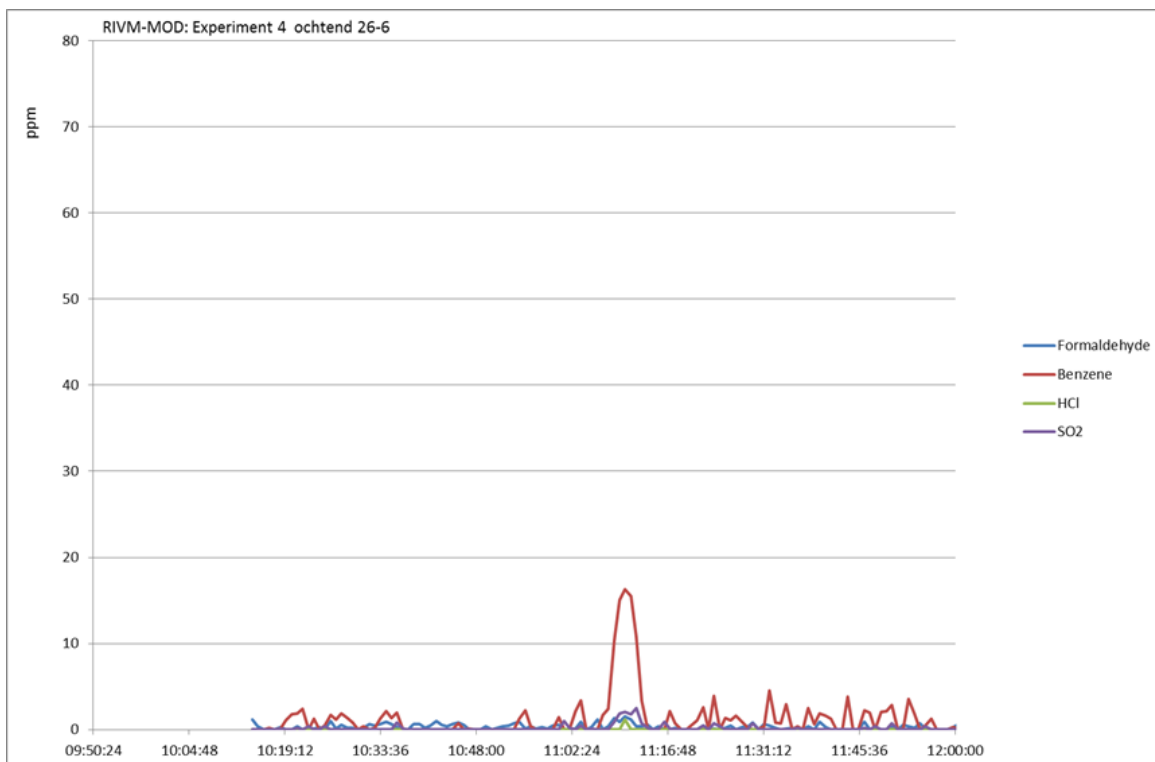
Afbeelding 19: Metingen overige verbindingen van 24-6 middag.



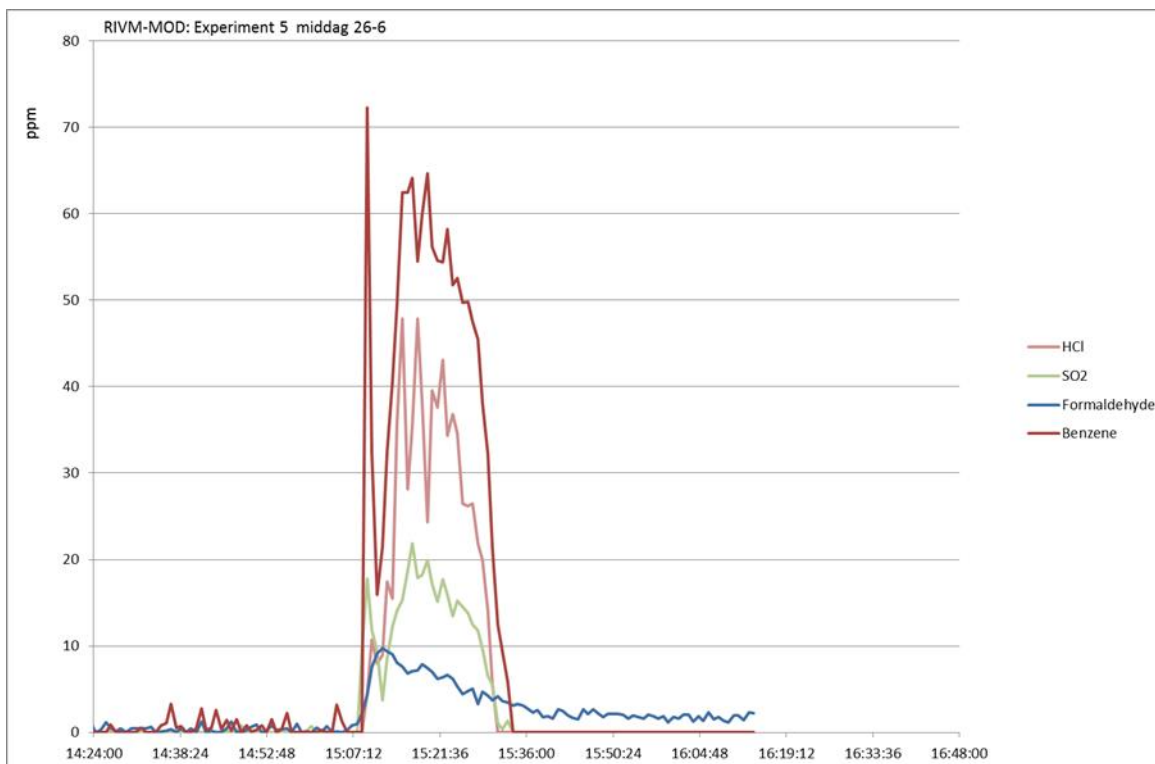
Afbeelding 20: Metingen overige verbindingen van 25-6 ochtend.



Afbeelding 21: Metingen overige verbindingen van 25-6 middag.



Afbeelding 22: Metingen overige verbindingen van 26-6 ochtend.



Afbeelding 23: Metingen overige verbindingen van 26-6 middag.

## 4.5 VOC's middels cannister bemonstering

### *Achtergrond informatie*

Bij het experiment zijn luchtmonsters genomen m.b.v. zes liter vacuüm cannisters (metalen bol), die vervolgens zijn geanalyseerd m.b.v. GCMS (Gas Chromatografie Massa Spectometrie). De GCMS is geschikt op een groot aantal stoffen en kan daarom zeer precies aangeven welke van deze stoffen in welke concentraties in het monster aanwezig zijn.

De monstername locatie is op punt M2 in de gang. Vanaf experiment 2 zijn de monsternamen tijden aangehouden van 4 min, 7 min en 15 min na de start van de brand.

### 4.5.1 *Knelpunten bij monsternamen en analyse*

Er zijn zowel bij de monsternamen als de analyse van de monsters diverse problemen opgetreden. Dit komt mede doordat deze monsternamewijze niet is ontwikkeld voor het instantaan bemonsteren van rookgassen met extreem hoge rookdichtheid zoals bij dit experiment aanwezig was. De belangrijkste knelpunten bij bemonstering en analyse zijn:

1. De filters die roetdeeltjes af moesten vangen sloegen dicht door roet, waardoor het volzuigen langzamer liep. Hierdoor komt het voor dat ook na 1 minuut de cannisters nog niet volledig volgelopen zijn. Daardoor is het mogelijk dat bij sommige 4 minuten monsters ook nog bemonsterd is nadat de deur van de brandruimte is geopend.
2. De geïmproviseerde aanzuigconstructie faalde tijdens de monsternamen waardoor de monsternamen vertraagd is uitgevoerd (dit geldt voor de eerste monsternamen van 24-6 en 25-6 ochtend).
3. Door dichtgeslagen filters was geen van de bij het laboratorium ingeleverde cannisters op atmosferische druk, waardoor voor het analyseren van de cannister verdunning is opgetreden.
4. De luchtmonsters waren dermate vervuild dat de GCMS na iedere analyse uitgebreid gereinigd moest worden. Mede om deze reden is besloten niet alle cannisters te analyseren.

Als gevolg van de hierboven beschreven factoren zijn de analyseresultaten alleen kwalitatief te interpreteren. Er zijn wel waarden getoond in het overzicht maar deze zullen in werkelijkheid hoger zijn. Dit komt met name door probleem nr 3.

### 4.5.2 *Rapportage en resultaten*

De VOC's worden normaalgesproken gerapporteerd in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bij dit experiment zijn vooral acute toxiciteit en explosie gevaarsrisico's een relevante parameter. Daarom is gekozen onderstaande selectie in  $\text{mg}/\text{m}^3$  te tonen. Onderstaande selectie bevat stoffen waarvoor de GCMS specifiek is gekalibreerd en in concentraties voorkomen van  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  of hoger.

In totaal zijn 162 verschillende stoffen geïdentificeerd die in het meest geconcentreerde monster een totale som van 165mg/m<sup>3</sup> VOC's geven. (Nogmaals, ook dit monster is verdund en daardoor is sprake van een onderschatting van de werkelijke waarde). De totale lijst met stoffen is niet meegenomen in dit overzicht.

Tabel 7: Selectie van meetwaarden van cannister monstername. De getoonde waarden zijn verdund door problemen bij de monstername, de werkelijke waarden zijn hoger.

Datum		24-jun	24-jun	24-jun	25-6	25-6	25-6	26-06	26-06	26-06	26-06	26-06	26-06
Cannister nr		Cann 1	Cann 2	Cann 3	ochtend	ochtend	ochtend	ochtend	ochtend	ochtend	ochtend	middag	middag
Monstername	tijd na start brand	7 min	14 min	15:30 min	5 min	7 min	15 min	4 min	7 min	15 min	4 min	7 min	15 min
Name	CAS	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
benzene	71-43-2	20	28	26	0	1	2	0	1	2	5	5	25
toluene	108-88-3	9	4	3		0	0	0	0	0	3	3	19
ethylbenzene	100-41-4	1	1	0							0	1	0
p,m-xylene	106-42-3	1	0	0					0		0	0	2
styrene	100-42-5	11	5	3	0	0	0	0	0	0	2	1	14
1,2,4-trimethylbenzene	95-63-6										2	4	19
naphthalene	91-20-3	91	63	43	3	3	3	12	4	4	30	31	124
chloromethane	74-87-3	11	5	3		0	0				2	3	11
vinylchloride	75-01-4	2	1	1			0		0	0	1	1	4
bromomethane	74-83-9	1	0	0							0	0	0
chloroethane	75-00-3	0	0								0	0	0
1,2-dichloroethane	107-06-2										1	0	1
ethanol	64-17-5	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
acetone	67-64-1	25	10	8	0	0	0	1	0	0	6	1	19
2-propanol	67-63-0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vinylacetate	108-05-4										0	0	2
2-butanone	78-93-3	4	2	1	0			0		0	1	0	3
methyl methacrylate	80-62-6	5	2	1							0	1	7
propene	115-07-1	20	10	8		0	0		0	0	8	3	21
1,3-butadiene	106-99-0										0	0	3

## 4.6 Fijnstof deeltjesgrootte metingen

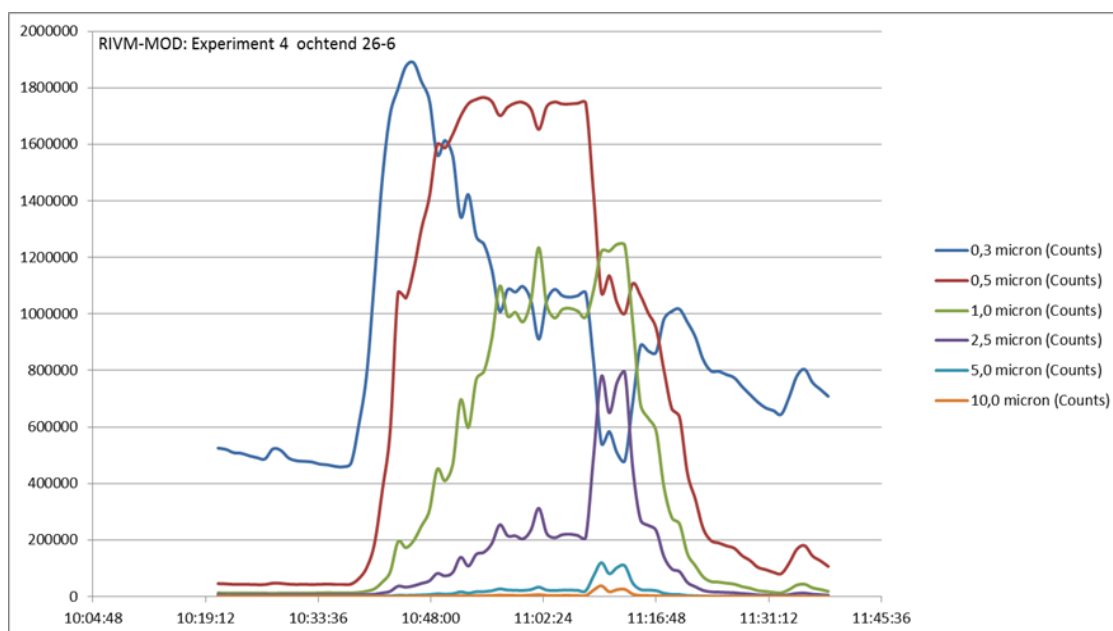
### Achtergrond informatie

Bij experiment 4 en 5 zijn ook aanvullende fijnstofmetingen uitgevoerd op meetlocatie M3 in ruimte 1.26. Deze metingen zijn niet op direct verzoek van het IFV gedaan. Omdat deze metingen bij kunnen dragen in de beeldvorming van risico's is besloten de resultaten aan deze rapportage toe te voegen.

De metingen zijn uitgevoerd op de laatste dag (26-6). Voorgaande brandexperimenten hebben ertoe geleid dat in ruimte 1.26 een relatief hoge achtergrond concentratie fijnstof aanwezig kan zijn.

### 4.6.1 Resultaten en interpretatie

De resultaten van experiment 4 (ochtend 26-6) zijn kort uitgewerkt. Er is gekozen voor weergave in counts (=aantal deeltjes) en niet in µg/m<sup>3</sup>. Weergave in counts geeft een beter beeld van de wijze van verspreiding bij brand.



Afbeelding 24: De waarden van fijnstofdetectie in ruimte 1.26 bij experiment 4 (26-6 ochtend) uitgezet in de tijd. Het valt op dat kleine stofdeeltjes uit beeld verdwijnen, wanneer grotere deeltjes in aantal toenemen. Dit lijkt geen realistische weergave van de werkelijkheid en valt te verklaren door beïnvloeding van de meettechniek door relatief hoge concentraties rookdeeltjes.

Het valt op dat in de ruimte de kleine deeltjes eerder gedetecteerd worden dan de grotere deeltjes. De concentratie 0,3 micron stofdeeltjes neemt af op het moment dat de concentratie grotere deeltjes toenemen. Een mogelijke verklaring is dat bij deze optische telling in hoge concentraties fijnstof de grotere deeltjes het 'zicht' op de kleinere deeltjes wegneemt waardoor deze niet meer gedetecteerd worden. Het lijkt onwaarschijnlijk dat de concentratie kleine deeltjes werkelijk afneemt zoals in de grafiek weergegeven.

## 4.7 Indicatief beeld handheld apparatuur en waarnemingen

### 4.7.1 Achtergrond informatie

Tijdens de brandproeven zijn voor eigen beeldvorming aanvullende metingen verricht met handheld apparatuur. Mogelijk helpen deze waarnemingen de brandonderzoekers in de beeldvorming. Daarom is een samenvatting van deze waarneming toegevoegd.

Bij de branden was na verloop van tijd rook zichtbaar bovenaan de toegangsdeur naar ruimte 1.26. Daarna liepen ook o.a. CO concentraties in ruimte 1.26 op. Daarbij waren twee onderstaande waarnemingen naar onze mening relevant om te delen.

#### 4.7.2 *Verskil in CO concentraties in de ruimte 1.26*

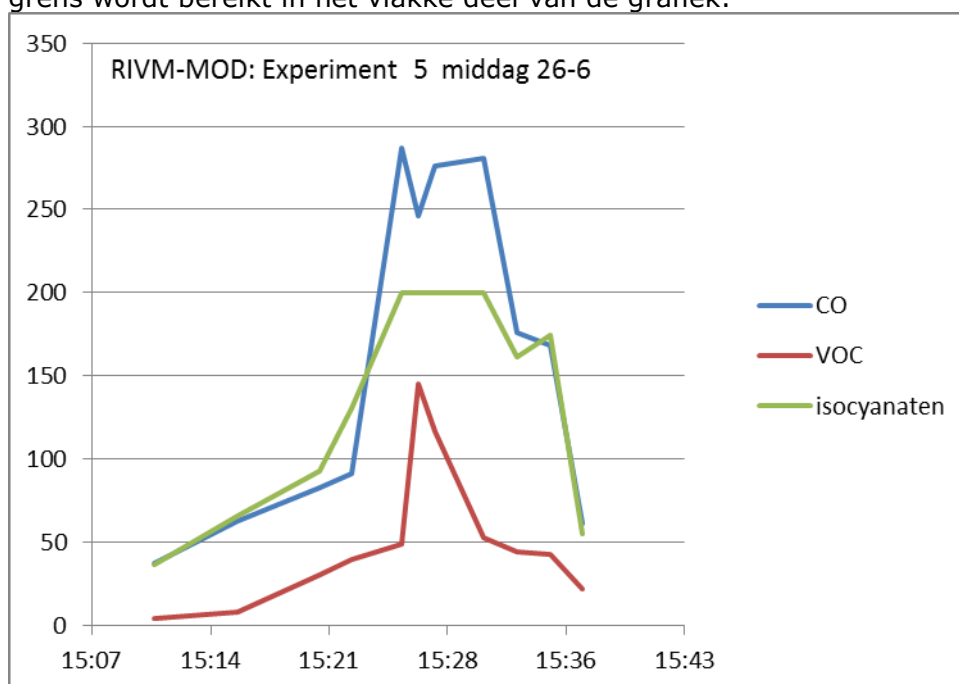
Bij brandproef 3 (25-6 middag) was in ruimte 1.26 rook boven de gesloten toegangsdeur zichtbaar. Ook enkele minuten na het verschijnen van de rook werden dicht bij de deur hogere concentraties CO waargenomen dan dicht bij het (gesloten) raam. De concentraties bij het raam lagen in orde van 60% lager op het tijdstip 15.10 u. Dit is een momentopname, het is mogelijk dat deze verschillen na verloop van tijd afnemen.

#### 4.7.3 *Beeld CO, VOC en detectie van isocyanaten in ruimte 1.26*

In ruimte 1.26 zijn bij experiment 5 op meetlocatie M3 een drietal handheld meters naast elkaar gehouden. Het gaat hierbij om een CO meter, PID meter en isocyanaten detectie. De meetwaarden zijn in onderstaande tabel zichtbaar. De piek ontstaat op het moment dat de brandweer de deur opent van ruimte 1.26 met de gang.

Dit beeld is vastgesteld aan de hand van foto's van meetapparatuur. De tijdslijn heeft een grove resolutie van 1 minuut waardoor een vertekend beeld kan ontstaan. Doordat de PID meter iets later reageerde is de grafiek van VOC's qua tijd iets naar rechts verschoven. (Het hoeft dus niet zo te zijn dat de PID meter werkelijk pas een minuut later omhoog liep, dit kan ook enkele seconden zijn).

De ijklijn van het detectieapparaat was ingesteld op toluendiisocyanaat. Dit apparaat is kruisgevoelig voor verschillende soorten isocyanaten. Het is daarom niet mogelijk te duiden om welk type isocyanaatverbinding het gaat en ook de concentratie is indicatief. De meetwaarden van isocyanaten zijn aangegeven in ppb (parts per billion), hierbij is 200ppb het maximale meetbereik van het toegepaste apparaat. Deze grens wordt bereikt in het vlakke deel van de grafiek.



Afbeelding 25: De waarden van meetapparatuur in ruimte 1.26 bij experiment 5 (26-6 middag) uitgezet in de tijd. De CO en VOC waarden zijn in ppm, de waarden van isocyanaten in ppb (een factor 1000x lager dan ppm).