

Experimenteel onderzoek beperking rookverspreiding



Experimenteel onderzoek beperking rookverspreiding

Versie 431N1220/01, 1 juli 2013

Brandweeracademie
Postbus 7010
6801 HA Arnhem

T 026 255 24 10
F 026 351 50 51

info@ifv.nl

Voorwoord

Voor u ligt het afsluitende rapport van de derde fase van het innovatieproject “Effectbestrijding brand (rookverspreiding)”. Het betreft de rapportage van een experimenteel onderzoek naar middelen om schadelijke rook tijdens grote branden te beperken.

In de eerste fase van het project is met behulp van een innovatieve denkmethode (TRIZ) gebrainstormd om tot innovatieve oplossingen te komen om rookverspreiding te beperken. Dit heeft geleid tot een drietal mogelijke principes om de problematiek aan te pakken: de rook neerslaan, de rook filteren of het bevorderen van een volledige verbranding waardoor schadelijke stoffen zoveel mogelijk verbranden, dan wel pluïmstijging wordt bevorderd.

In de tweede fase van dit innovatieproject zijn voor deze principes een aantal oplossingen nader onderzocht op basis van beschikbare informatie in de literatuur of op internet.

In dit rapport wordt de laatste fase van het project beschreven, waarbij samen met verschillende publieke en private partijen een aantal oplossingen experimenteel zijn getoetst op hun toepasbaarheid. Als spin-off van dit project wordt nu samen met de TU Delft een promotievoorstel uitgewerkt om met elektrostatische lading rook te filteren of zelfs branden te ‘blussen’.

De experimentele onderzoeken zijn onder de vlag van het LivingLab Fysieke Veiligheid¹ in gezamenlijkheid door de Brandweeracademie (IFV), het RIVM en Efectis Nederland BV uitgevoerd op de Campus Vesta in België.

Het is nieuw voor de Brandweeracademie (IFV) om praktijkexperimenten op zo grote schaal uit te voeren. Het uitvoeren van dit soort experimenten in samenwerking met anderen is voor alle partijen een leerproces geweest. Het RIVM is door dit onderzoek in staat gesteld een aantal van hun meetmethoden onder ‘geconditioneerde’ omstandigheden in te zetten. Efectis NL is in de gelegenheid gesteld om ervaring op te doen met een grote meetopstelling, waarmee herhaalde metingen kunnen worden uitgevoerd. Ook het NLR had graag met ‘Unmanned Aerial Vehicles’ (‘drones’) deelgenomen aan deze experimenten maar kreeg niet op tijd de vereiste toestemming van de Belgische luchtvaartautoriteiten. Zo hebben verschillende partners veel ervaring kunnen opdoen tijdens deze experimenten. Dit is door alle partijen als bijzonder leerzaam ervaren.

Dit onderzoek kon worden uitgevoerd dankzij een innovatiesubsidie die verstrekt is door het Ministerie van Veiligheid en Justitie aan de Brandweer Amsterdam-Amstelland en de belangeloze medewerking van BASF, Firetexx en Geoborn. Brandweer Amsterdam-Amstelland heeft als opdrachtgever gefungeerd en de brandweeracademie (IFV) als opdrachtnemer en hoofduitvoerder van dit onderzoek.

Ronald Heus
Senior onderzoeker IFV

¹ Het LivingLab Fysieke Veiligheid is een informeel publiek privaat samenwerkingsverband om vraagstukken op het gebied van Fysieke Veiligheid in cocreatie met elkaar op te lossen.

Managementsamenvatting

Experimenteel onderzoek beperking rookverspreiding

In de laatste fase van het door het ministerie van Veiligheid & Justitie gesubsidieerde innovatieproject "Effectbestrijding brand (rookverspreiding)" is samen met verschillende publieke en private partijen een aantal oplossingen experimenteel getoetst op hun toepasbaarheid om rookverspreiding tegen te gaan. In gezamenlijkheid en onder de vlag van het LivingLab Fysieke Veiligheid zijn door de Brandweeracademie (Instituut Fysieke Veiligheid, IFV), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Efectis Nederland BV, BASF, Firetexx en Geoborn de experimentele onderzoeken uitgevoerd op de Campus Vesta in België.

Voor de experimentele condities is een ronde brandbak van ca. 80m² gebouwd, waarin een standaard vloeistofplasbrand met dieselolie (800 liter per sessie) is gecreëerd. Op de rook van deze brand zijn interventies gepleegd, die gebaseerd zijn op een viertal principes, te weten:

1. aanwakkeren om volledige(r) verbranding te realiseren of om pluimstijging te bevorderen,
2. filteren van de schadelijke rookgassen en –deeltjes met een watermist,
3. zo snel mogelijk afdekken van de brand,
4. afbuigen van de rookpluim.

De interventies zijn uitgevoerd met de Turbolöscher (BASF) (1, 2, en 4), Microturbine (Geoborn) (1) en blusdeken (Firetexx) (3). Om de effectiviteit van de interventies te bepalen zijn door het IFV, RIVM en EfectisNL observaties en metingen van de rookwolk uitgevoerd en vergeleken met een controleconditie, de vloeistofplasbrand volledig laten uitbranden.

De vloeistofplasbrand had een gemiddelde brandtijd van ongeveer 5 minuten en stond daarmee niet in verhouding tot de tijdsduur van een grote brand met veel rookontwikkeling. Ondanks dat dit van tevoren bekend was is voor het experiment toch besloten om voor deze brandhaard te kiezen. De reden was dat er voldoende rookontwikkeling zou zijn en dat de condities gedurende de experimenteerdag het best reproduceerbaar waren om de verschillende interventiemethoden met elkaar te vergelijken. Toch is vanwege lastig beheersbare omgevingscondities (wind, vochtigheid en temperatuur) in de buitenlucht niet in alle gevallen dezelfde hoeveelheid rook over de meetopstellingen gegaan. Op basis van de resultaten van de verschillende meetinstrumenten lijkt de chemische samenstelling bij de verschillende interventies nauwelijks te verschillen. Er is tussen de opeenvolgende testen ook geen waarneembaar verschil in de hoeveelheid rook die vrijkwam en de wijze waarop die rook zich over grotere afstand (dus verder dan enkele tientallen meters) verspreidde. Wel viel op dat bij de conditie om de rook af te buigen met de turbostraal van de Turbolöscher het inblazen van lucht leidde tot naverbranding in de rookpluim. De interventie met de blusdeken was de enige uitzondering op de rookverspreiding. Door het blussen van de brand met de blusdeken is de rookproductie direct gestopt.

De meeste van de nu onderzochte interventies om schadelijke rookverspreiding te beperken lijken voorsnog onvoldoende effect op te leveren. Tot nu toe lijkt de beste methode de brand zo snel mogelijk te doven, zodat geen rook meer vrij komt.

Met een blusdeken levert dat ook geen schadelijke neveneffecten voor de omgeving op, zoals dat bij uitmaken met bluswater en/of blusschuim wel het geval kan zijn. De mogelijkheden om met blusdekens te werken zal nader moeten worden onderzocht. Verder is het de moeite waard nader onderzoek te verrichten naar het inbrengen van lucht in de rook. Tijdens de experimentele conditie om de rook af te buigen bleek namelijk dat naverbranding in de rook een belangrijk bijeffect was van deze interventie.

Inhoud

Voorwoord	2
Managementsamenvatting	3
Inhoud	5
1 Inleiding	6
2 Methode en materialen	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Experimentele condities	8
2.3 Metingen	9
3 Resultaten	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Volledig uit laten branden van de brand	13
3.3 Aanwakkeren van de brand	15
3.4 Filteren van de rook	15
3.5 Afbuigen van de rook	16
3.6 Afdekken van de brandhaard	16
3.7 Samenvatting resultaten	17
4 Discussie en conclusies	19
4.1 Algemeen	19
4.2 Aanwakkeren van de brand	19
4.3 Filteren van de rook	20
4.4 Afbuigen van de rook	21
4.5 Afdekken van de brandhaard	21
4.6 De experimentele set-up	21
4.7 Hypothesen	22
4.8 Leerpunten van het experiment	22
5 Aanbevelingen	24
Dankwoord	24
Referenties en overige bronnen	25
Bijlage 1	
Rapportage Efectis Nederland B.V.: Rookbeheersing bij grote branden	
Bijlage 2	
Rapportage RIVM: Experimenten Rookverspreiding te Campus Vesta	

1 Inleiding

Op dit moment zijn er voor de brandweer nog geen goede middelen beschikbaar om de schadelijke effecten van rook bij (grote) branden te minimaliseren. Het enige dat de overheid nu kan doen is waarschuwen voor mogelijke gevolgen voor de (volks)gezondheid tijdens grote branden op basis van door de brandweer uitgevoerde gasmetingen. In fase 1 van dit onderzoek zijn middels een innovatieve denkmethode (TRIZ) oplossingen bedacht, die de brandweer kan inzetten om de schadelijke effecten van rook tegen te gaan². Een aantal van die oplossingen worden zo kansrijk geacht dat ze in een experimentele setting op hun effectiviteit om rookverspreiding tegen te gaan worden getoetst. Het gaat om de Turbolöscher, Microturbine en het 'Blusgordijn'/Blusdeken. Dit is de laatste fase van het door het Ministerie van Veiligheid en Justitie gesubsidieerd innovatietraject. De hiervoor toegekende innovatiesubsidie Maatschappelijk Veiligheid staat onder beheer van Brandweer Amsterdam-Amstelland en heeft als doel een methode of middel te ontwikkelen waarmee de schadelijk effecten van rook bij een grote brand kunnen worden voorkomen of geminimaliseerd. Voor deze laatste fase is gekozen een standaard reproduceerbare brand van een dusdanige omvang te creëren, dat er sprake is van voldoende rookontwikkeling. Op die manier is het mogelijk om de verschillende methoden/middelen objectief met elkaar te vergelijken.

Het doel van het experimenteel onderzoek is om de vermindering van rookverspreiding in tijd en/of omvang te bepalen van een gecreëerde standaardbrand. Voor de standaard reproduceerbare brand is gekozen voor een vloeistofplasbrand met dieselolie met een oppervlak van ca. 100 m². De gecreëerde vloeistofplasbrand is **geen** representatieve weergave van de branden, waarbij rookverspreiding een probleem is. Toch is voor een vloeistofplasbrand gekozen, omdat er voor elk type interventie om rookverspreiding te beperken een goed vergelijkbare gecontroleerde brand kan worden gecreëerd. Echte praktijkproeven zullen moeten uitwijzen of de oplossingen ook werken in de dagelijkse praktijk. De onderzoeken zeggen dus alleen iets over die specifieke brand, maar maken het wel mogelijk om de verschillende methoden/middelen met elkaar te vergelijken op hun effectiviteit.

Naar aanleiding van de eerste twee fasen van dit onderzoek zijn een aantal hypothesen geformuleerd. De hypothesen komen overeen met ideeën die in het brandweerveld al langere tijd leven over de manieren waarop mogelijkwijze het effect van grote rookwolken zou kunnen worden beperkt. In dit onderzoek worden deze hypothesen voor het eerst in de praktijk getoetst. Deze hypothesen zijn:

- Door het inbrengen van zuurstof (of lucht) in de brandhaard ontstaat een meer brandstof gecontroleerde brand, die niet meer zuurstofbeperkt is. Daardoor zal de temperatuur van de brand toenemen (en dus de pluimstijging) en zal er een vollediger verbranding plaatsvinden (en er dus minder schadelijke deeltjes en schadelijke gassen in de rookpluim aanwezig zijn).
- Het 'filteren' van de rook. Hiervoor zijn twee alternatieven bedacht, te weten 1) filteren met een textiel doek en 2) neerslaan, uitwassen en verdunnen met een watermist. Door het inblazen van een watermist in de rookkolom kan de rook worden gefilterd en zal de concentratie schadelijke deeltjes en gassen kleiner worden en zich over een kortere afstand uitstrekken.
- Door gebruik te maken van een verstikkend blusmiddel (zoals zand of een andere afdekking) zal de brand sneller worden gedoofd dan met water, en ontstaat er een geringer milieueffect.

² Rapportage Fase 1; Heijnen e.a. (2011) en Rapportage fase 2a; Heus en Dikkenberg (2012)

Een andere veel gehoorde hypothese dat het ook mogelijk zou zijn om een brandstof, zoals benzine, in de brand in te brengen, waardoor het harder zou gaan branden en de brand sneller uit zou gaan is als hypothese op voorhand afgewezen omdat hiermee het zuurstofgebrek juist groter wordt, en er daarom zelfs meer rook zou ontstaan (R.Weewer 2013). Bovendien is een vloeistofplasbrand niet geschikt om een dergelijke hypothese te toetsen.

De onderzoeksvragen die gebaseerd zijn op bovengenoemde hypothesen hebben betrekking op de brand zelf, de methoden om de (effecten van de) rook van de brand te verminderen en de gevolgen van de inzet van het middel of de methode voor de inzet van brandweer(peroneel). Het gaat om onderstaande onderzoeksvragen:

Algemeen

- Welke schadelijke stoffen bevat de rook van een vloeistofplasbrand?
- Hoe lang brandt een vloeistofplasbrand van dieselolie met een oppervlak van ca. 100 m²?
- Wat is de hittestralingsintensiteit van de standaardbrand?

Specifiek

- Kun je door de brand aan te wakkeren de schadelijkheid van de rook van de brand verminderen?
- Is het mogelijk schadelijke deeltjes uit de rook van een vloeistofplasbrand te filteren?
- Hoe snel kun je een vloeistofplasbrand uitkrijgen?
- Is het mogelijk om de rook zodanig af te buigen dat de rookkolom niet over dichtbevolkte gebieden gaat?

2 Methode en materialen

2.1 Inleiding

De onderzoeksactiviteiten bestonden uit het meten van 'blootstellingstijden' aan de rook en concentraties van schadelijke stoffen in de rook. Verder is gemeten wat de effecten zijn van aanwakkeren van de brand op de concentraties schadelijke stoffen en de duur dat de brand woedt. Er is onderzocht of het mogelijk is om schadelijke deeltjes uit de rook te filteren met een watermist en hoe snel een brand met zo min mogelijk schade voor mens en omgeving uitgemaakt kan worden. Voor zover mogelijk is bepaald wat de toepassing van een methode of middel betekent voor het optreden van brandweer (personeel). De praktijkexperimenten zijn uitgevoerd op een oefencentrum van de brandweer van Antwerpen (Campus Vesta). Alle experimentele condities zijn getoetst tegen een 0-meting. Deze 0-meting bestond uit het in brand steken van de plas dieselolie van ca. 100 m² en wachten tot deze vanzelf uitgaat. De bak die voor de experimenten is gebouwd op de Campus Vesta had uiteindelijk een oppervlakte van 78,5m². Dat was kleiner dan aanvankelijk de bedoeling was. Reden hiervoor was dat de blusdeken geproduceerd was voor een vierkante bak van 100m². De blusdeken kon op korte termijn niet meer worden aangepast en is besloten een ronde bak met een diameter van 10 meter te bouwen i.p.v. een ronde bak met een oppervlakte van 100m².

2.2 Experimentele condities

Zoals eerder vermeld is er een reproduceerbare standaardbrand van ca. 78,5m² gecreëerd waarbij op een realistische manier de verschillende systemen konden worden vergeleken. De bak is gevuld met water met daarop een laag dieselolie van 1 cm. Er is gewerkt volgens een viertal principes, namelijk:

5. aanwakkeren om volledige(r) verbranding te realiseren of om pluimstijging te bevorderen,
6. filteren van de schadelijke rookgassen en –deeltjes met een watermist,
7. zo snel mogelijk afdekken van de brand,
8. afbuigen van de rookpluim.

Er zijn een drietal middelen/systemen onderzocht, namelijk:

- a. Turbolöscher,
- b. Microturbine,
- c. blusdeken.

Ad. 1 Voor het aanwakkeren zijn zowel de turbines van de Turbolöscher (Fig. 1) als de Microturbine (Fig. 2) ingezet. Het aanwakkeren van de brand gebeurde met de turbines gepositioneerd met de wind in de rug (bovenwinds). De Turbolöscher stond ongeveer 30 meter van de brandhaard en de Microturbine op ongeveer 10 meter van de brandhaard.

Ad. 2 Voor het filteren van de rook is gekozen om de rook met behulp van een door de Turbolöscher geproduceerde watermist uit te wassen.

De Turbolöscher is in staat met een waternevel de rook uit te wassen en zo de schadelijke deeltjes en gassen te 'filteren'. De positie van de Turbolöscher was bij deze test haaks op de rookpluim.

De aanvankelijke gedachte om met een textiel/koolstof filter de rook te filteren is vanwege moeilijkheden met de praktische uitvoerbaarheid niet in beschouwing genomen.

Ad. 3 Het zo snel mogelijk afdekken van de brand gebeurde met behulp van een textiele blusdeken van 11*15 meter (Fig. 3). Deze blusdeken is er met vier

brandweermensen vanaf bovenwinds ten opzichte van de brandhaard overheen getrokken.

Ad. 4 Het afbuigen van de rookpluim is gedaan met behulp van de turbines van de Turbolöscher.



Figuur 1 Turbolöscher



Figuur 2 Microturbine



Figuur 3 Blusdeken

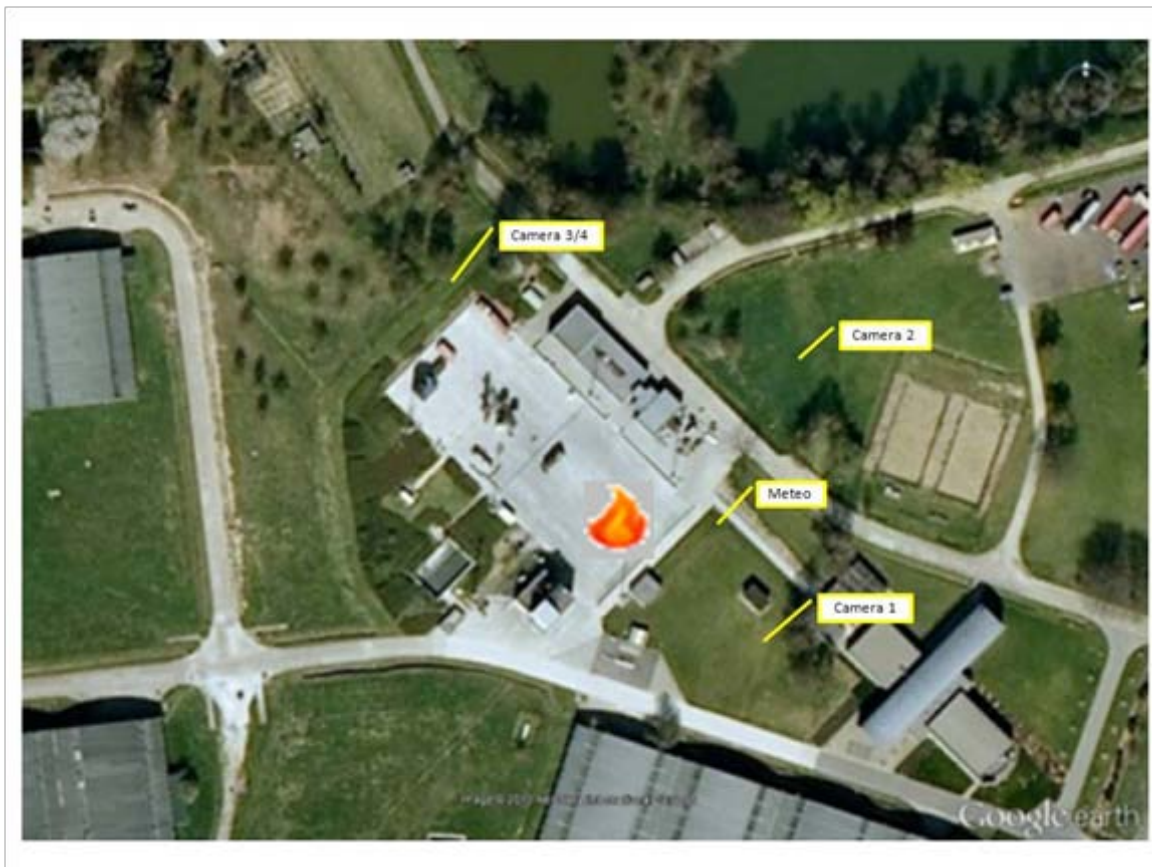
Ter vergelijking is twee maal een controleconditie uitgevoerd, waarbij de bak met dieselolie volledig uitbrandde zonder dat een interventie op de rook is gepleegd. De volgende experimentele condities zijn vergeleken met de genoemde controlecondities:

- brand aanwakkeren met Turbolöscher,
- brand aanwakkeren met Microturbine,
- rook neerslaan met Turbolöscher,
- rook neerslaan met Turbolöscher (herhalingsmeting),
- rook afbuigen door blazen met Turbolöscher,
- brand doven met blusdeken,
- brand doven met blusdeken (herhalingsmeting).

2.3 Metingen

Van alle experimentele condities is met een stopwatch de tijd gemeten dat de dieselolie in de bak brandde. Op het moment dat de bak met dieselolie volledig was ontbrand is de stralingintensiteit bepaald met een U-DRM (Unidirektional Delta-Radiometer) stralingsmeter (Hund GmbH) op 5 meter afstand met de wind in de rug.

Tijdens alle experimentele condities zijn door Efectis gestandaardiseerde video-opnamen gemaakt met 4 vaste cameraposities en Efectis heeft met een weerstation ook de heersende klimatologische omstandigheden gemeten tijdens alle condities (Fig. 4). Efectis heeft vervolgens aan de hand van de video-opnamen bepaald of interventies om de rookverspreiding te beperken al dan niet succesvol zijn geweest.

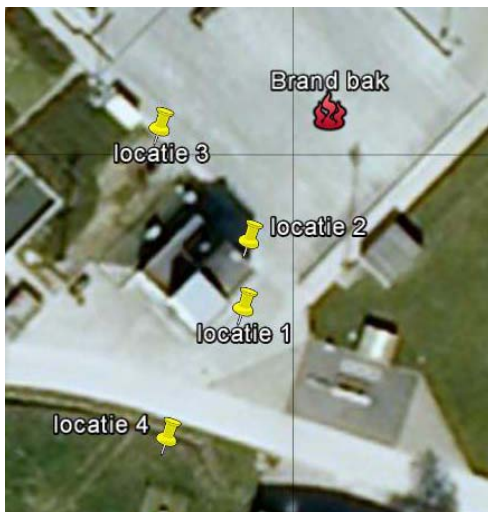


Figuur 4 Cameraposities en weerstation ten opzichte van brandhaard

Het RIVM heeft de omvang van de rookpluim bepaald en heeft rookgasmetingen en metingen naar rookdeeltjes uitgevoerd. Het gaat daarbij om de volgende metingen, die in bijlage 2 van dit rapport uitvoerig zijn beschreven. Het RIVM brengt nog separaat een rapportage over de uitgevoerde metingen uit.

- LIDAR, Light Detection And Ranging. De hoeveelheid terugkerend licht van het LIDAR systeem is een maat voor de hoeveelheid aerosol in de lucht. Door ook de tijd te meten die verstrijkt voordat een lichtpuls terugkeert, is ook de afstand van dat aerosol tot de LIDAR te bepalen. Naast aerosol kan het LIDAR systeem op dit moment concentraties en emissies meten van vier sporengassen: stikstofdioxide, zwaveldioxide, ammoniak en benzeen. De LIDAR is op een positie ca. 700m van de brandhaard gepositioneerd.

M.u.v. de LIDAR zijn de overige metingen op een viertal posities benedenwinds van de brandhaard uitgevoerd (Fig. 5).



Figuur 5 De locaties van de meetopstellingen, locatie 1 was rechts naast het oefengebouw, locatie 2 op het dak van het oefengebouw, locatie 3 links naast het oefengebouw en locatie 4 was achter het oefengebouw.

Op de 4 aangegeven locaties zijn de volgende meetinstrumenten geplaatst:

- 'Canisters' zijn stalen bollen die onder vacuüm aangeleverd zijn en zo rook aanzuigen. Tijdens ieder experiment is een aantal canisters open gezet (de meeste op meetlocatie 2) waardoor deze in enkele seconden met omgevingslucht is gevuld. Daarvoor is steeds gewacht tot het moment dat de rook het beste over de opstelling kwam. De lucht in de canisters zijn bij het RIVM bij het Centrum Veiligheid geanalyseerd op een 40-tal vluchtige organische componenten.
- 'eNose' bevat een viertal gasgevoelige sensoren. De meetwaarden zijn iedere 10 seconden gelogd en zijn regelmatig verstuurd naar de website van het RIVM waar de concentraties gevolgd kunnen worden. De eNose registreert geuroverlast en hoge concentraties gevaarlijke stoffen.
- 'Q-trak' (TSI) is eigenlijk bedoeld om in binnenlucht kooldioxide (CO_2), koolmonoxide (CO), temperatuur en relatieve vochtigheid te registreren en is derhalve niet robuust uitgevoerd. Op iedere meetlocatie is een Q-trak geplaatst.
- 'P-trak' (TSI) telt het aantal deeltjes in de lucht per cc. Het zuigt continu lucht aan en verzadigde het luchtmonster met een alcohol damp waardoor de deeltjes groeien en ze eenvoudig te tellen zijn. Op twee locaties (1 en 2) is een P-trak geplaatst.
- 'MiniRae 3000 VOC' monitor registreert de som van de concentraties vluchtige organische stoffen (VOC) in lucht en logt deze 10 keer per minuut. Op twee locaties (1 en 2) is de MiniRae 3000 VOC monitor ingezet.
- 'MultiRae' sensoren bevatten een aantal gassensoren: HCN, NO_2 , NH_3 , Cl_2 , SO_2 , NO, H_2S , PH_3 , CO en CO_2 . Op twee locaties (1 en 2) zijn deze twee MultiRae's geplaatst. Op de andere locaties zijn de PACIII sensoren van Dräger geplaatst.
- 'KleinFilterGerät' verzamelt stof op kwartsvezelfilters. Deze filters worden vooraf en achteraf gewogen zodat de hoeveelheid stof in de lucht bepaald kan worden. De filters kunnen in een later stadium ook geanalyseerd worden. In dit geval is geanalyseerd op elementen. Voor ieder experiment is een nieuw filter ingezet. Op iedere locatie is een KFG geplaatst.
- 'Veegplaten' zijn een afveegbaar oppervlak die op alle locaties zijn geplaatst. Voor en na ieder experiment zijn deze oppervlakken geveegd met watten. Op deze manier wordt gekeken naar de hoeveelheid depositie per oppervlak. In eerste instantie gaat het vooral om visuele waarneming. Mocht er aanleiding voor zijn dan kan er ook een analyse plaats vinden.

- ‘Gasmeter FTIR’ is gebruikt om continu de lucht te analyseren. Dit instrument zuigt lucht aan en meet deze lucht batchgewijs in een meetcel. Het infrarood spectrum kan automatisch en handmatig geanalyseerd worden op ongeveer 200 verschillende stoffen. Water en kooldioxide (CO₂) hebben een zeer markant spectrum en nemen een groot deel van het spectrum in. De overige stoffen kunnen in concentraties van enkele ppm (parts per million) aangetoond worden in het resterende spectrum.

Tenslotte heeft het RIVM tijdens de experimenten bovenwinds een SODAR (Sonic Detection And Ranging) geplaatst. Een SODAR meet met behulp van geluidsgolven de windsnelheid en –richting op verschillende hoogtes (tot ruim 100 meter) in de atmosfeer.

In onderstaand schema zijn alle experimentele condities en de uit te voeren metingen samengevat (Tabel I).

Tabel I Experimentele condities beperking rookverspreiding

Interventiemiddel	Turbolöscher	Microturbine	Rookgordijn/ Blusdeken	Te meten parameters
Soort brand				
Vloeistof plasbrand 78,5m²				
Campus Vesta, Ranst BE	Water vernevelen om rook te neutraliseren en neer te slaan (2*)			Metten samenstelling rook en vergelijken met samenstelling rook wanneer geen interventie wordt gedaan. Video-opnamen van de rookkolom
			Afdekken (2*)	Tijd meten waarbij geen zichtbare rook en/of vuur meer is te zien. Video-opnamen van de rookkolom
	Vuur aanwakkeren om volledige(r) verbranding te realiseren	Vuur aanwakkeren om volledige(r) verbranding te realiseren		Metten samenstelling rook en snelheid waarmee vuur dooft t.o.v. geen interventie. Video-opnamen van de rookkolom
	Rook afbuigen			Metten samenstelling en richting van de rook

3 Resultaten

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de verschillende methoden kort beschreven. Een uitgebreide bespreking is terug te vinden in de rapportages van Efectis Nederland BV en het RIVM. Deze rapportages zijn opgenomen in respectievelijk bijlage 1 en bijlage 2 van dit rapport. Beeldmateriaal van de afzonderlijke experimentele condities is ook weergegeven in de bijlagen.

Tijdens de experimentele condities is in alle gevallen de hittestralingsintensiteit van de brandhaard bepaald op het moment dat deze volledig tot ontbranding was gekomen. De hittestralingsintensiteit was gemiddeld $6,3 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Tijdens de interventies zijn geen metingen gedaan, omdat onbekend was wat het effect van de interventies op de brandhaard was.

De gemiddelde brandtijd van de bak met dieselolie met uitzondering van de condities met de blusdeken bedroeg 5 minuten en 7 seconden. De referentiebranden aan het begin en aan het eind van de experimenteedag waren goed vergelijkbaar. Zowel de klimatologische omstandigheden als de tijdsduur tot volledige uitgaan van de brand vertoonden nauwelijks verschillen tussen de condities.

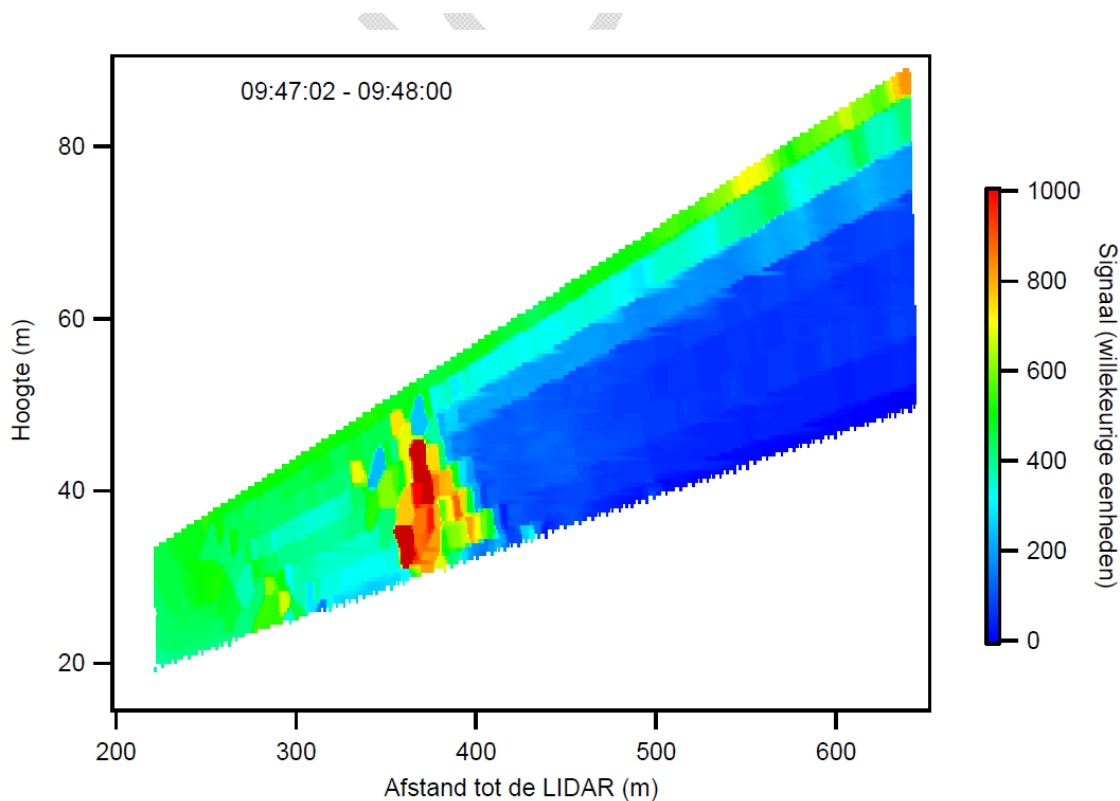
De SODAR metingen laten zien dat de windsnelheid laag was en de windrichting veranderlijk. Dat maakt het voor de betreffende experimenten lastig (door de veranderlijke windrichting is het lastig te kiezen wat de ideale positie is voor de meetopstellingen). De door het RIVM ingezette meetopstellingen registreerden tijdens alle condities vrijwel dezelfde samenstelling van de rook. Er zijn wel verschillen in concentraties waargenomen, maar het is lastig te bepalen of die het gevolg waren van de genomen interventies of van de op dat moment heersende weersomstandigheden.

In de hierna volgende paragrafen worden de resultaten per experimentele conditie besproken, waarbij de referentiewaarde het volledig laten uitbranden een gemiddelde is van de eerste en de laatste experimentele conditie.

3.2 Volledig uit laten branden van de brand

Het volledig uitbranden duurde 4 minuten en 50 seconden tijdens de eerste conditie en tijdens de laatste conditie was dat 4 minuten en 34 seconden. De gemeten stralingsintensiteit van de brandhaard was respectievelijk $4,8 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ en $6,2 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

Tijdens de eerste referentiebrand zijn met de LIDAR in totaal zeven volledige scans gemaakt in drie meetrichtingen (zie Figuur 2 van bijlage 2 voor de ligging van de meetrichtingen). Deze zeven scans dekken het hele eerste experiment, van de eerste tot de laatste rookontwikkeling. Figuur 6 geeft een voorbeeld van een LIDAR scan.



Figuur 6 Pluimdoorsnede gemeten met de LIDAR op meetrichting 1, tussen 9:47 en 9:48 uur.

De gemiddelde lengte van de rookpluim was 424 meter, de maximale hoogte van de as van de rookpluim was 62 meter, de horizontale breedte van de rookpluim was 63 meter en de gemiddelde hoogte van de rookpluim zelf was 16 meter. De LIDAR is na het eerste experiment defect geraakt en kon niet meer worden gerepareerd, zodat er tijdens de andere condities geen LIDAR gegevens meer beschikbaar zijn.

Omdat het hier een complexe meetopstelling betrof en verschillende partijen met elkaar moesten samenwerken heeft het RIVM de eerste meting gebruikt als pilotmeting om alle meetinstrumenten te testen. Hierdoor zijn van de eerste referentie meting geen bruikbare onderzoeksgegevens van de Canisters, Q-trak, P-trak, MiniRae en Multirae sensoren en het Kleinfiltergerät. Deze gegevens zijn echter wel verzameld bij de laatste experimentele conditie, die een herhaling was van de eerste conditie.

De canistermonsters van de (tweede) referentiebrand gaven voor vluchtige organische componenten waarden lager dan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De eNose, waarmee alleen naar vluchtige organische componenten is gekeken reageert vooral op dampen van de warme dieselolie in plaats van vluchtige organische componenten in de rook. De Minirae-metingen ondersteunden dat resultaat. Genoemde waarden voor vluchtige organische componenten zijn laag. Verder zijn door de Multirae gassensoren en de Gasmetingen geen verhoogde concentraties CO en CO₂ gemeten. Dit kon **niet** worden onderschreven door de Q-trak metingen omdat deze net als de P-trak (deeltjes) metingen in het geheel ontbraken voor de referentiebrand. Dat was het gevolg van de positie van deze twee meetinstrumenten, omdat door (gewijzigde) weersomstandigheden er 's middags geen rook over deze meetinstrumenten ging.

Het Kleinfiltergerät en veegmonsters toonden aan dat er wel roet- en stofdeeltjes in de rook zitten. Het was echter moeilijk na te wegen door de hoeveelheid vocht in de monsters, zodat er geen kwantitatieve waarden voor deeltjes in de rook zijn te geven. Nadere analyse toonde aan dat er wel zwavel in het stof zat, maar dat geen zware metalen zijn aangetoond.

Tenslotte zijn stoffen als benzeen (C₆H₆) en blauwzuur (HCN), die geregeld vrijkomen bij grote branden (Mennen e.a. 2009) tijdens **geen** van de experimentele condities aangetoond.

3.3 Aanwakkeren van de brand

Bij het aanwakkeren met de Turbolöscher brandde de brandhaard 5 minuten en 14 en was de stralingsintensiteit van de brandhaard 6,6 kW·m⁻². Bij het aanwakkeren met de Microturbine was de brandtijd 5 minuten en 10 seconden en was de stralingsintensiteit van de brandhaard 6,5 kW·m⁻². Er is geen verschil tussen deze experimentele condities qua brandduur en stralingsintensiteit.

Het gevolg van het aanwakkeren van de brand met de turbines van zowel de Turbolöscher als de Microturbine (respectievelijk test 2 en test 3) was dat zowel met de Turbolöscher als met de Microturbine de hoek van de rookpluim met de verticaal 10 tot 15 % afnam. Er was sprake van een effect op de rookpluim, maar dat was slechts beperkt tot de eerste paar meter. Daarna vervolgde de rookpluim zijn normale baan. Ook het volume van de rookpluim nam niet af.

De monsters van de canisters toonden bij de interventie aanwakkeren net als bij gewoon laten uitbranden geen concentraties hoger dan 10 µg/m³. De eNose gaf tijdens aanwakkeren met de Turbolöscher concentraties vluchtige organische componenten, die bij de conditie met de Microturbine niet werden gemeten. De Minirae-metingen onderstreepte dit verschil echter niet, omdat deze metingen in beide gevallen geen noemenswaardige verhoging aangaven van concentraties vluchtige organische componenten.

De Q-trak metingen toonden aan dat concentraties CO en CO₂ verhoogd waren voor deze interventie met zowel de Turbolöscher als de Microturbine. Voor de Turbolöscher werd dat ook met de Multirae en Gasmeter gemeten, maar niet voor de Microturbine. Voor de bepaling van stofdeeltjes in de rook met de P-trak metingen was er een zelfde beeld, namelijk hogere stofconcentraties tijdens het aanwakkeren met de Turbolöscher in vergelijking met de Microturbine. De roet- en stofdeeltjes metingen met het Kleinfiltergerät en de veegmonsters gaven aan dat er geen rook over de opstellingen is gegaan met de Microturbine, maar met de Turbolöscher is duidelijk vervuiling van de monsters te zien.

3.4 Filteren van de rook

Het filteren van de rook door middel van een watermist waarmee de deeltjes uit de rook gewassen worden is twee maal (test 4 en 5) uitgevoerd met behulp van de Turbolöscher. De tijd dat de brandhaard brandde was respectievelijk 5 minuten en 24 seconden en 5 minuten en 11 seconden. Opmerkelijk was het verschil in stralingsintensiteit tussen beide experimentele condities, namelijk 4,8 kW·m⁻² en 9,2 kW·m⁻².

Tijdens deze experimentele condities leek de rook aan de onderzijde lichter (=grijzer) van kleur en enigszins uit te zakken. Aan de bovenzijde van de rookkolom was geen zichtbaar effect te zien.

Ook bij deze condities toonden de monsters van de canisters geen hogere concentraties voor vluchtige organische componenten dan 10 µg/m³, zoals bij alle experimentele

condities is gebleken. Twee experimenten met neerslaan met de Turbolöscher vertonen bijna hetzelfde beeld voor de metingen met de eNose. Er zijn al concentraties vluchtige organische componenten zichtbaar bij de start van het experiment. Dit is vermoedelijk de damp van de diesel. Tijdens het experiment dalen de concentraties. Na het experiment lopen de concentraties weer op. Het nasmeulen kan hierin een rol spelen, maar de motor van de Turbolöscher zou ook een bron kunnen zijn. De Minirae vertoonde **geen** noemenswaardige verhoging van concentraties vluchtig organische stoffen.

De Q-trak metingen leverden niet veel informatie op met betrekking tot CO en CO₂ concentraties. Door de grote vochthoeveelheden die de Turbolöscher verspreidde tijdens het filteren van de rook met een watermist zijn deze metingen niet gelukt. De Multirae en Gasmeter gaven wel verhoogde concentraties CO en CO₂ tijdens het filteren van de rook met de Turbolöscher.

De P-trak metingen gaven duidelijk hogere stofconcentraties tijdens beide condities met het filteren met een watermist. De roet- en stofdeeltjes metingen met het Kleinfiltergerät en de veegmonsters gaven aan dat er tijdens deze condities met de Turbolöscher duidelijk meer vervuiling van de monsters is te zien.

3.5 Afbuigen van de rook

Conditie 6 met de Turbolöscher was bedoeld om de rook in een andere richting te buigen. Doel van deze interventie is te voorkomen dat de rookwolk over dichtbevolkt gebied trekt. Deze experimentele conditie duurde 5 minuten en 27 seconden en de stralingsintensiteit van de brandhaard was 7,6 kW·m⁻².

Het effect van het blazen met de turbines in de rook had tot gevolg dat op een hoogte van 10 meter de onverbrande gassen tot ontbranding kwamen en een vuurbol met een diameter van meer dan 10 meter ontstond. Gevolg was een door de omstanders waargenomen (niet gemeten) hogere hittestralingsintensiteit. De rook werd minimaal afgebogen en op een hoogte van 15 tot 20 meter was het effect van afbuigen al teniet gedaan en is er dus nauwelijks effect van de turbines op de richting van de rookwolk. Bij het beoordelen van deze test is het van belang om vast te stellen dat de windsnelheid (op 3 m hoogte) relatief laag was ten tijde van deze conditie (1 – 1,3 m/s).

Afbuigen van de rook met de Turbolöscher leidde ertoe dat er nauwelijks rook over de meetopstellingen kwam. De monsters van de canisters toonden zoals bij alle eerdere condities geen concentraties hoger dan 10 µg/m³. De eNose en Minirae vertoonde geen noemenswaardige verhoging van concentraties vluchtig organische stoffen.

De Q-trak metingen hebben geen resultaten opgeleverd voor CO en CO₂ concentraties. De Multirae en Gasmeter leverden door het afbuigen van de rook ook geen resultaten op. De roet- en stofdeeltjes metingen met het Kleinfiltergerät en de veegmonsters gaven aan dat er tijdens deze conditie met de Turbolöscher wel vervuiling was te zien. De Q-trak en P-trak metingen hebben geen resultaten meer opgeleverd na conditie 5 (filteren van de rook met een watermist) als gevolg van de grote hoeveelheden water die over deze meetinstrumenten zijn gekomen.

3.6 Afdekken van de brandhaard

Er zijn twee condities met de blusdeken (test 7 en 8) geweest, die beide succesvol waren. De brand was binnen **enkele seconden** gedoofd, waarna de rookproductie was gestopt. Wel kwamen brandbare gassen nog enkele seconden aan de rand van de bak tot (her)ontsteking. De stralingsintensiteit van de brandhaard is alleen bij de eerste test

gemeten en was $4,6 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Na twee experimentele condities heeft men het restant van de dieselolie laten opbranden.

De monsters van de canisters toonden opnieuw geen concentraties hoger dan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Er zijn verschillen in gemeten concentraties vluchtige organische componenten tussen beide condities. De concentraties vluchtige organische componenten waren het hoogst na de laatste experimentele conditie met de blusdeken. Dit is zowel door de eNose als de Minirae gemeten. Dat was mogelijk het gevolg van het geheel uitlaten branden van de bak met resterende dieselolie. Dat laatste was noodzakelijk om vervolgens de bak opnieuw te kunnen vullen met de standaard hoeveelheid brandstof voor de volgende experimentele conditie.

Zoals vermeld in de vorige paragraaf hebben de Q-trak en P-trak metingen geen resultaten meer opgeleverd na experiment 5 (filteren van de rook met een watermist). De Multirae en Gasmeter leverden geen concentraties op voor CO en CO₂, maar dat is mogelijk het gevolg van de geringe rookproductie door het snel doven van de brand. De roet- en stofdeeltjes metingen met het Kleinfiltergerät en de veegmonsters gaven aan dat er tijdens deze conditie wel enige vervuiling was te zien.

3.7 Samenvatting resultaten

In onderstaande tabel zijn de resultaten van alle experimentele condities samengevat.

Tabel II Resultaten van de experimentele condities

Experimentele conditie	Brandhaard		Visuele rook				Rooksamenstelling	
	brand-tijd	straling	hoek met horizontaal	hoogte	om-vang	kleur	deeltjes	gassen
Volledig uit laten branden	4'50"	4,8kW/m ²	± 60°	30-40m	referentie	zwart	roet (C), S	H ₂ O, CO ₂ , CO
Volledig uit laten branden	4'34"	6,2kW/m ²	± 55°	30-40m	referentie	zwart	roet (C), S	H ₂ O, CO ₂ , CO
Aanwakkeren Turbolöscher	5'14"	6,6kW/m ²	± 45°	20-30m	volume gelijk	zwart	roet (C), S	H ₂ O, CO ₂ , CO
Aanwakkeren Microturbine	5'10"	6,5kW/m ²	± 55°	30-40m	Volume gelijk	zwart	roet (C), S	H ₂ O, CO ₂ , CO
'Filteren' met Turbolöscher	5'24"	4,8kW/m ²	± 60°	30-40m	uitzakken rookwolk	onderzijde grijs	meer roet	H ₂ O, CO ₂ , CO
'Filteren' met Turbolöscher	5'11"	9,2kW/m ²	± 60°	30-40m	uitzakken rookwolk	onderzijde grijs	meer roet	H ₂ O, CO ₂ , CO
Afbuigen Turbolöscher	5'27"	7,6kW/m ²	± 55°	30-40m	volume neemt toe	zwart	roet (C), S	H ₂ O, CO ₂ , CO
Blusdeken	± 20"	4,6kW/m ²	-	-	beperkt	zwart	minder roet	verhoogde concentratie diesel-damp
Blusdeken	± 20"	-	-	-	beperkt	zwart	minder roet	verhoogde concentratie diesel-damp

De brandtijd van de brandhaard was korter in het geval er geen interventie werd gepleegd (met uitzondering van de blusdeken). De stralingsintensiteit varieerde tussen de condities van 4,6 tot 9,2 kW/m².

De hoek van de rookwolk met de horizontaal nam door aanwakkeren met de Turbolöscher iets af en de hoogte leek ook iets af te nemen. De Microturbine had nauwelijks invloed. Tijdens de condities filteren met watermist was er geen invloed op de hoek met de horizontaal van de rookwolk. Wel is er op de meetlocaties meer roet gemeten, mogelijk het gevolg van het inbrengen van de watermist in de rook en vervolgens 'uitregenen' boven de meetlocaties.

Ook het afbuigen met de Turbolöscher leidde nauwelijks tot een effect op de rookwolk. Het inbrengen van de watermist had als gevolg dat vooral aan de onderzijde de rook lichter kleurde en de rookwol uitzakte, waardoor ook het volume toenam.

In geen van de gevallen zijn naast CO en CO₂ sterk verhoogde concentraties vluchtige organische componenten (VOC's) gevonden. Een uitzondering hierop zijn de blusdekencondities. Tijdens die condities zijn licht verhoogde concentraties VOC's gemeten als gevolg van (warme) dieseldampen en niet als gevolg van rookgassen.

4 Discussie en conclusies

4.1 Algemeen

De vloeistofplasbrand had een gemiddelde brandtijd van ongeveer 5 minuten en stond daarmee niet in verhouding tot de tijdsduur van een grote brand met veel rookontwikkeling. Ondanks dat dit van tevoren bekend was is voor het experiment toch besloten om voor deze brandhaard te kiezen. De reden was dat er voldoende rookontwikkeling zou zijn en dat de condities gedurende de experimenteerdag het best reproduceerbaar waren om de verschillende methoden met elkaar te vergelijken.

Er is tussen de opeenvolgende testen geen waarneembaar verschil in de hoeveelheid rook die vrijkwam en de wijze waarop die rook zich over grotere afstand (dus verder dan enkele tientallen meters) verspreidde. De enige uitzondering hierop vormde de blusdeken. Door het blussen van de brand met de blusdeken is de rookproductie direct gestopt.

Met de gebruikte meetmiddelen zijn nauwelijks verschillen aangetoond in vorm en omvang van de rookpluim tussen de verschillende experimentele condities. Uitzondering hierop waren de condities met de blusdeken, waarbij na het doven van het vuur de rookproductie was gestopt. Op basis van de resultaten lijkt de chemische samenstelling bij de verschillende experimenten nauwelijks te verschillen. De metingen laten wel zien dat de ingezette technieken invloed hebben op de lokale hoeveelheid verbrandingsproducten (zoals CO, CO₂ en roet).

Veiligheid personeel

De hittestralingsintensiteit op 5 meter van de brand was gemiddeld $6,3 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ (range $4,6 - 9,2 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) en de buitenluchttemperatuur was ongeveer 2°C. Deze waarde voor de hittestraling en temperatuur staan het toe voor volledig beschermde brandweermensen om gedurende anderhalf tot twee minuten activiteiten te verrichten voor dat de huid eerstegraads brandwonden oploopt (Heus e.a., 1992). Onbedekte huid verbrandt echter in ca. 10 seconden bij dergelijke omstandigheden (Hoschke, 1981). Aangezien er ongeveer 10 tot 20 seconden nodig waren om de deken over de brandhaard te trekken zijn de brandweermensen niet in gevaar geweest.

4.2 Aanwakkeren van de brand

De verschillende meetresultaten met betrekking tot de rooksamenstelling die zijn geconstateerd tussen aanwakkeren met de Turbolöscher en aanwakkeren met de Microturbine zijn waarschijnlijk grotendeels terug te voeren op een verschil in windrichting (Noord/Noordwest versus Noordoost) waardoor er tijdens de experimentele conditie met de Microturbine minder/geen rook over de meetinstrumenten is gegaan.

De belangrijkste conclusies ten aanzien van het aanwakkeren met de turbines zijn:

- Met de Turbolöscher en de Microturbine lijkt alleen op de eerste meters boven de brandstof een visueel effect waarneembaar. De vlammen lijken horizontaal af te buigen en er ontstaat meer turbulentie. Bij een klein brandvermogen lijkt de rookproductie af te nemen, maar dat is vermoedelijk het gevolg van menging van de brandstoflaag met de waterlaag. Hierdoor neemt het brandvermogen van de vloeistof af. Na uitschakelen van de turbine nemen brand en rookproductie (kortstondig) weer toe.
- Pluimstijging is niet (duidelijk) toegenomen door het inblazen van lucht in de brandhaard.

- Er moet een duidelijke analyse gemaakt worden wanneer deze methode wordt toegepast, omdat bijvoorbeeld in een gebouw aanwakkeren lastig zal zijn door obstakels als muren en deuren. De kans op een tekort aan zuurstof in een gebouw is wel groter dan in de open lucht, waardoor de verbranding vollediger wordt als er lucht ingeblazen wordt. Maar dan moet er rekening gehouden worden dat onverbrande gassen en vuur uit het gebouw gestuwd worden, waardoor lange uitslaande vlammen ontstaan die kunnen leiden tot branduitbreiding. Met andere woorden in dergelijke gevallen zal toepassen van aanwakkeren niet de voorkeur hebben.
- Het aanwakkeren met een mogelijke hogere temperatuur van de brandhaard had geen duidelijk visueel effect op de hoogte van de rookpluim.
- Dat bij het aanwakkeren met de Microturbine er geen rook over de meetopstellingen ging, en bij het aanwakkeren met de Turbolöscher juist extra rook over locaties 1 en 2 ging. Dat maakt een vergelijking van deze twee methoden erg lastig. De verwachting is dat het effect van beide apparaten hetzelfde is, zij het wat geringer met de Microturbine vanwege het geringere vermogen van de turbine.

4.3 Filteren van de rook

De aanvankelijke gedachte om met een textiel filter ('rookgordijn') de rook te filteren is in overleg met de leverancier van het textiele materiaal al snel aangepast om het textiele materiaal te gebruiken om snel te 'blussen'. Hierop wordt in de volgende paragraaf teruggekomen. Het filteren van de rook is vervolgens beproefd in twee achtereenvolgende condities met een watermist gecreëerd door de Turbolöscher. Er is geen verklaring voor de gemeten verschillen in stralingsintensiteit van de brandhaard tussen beide experimentele condities, omdat de heersende windrichting en windsnelheid nauwelijks verschilde tussen beide condities. Omdat het bij de stralingsmetingen om een momentopname gaat kan het zou zijn dat de afstand van de meting tot de vlammen enigszins verschilde tussen beide condities.

Eén van de belangrijke leerpunten van de inzet van de Turbolöscher met als doel om met een watermist de rook te filteren luistert heel nauw. Het is van groot belang om een goede inschatting te maken wat de voordelen zijn voor het milieu ten opzichte van de milieubelasting als gevolg van de inzet van de Turbolöscher (groot brandstofverbruik).

De belangrijkste conclusies ten aanzien van deze methode van filteren van de rook zijn:

- Er is een beperkt visueel effect op de rook. Het eerste deel van de rookpluim lijkt wat grijzer, maar daarboven gaat de zwarte rook onverminderd verder. Onduidelijk is of dit het gevolg is van filteren van roetdeeltjes met de watermist of menging van de zwarte rook met de 'witte' watermist. Verder is het brandoppervlak van de experimenten relatief klein t.o.v. een gebouwbrand, waardoor de nevelstraal van de Turbolöscher onvoldoende lijkt om de rook te filteren.
- Het neerslaan van de rook geeft een hogere roetdepositie op locatie 3 en alleen heel veel water op locatie 2. Het is nog niet verklaard waarom de eNose (sensoren) na deze experimenten een hoge waarde geeft. Dit zijn de hoogste waarden van alle experimenten. Mogelijk dat de motoren van de dichtbij staande Turbolöscher hier een verstoring effect hebben gehad.
- Hoeveel roetdeeltjes en andere gassen uitgewassen zijn is visueel niet vast te stellen. Bij de overweging om de Turbolöscher in te zetten moeten de volgende factoren in overweging genomen worden:
 - De inzettijd (maximaal 1 uur)
 - De omvang van en de soort brand (het effect op 80 m² brand is al beperkt, dus bij grotere branden zijn de effecten waarschijnlijk nog kleiner)

- o Het brandstofverbruik van het bij de inzet betrokken voertuig in verhouding tot de vermindering van rookverspreiding bij de brand (De Turbolöscher verbruikt 700 l/h per turbine aan brandstof. Verder zijn vier ondersteunende voertuigen noodzakelijk om de Turbolöscher met water te voeden.)

4.4 Afbuigen van de rook

Om de rook niet over dicht bevolkte gebieden te laten trekken is ook onderzocht of het mogelijk is de rookkolom af te buigen ten opzichte van de heersende windrichting. Op basis van de experimenten kan worden geconcludeerd dat:

- Sturen van de rookkolom tegen de windrichting niet mogelijk is. De turbinestraal van de Turbolöscher heeft alleen effect op het eerste deel van de rookkolom (15-30m). Boven die hoogte heeft de wind (ten tijde van de experimenten $1 - 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ op 1,5 m hoogte) al meer invloed dan de turbinestraal. Met de hoogte neemt de windsnelheid toe. De wind op 10 m hoogte heeft een snelheid van 30 – 50 % meer dan op 1,5 m hoogte. In Nederland ligt de gemiddelde windsnelheid (op 10 meter hoogte) tussen de 2,2 en 5,6 m/s. De Turbolöscher zal bij de gemiddelde in Nederland heersende windsnelheid weinig tot geen invloed kunnen uitoefenen op de richting van de rookpluim.
- Door inbreng van lucht in de rookkolom ontbranden onverbrande gassen, waardoor brandvermogen en stralingsintensiteit toenemen. De kans op branduitbreiding neemt hierdoor toe.
- Door de turbinestraal in de rookkolom ontstaat een groter brandvermogen.

4.5 Afdekken van de brandhaard

De brandhaard is afgedekt met een blusdeken van 11*15 meter waaraan lussen waren bevestigd om de deken met een viertal brandweermensen over de brandhaard te trekken. De brandhaard was binnen 20 seconden afgedekt, waarna de vlammen en de rook waren verdwenen. Ook na een herhalingsmeting bleek de methode te werken. Op basis van dit experiment kan worden geconcludeerd dat:

- Afdekken van de brandhaard met een blusdeken een effectieve methode is om zonder verdere milieuschade de schadelijke rookontwikkeling te beperken.
- Een gebouw afdekken met een blusdeken niet door (alleen) menskracht kan worden gerealiseerd en dat inzet van deze methode in de praktijk nadere ontwikkeling vraagt.

4.6 De experimentele set-up

Met de bij het onderzoek betrokken partijen zijn de resultaten diepgaand doorgesproken om te onderzoeken of, wellicht door een andere experimentele set-up, een verbetering van de resultaten kan worden verwacht. Hierbij kwam naar voren, dat de keuze voor bepaalde parameters wellicht ook anders had kunnen zijn geweest, namelijk:

- De hoogte waarop lucht middels Turbolöscher en Microturbine in de rookkolom is ingeblazen. Bij deze experimenten is gekozen om dat zo dicht mogelijk bij de brandhaard te doen vanuit de premisse dat daar de meeste zuurstof nodig is voor verbranding. Deze hoogte is in feite een variabele parameter die vooraf niet was voorzien. Het hoger in de rook inbrengen zou naverbranding in de rookpluim kunnen bevorderen. Dat is ook gebleken bij de conditie waarbij de rook is geprobeerd af te buigen. Op voorhand is het niet de verwachting dat dergelijke experimentele aanpassingen grote effecten zullen hebben.
- De opstelplaats en afstand van de Turbolöscher tot de rookkolom bij het neerslaan van rookdeeltjes. Nu leek vooral het onderste deel van de rookpluim te worden 'gefilterd'. Door de watermist dichterbij de bron in te blazen zou wellicht meer gefilterd kunnen worden.

- De plaats en richting waar lucht wordt geblazen om de rookkolom af te buigen. Nu is vooral van de zijkant geprobeerd te rookkolom af te buigen. Mogelijk dat andere posities en afstanden tot andere resultaten zouden hebben geleid.

Om bovenstaande alternatieven allemaal uit te proberen zou het aantal experimentele condities enorm toenemen wat niet haalbaar was binnen de gekozen experimentele opzet. De huidige keuzen zijn gemaakt op basis van ervaringen van de leden van de expertgroep.

Tevens kan naar aanleiding van de resultaten worden geconcludeerd dat het niet uitgevoerde idee van een textiel rookgordijn weinig invloed op de rook zou hebben gehad tenzij het rookgordijn zo hoog (>60m) was dat een geforceerde pluimstijging zou worden bereikt. Dat laatste is echt niet realistisch.

4.7 Hypothesen

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kunnen we concluderen dat een tweetal van de vooraf gestelde hypothesen over de wijze waarop de effecten van rook kunnen worden beperkt kunnen worden verworpen, namelijk:

- Door het inbrengen van zuurstof (of lucht) in de brandhaard ontstaat een meer brandstof gecontroleerde brand. Daardoor zal de temperatuur van de brand toenemen (en dus de pluimstijging) en zal er een vollediger verbranding plaatsvinden (en er dus minder schadelijke deeltjes en schadelijke gassen in de rookpluim aanwezig zijn)
- Door het inblazen van een watermist in de rookkolom kan de rook worden gefilterd en zal de concentratie schadelijke deeltjes en gassen kleiner worden en zich over een kortere afstand uitstrekken.

De laatste hypothese kan worden geaccepteerd:

- Door gebruik te maken van een verstikkend blusmiddel (zoals schuim of een andere afdekking) zal de brand sneller worden gedoofd dan met water, en ontstaat er een geringer milieueffect.

4.8 Leerpunten van het experiment

Door alle partijen is het experimentele onderzoek als bijzonder leerzaam ervaren. Dergelijk grootschalige 'gecontroleerd' onderzoek naar de effecten van rook bij branden. Dat betekent ook dat een aantal zaken niet zijn gegaan zoals van tevoren was bedacht. Een aantal leerpunten volgt hieronder:

- Goed inschatten wat de onderzoeksvraag/onderzoeksvragen is/zijn en welke meetmiddelen minimaal moeten worden ingezet. Inzetten van alle mogelijke meetmiddelen leidt tot (te) veel werk met mogelijk fouten tot gevolg.
- Communicatie tussen de partijen is essentieel, om goed op elkaar afgestemd te zijn zou een pilotmeting moeten worden uitgevoerd.
- De kosten van dergelijke grootschalige experimenten zijn altijd hoger dan van tevoren ingeschat. Het is daarom belangrijk voor alle partijen een risico-opslag te calculeren.
- Afspraken over rapportage door de verschillende partijen moet beter worden afgesproken.
- Buitenexperimenten zijn altijd minder gecontroleerd dan laboratoriumexperimenten. Het is daarom lastig van tevoren in te schatten waar de meetapparatuur moet worden geplaatst.
- Het type brand kent geen gevaarlijke emissies en is daarom mogelijk minder geschikt om effecten van interventies op de rooksamenstelling te meten.

- Alle partijen hebben de samenwerking binnen het experimentele onderzoek als leerzaam en nuttig ervaren en willen vanwege de meerwaarde in de toekomst zeker vaker gezamenlijk aan dergelijke onderzoeken werken.

5 Aanbevelingen

Hoewel de verwachtingen hooggespannen waren, lijken de nu onderzochte methoden om schadelijke rookverspreiding te beperken vooralsnog onvoldoende effect op te leveren. Tot nu toe lijkt de beste methode de brand zo snel mogelijk te doven, zodat geen rook meer vrij komt. Met de blusdeken levert dat ook geen schadelijk neveneffecten op als met vervuild bluswater en of blusschuim ontstaat. De mogelijkheden om met blusdekens te werken zal nader moeten worden onderzocht. Verder is het de moeite waard nader onderzoek te verrichten naar het inbrengen van lucht in de rook. Tijdens de experimentele conditie om de rook af te buigen bleek dat dit een belangrijk bijeffect was van deze interventie.

Een methode om met een elektrostatisch veld rook te filteren of zelfs een brand te blussen staat in de kinderschoenen, maar er zijn aanknopingspunten in de literatuur (Inculet e.a. 1989. Jones en Nolan, 1995) gevonden dat dit mogelijk effectief kan zijn. Samen met de TU Delft zal dit mogelijk tot een voorstel voor promotieonderzoek worden uitgewerkt.

Vervolgonderzoek zal in de toekomst bij voorkeur eerst op laboratoriumschaal moeten worden uitgevoerd en op basis van de resultaten van dergelijk onderzoek al dan niet op normale schaal uit moeten worden gevoerd. Het is verder zaak om de technologische ontwikkelingen op de voet te blijven volgen.

Dankwoord

Op deze plek wil ik een ieder die een bijdrage heeft geleverd aan dit innovatieproject bedanken. Er is door het Ministerie van Veiligheid en Justitie voor dit project een subsidie beschikbaar gesteld in het kader van de Maatschappelijke Innovatieagenda Veiligheid (MIA Veiligheid). De experimenten zijn uitgevoerd onder leiding van de Brandweeracademie van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV). Aan de praktische uitvoering van de testen is meegewerkt door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en Efectis Nederland BV. De onderzoeksfaciliteiten en ondersteuning zijn geleverd door de Campus Vesta te Ranst in België en Brandweer Antwerpen. De innovatieve middelen zijn beschikbaar gesteld door BASF, Geoborn en Firetexx. Tenslotte is er een expertgroep vanuit de Brandweer aanwezig geweest met vertegenwoordigers uit de Veiligheidsregio's Amsterdam-Amstelland, Zuid-Holland-Zuid en Midden-WestBrabant.

Referenties en overige bronnen

Heus, R., Wammes, L.J.A. en Lotens, W.A. (1992). Een vergelijking van zes brandweerpakken met een referentiepak; gesimuleerde praktijkproeven en comfortproeven, Rapport IZF 1992 C-12, TNO Soesterberg.

Heus, R. en Dikkenberg, R. v.d. (2012). Onderzoek Effectbestrijding Brand (rookverspreiding); Fase 2a oplossingen om schadelijke effecten van rook te minimaliseren, Rapport NIFV 2012.

Heijnen, A, Beerens, R en Duyvis, M. (2011). Onderzoek Effectbestrijding Brand (Rookverspreiding) – Fase 1, Rapport NIFV Versie: 431N1010/1.0, 22 juni 2011.
Hoschke, B.N. (1981). Standards and specifications for firefighters' clothing. FireSafety Journal, 4(2), 125-137.

I.I. Inculet, G.S.P. Castle and J. Ting (1989). Electrostatic Dissipation of Smoke using Evaporating Charged Water Spray, IEEE Conf. Record, Ind. Appl. Society Annual Meeting, 1-5 Oct., pp. 2144-2147.

Jones, A. and P.F. Nolan (1995). Discussion on the use of Fine Water Sprays or Mists for Fire Suppression, J. Loss Prev. Process Ind., Vol. 8 (1), pp.17-22.

Mennen, M.G., Kooi, F.S., Heezen, P.A.M., Munster, G. van en Barreveld, H.I. (2009). Verspreiding van stoffen bij branden: een verkennende studie. RIVM-rapport 609022031/2009, Bilthoven.

Weewer, R. (2013). Persoonlijke mededeling.

Bijlage 1

Rapportage Efectis Nederland B.V.: Rookbeheersing bij grote branden

Rookbeheersing bij grote branden

Rapportnummer	2012-Efectis-9466
Sponsor	Instituut Fysieke Veiligheid T.a.v. de heer R. Heus Postbus 7010 6801 HA ARNHEM
Auteur(s)	Ing. M.P. de Feijter Ir. V.J.A. Meeussen Ing. J. Bienefelt
Projectnummer	2012466
Rapportdatum	april 2013
Aantal pagina's	52

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande toestemming van Efectis Nederland.
Het ter inzage geven van het Efectis-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

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

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	3
1.1.	Leeswijzer	3
2.	BESCHRIJVING TESTMETHODE	4
2.1.	Brandgrootte en duur	4
2.2.	Opbouw brandbak	4
2.3.	Te onderzoeken middelen	6
2.4.	Waarnemingen	8
2.5.	Uitgevoerde testen	8
3.	RESULTATEN EN ANALYSE	12
3.1.	Algemeen	12
3.2.	Test 1 en 9, referentiebrand	12
3.3.	Test 2, aanwakkeren met turbo löscher	12
3.4.	Test 3, aanwakkeren met microturbine	13
3.5.	Test 4 en 5, uitwassen rook met turbo löscher	14
3.6.	Test 6, sturen rook met turbo löscher	15
3.7.	Test 7 en 8, inzet blusdeken	16
4.	CONCLUSIE	18
4.1.	Het aanwakkeren van branden	18
4.2.	Het uitwassen van rook	18
4.3.	het sturen van rook	18
4.4.	Het inzetten van een blusdeken bij grote branden	19
4.5.	Vergelijking van testen	19
	BIJLAGE 1: VIDEOANALYSE TEST 1, REFERENTIEBRAND	22
	BIJLAGE 2: VIDEOANALYSE TEST 2, TURBOLOSCHER HORIZONTAAL	25
	BIJLAGE 3: VIDEOANALYSE TEST 3, MICROTURBINE, HORIZONTAAL	29
	BIJLAGE 4: VIDEOANALYSE TEST 4, ROOK UITWASSEN MET TL	32
	BIJLAGE 5: VIDEOANALYSE TEST 5, ROOK UITWASSEN MET TL	35
	BIJLAGE 6: VIDEOANALYSE TEST 6, AFBUIGEN VAN ROOK MET TL	38
	BIJLAGE 7: VIDEOANALYSE TEST 7 EN 8, BLUSDEKEN	41
	BIJLAGE 8: VIDEOANALYSE TEST 9, REFERENTIEBRAND	44
	BIJLAGE 9: WAARNEMINGEN	47
	BIJLAGE 10: METEODATA	50

1. INLEIDING

Efectis Nederland BV is door het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) gevraagd een bijdrage te leveren aan een onderzoek naar het vergelijken van middelen en methoden om rookverspreiding bij grote branden in de toekomst te beperken.

Het onderzoek is op 27 februari 2013 uitgevoerd in samenwerking met IFV en RIVM op het oefenterrein van de provincie Antwerpen, Campus Vesta, te Ranst België.

De volgende middelen werden getest:

- Zikun Turbo Löscher
- Geoborn Microturbine
- Firetexx Blusdeken

De testen zijn uitgevoerd op een vooraf vastgestelde brandgrootte en brandduur.

Door Efectis is een brandbak ontworpen en gebouwd. Vervolgens zijn tijdens de testen diverse waarnemingen gedaan met betrekking tot de ontwikkeling en verspreiding van rook. Dit rapport beschrijft de testmethode en de waarnemingen. Metingen en resultaten van het IFV en RIVM zijn niet in dit rapport opgenomen.

1.1. LEESWIJZER

In hoofdstuk twee is de testmethode beschreven. In hoofdstuk drie zijn de resultaten weergegeven en in hoofdstuk vier zijn de resultaten geanalyseerd. Ten slotte zijn in hoofdstuk vijf de conclusies en aanbevelingen weergegeven.

2. BESCHRIJVING TESTMETHODE

2.1. BRANDGROOTTE EN DUUR

In overleg met de opdrachtgever en voor de consistentie van de test is er voor gekozen om de testen uit te voeren met een vloeistofbrand. De brand moest voldoende rook produceren om een goede beoordeling te kunnen maken van de ingezette middelen en moest een brandduur van ongeveer 4 minuten hebben.

Op advies van Efectis is gekozen om dieselolie als brandstof te gebruiken. In eerste instantie werd gekozen voor een brandbak met een oppervlakte van 100 m². Deze omvang is in verband met de afmetingen van de te testen blusdeken later verkleind.

De brandbak had een binnendiameter van 10 m en daarmee een oppervlakte van 78,5 m². De opbouw van de brandbak staat verder omschreven in paragraaf 2.2.

Dieselolie geeft bij verbranding een vermogen van ongeveer 1,5 MW/m² en heeft een afbrandsnelheid van 2 tot 2,5 mm/ minuut.

Voor iedere test is de brandbak gevuld met 800 liter dieselolie, wat resulteert in een laagdikte van 1,01 cm en een brandduur van 4 tot 5 minuten met een vermogen van ongeveer 118 MW.

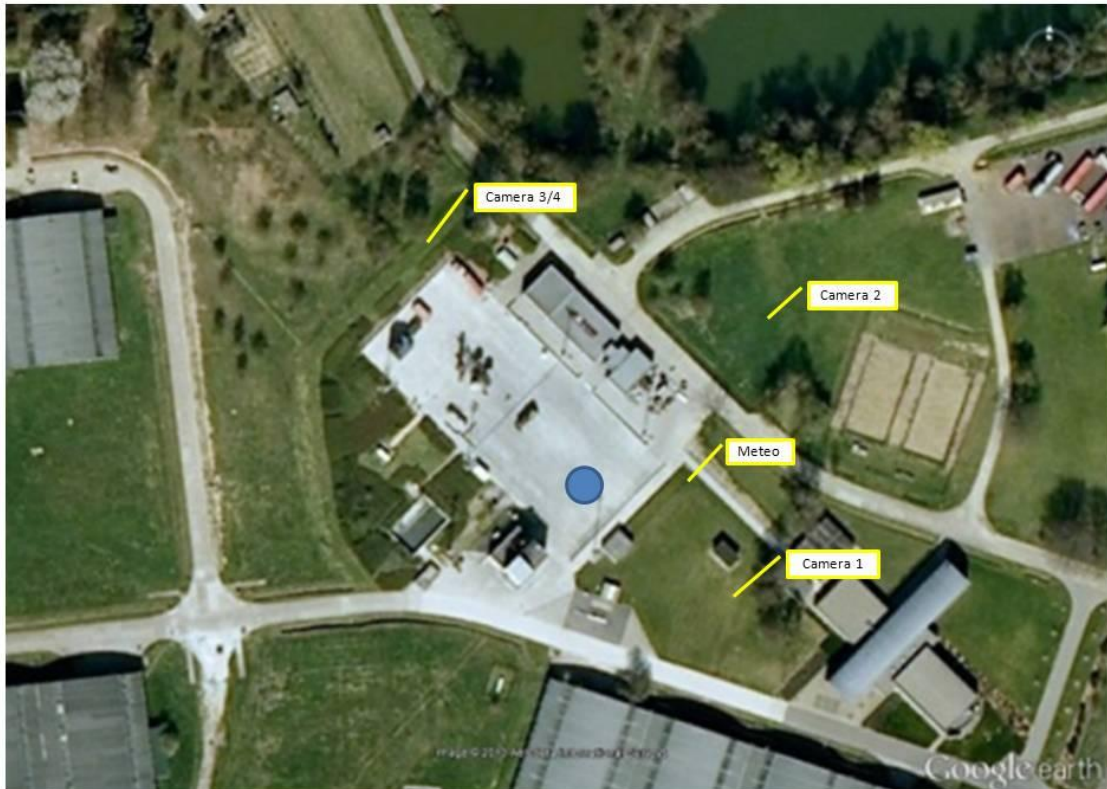
2.2. OPBOUW BRANDBAK

De brandbak met een doorsnede van 10 m en een hoogte van 0,4 m is opgebouwd uit 3 lagen folie met een dikte van 0,2 mm en twee rijen cellenbetonblokken. De bovenzijde van de bak is ter bescherming van de kunststof folie afgewerkt met een keramische deken. De hoogte van de bak is gebaseerd op een laag water onder de brandstof van ten minste 100 mm en een afschot van het terrein van 10-15 mm/m.



Figuur 1 De brandbak

De brandbak werd geplaatst op de oefenplaat van Campus Vesta, zoals aangegeven in figuur 2 en gevuld met water en 800 liter dieselolie. In figuur 3 is het niveau van de vloeistof weergegeven.



Figuur 2 Positie van brandbak, camera's en meteostation



Figuur 3 De brandstof op een laag water, 150-250 mm onder de rand van de bak

De brandstof werd ontstoken door middel van een gasbrander en met toevoeging van 10 l. kookpuntbenzine.

2.3. TE ONDERZOEKEN MIDDELEN

2.3.1. Zikun Turbo Löscher

De Zikun Turbo Löscher is uitgerust met twee turbines en vier nozzles, waarmee 8.000 l/min water verneveld kan worden. Volgens informatie van de fabrikant bedraagt de gemiddelde druppelgrootte van de nevel 375 micron en bevat een volume van 1 m³ ongeveer 5.100 druppels. Het voertuig is weergegeven in figuur 4.



Figuur 4 Zikun Turbo Löscher

De Turbo Löscher is op drie verschillende manieren ingezet, te weten:

- Het aanwakkeren van de brand met de turbines (zonder water)
- Het uitwassen van de rook met de waternevel
- Het sturen van de rookkolom met de turbines (zonder water)

2.3.2. Geoborn Microturbine

De Microturbine bestaat uit één turbine welke geplaatst was op een aanhangwagen (zie figuur 5). De Microturbine is getest op het aanwakkeren van de brand.



Figuur 5 Geoborn Microturbine

2.3.3. Firetexx blusdeken

De blusdeken heeft afmetingen van 11x15 m en is op de hoeken voorzien van lussen om de deken over de brand te kunnen trekken.



Figuur 6 Firetexx blusdeken

Verdere specificaties van de blusdeken zijn bij Efectis niet bekend.
De deken is getest op het afdekken en daarmee blussen van de vloeistofbrand.

2.4. WAARNEMINGEN

De effectiviteit van de verschillende middelen en methoden om de rook te beheersen is kwalitatief beoordeeld op basis van waarnemingen tijdens de test en analyse achteraf van videobeelden.

Door twee medewerkers van Efectis zijn tijdens de proeven de waarnemingen vastgelegd op een formulier. Daarnaast zijn de videobeelden ook door een derde medewerker beoordeeld, waardoor 3 onafhankelijke waarnemingen beschikbaar zijn.

Op drie locaties zijn met behulp van videocamera's de testen 1 t/m 6 en test 9 vastgelegd. In totaal zijn 4 videocamera's gebruikt. De posities van de camera's (met uitzondering van test 7 en 8) zijn weergegeven in figuur 2.

Bij test 7 en 8 is gebruik gemaakt van 3 camera's direct naast de oefenplaat.

Om een beeld te krijgen van de weersomstandigheden op de testdag is in de omgeving van de brandbak op een afstand van 23 m een weerstation (Alecto, WS-5000) geplaatst, waarmee de windsnelheid en richting is vastgelegd. De positie van het weerstation is weergegeven in figuur 2.

2.5. UITGEVOERDE TESTEN

In totaal zijn negen testen uitgevoerd. De testen zijn hieronder beschreven. Bij iedere test is gebruik gemaakt van 800 l dieselolie met uitzondering van test 8 (blusdeken). Hierbij is gebruik gemaakt van het restant aan brandstof van test 7. De hoeveelheid dieselolie werd afgemeten met de geijkte meter op de tankwagen.

2.5.1. Test 1 en 9, referentiebrand

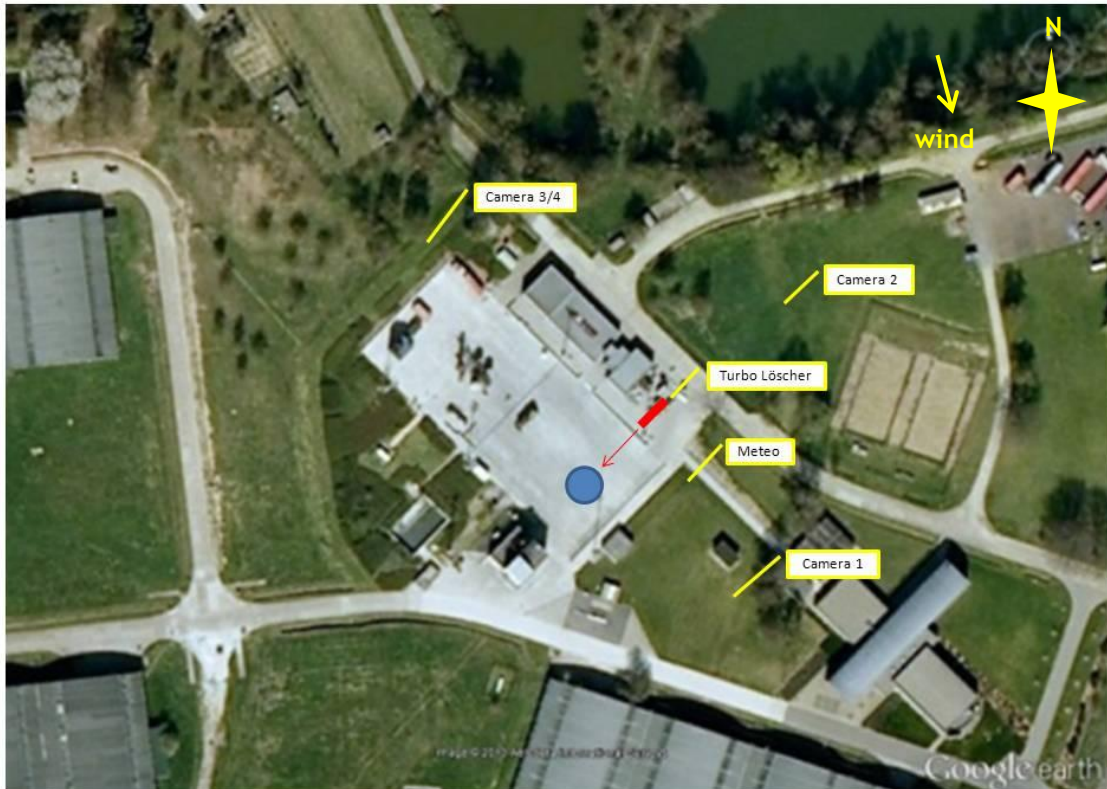
Bij test 1 en test 9 is 800 l dieselolie verbrand zonder inzet van rookbeheersingsmaatregelen. Het doel van deze testen was het vastleggen van het brandverloop zonder invloeden van buitenaf, anders dan de weersomstandigheden.

2.5.2. Test 2, aanwakkeren met de Turbo Löscher

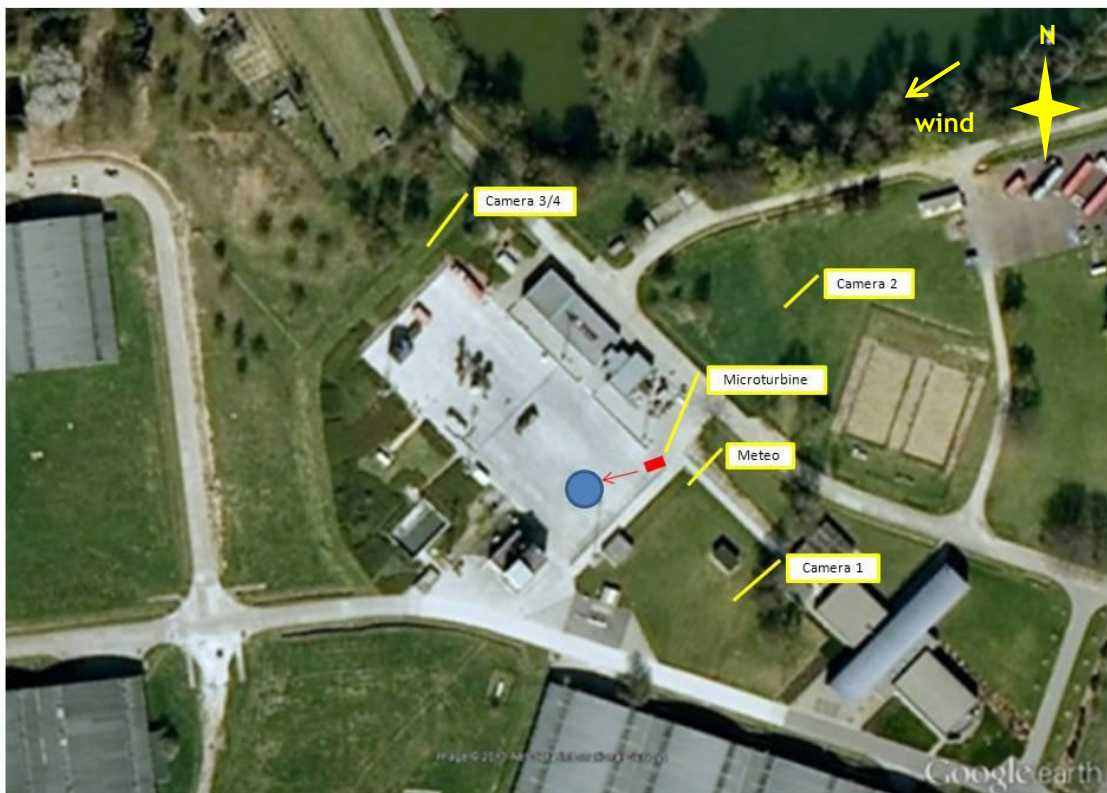
Bij test 2 werd de Turbo Löscher opgesteld op een afstand van 20 m bovenwinds van de brandbak. De turbine werd op een toerental van 13.000 toeren ingeschakeld. De straal van de turbine werd in een horizontaal vlak over de bak gericht. De testopstelling is weergegeven in figuur 7. Met een rode pijl is de ventilatierichting van de turbine aangegeven.

2.5.3. Test 3, aanwakkeren met de Microturbine

De Microturbine werd opgesteld op een afstand van 10 m van de rand van de brandbak (zie figuur 8). De turbine werd op een toerental van 60.000 toeren ingeschakeld. De straal van de turbine werd in een horizontaal vlak over de bak gericht.



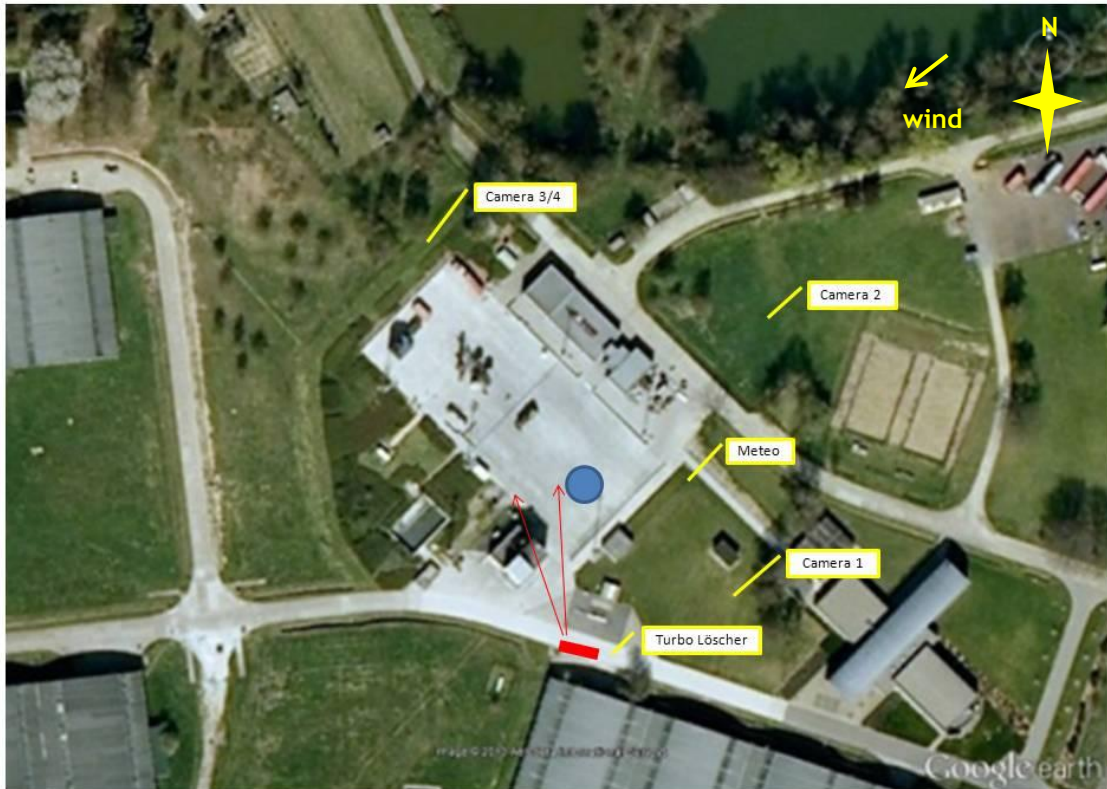
Figuur 7 Opstelling Turbo Löscher in test 2



Figuur 8 Testopstelling Microturbine in test 3

2.5.4. Test 4 en 5, uitwassen van rook met de Turbo Löscher

De Turbo Löscher is opgesteld op een afstand van 40 m van de rand van de brandbak. De straal van het voertuig werd in de rookkolom direct achter de brandbak gericht (zie figuur 9). Water bij 8 bar - circa 8.000 l/min - 2 turbines op max. 15.000 toeren.



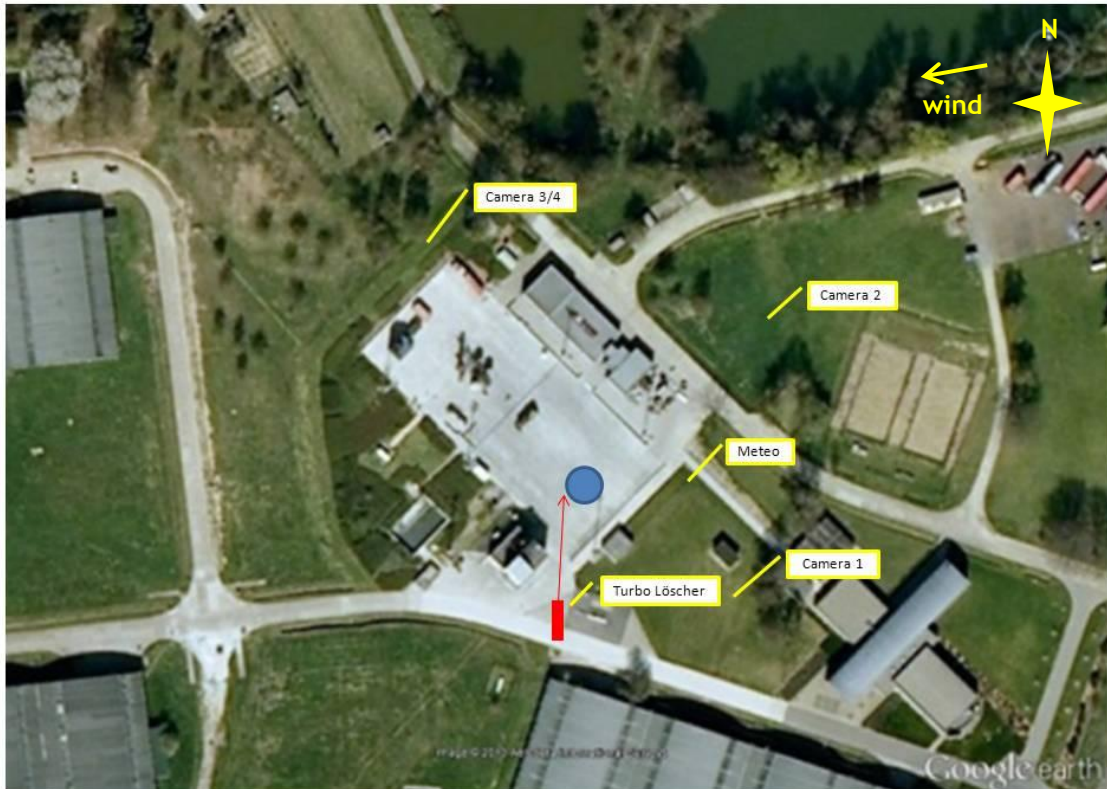
Figuur 9 Opstelling Turbo Löscher in de testen 4 en 5

2.5.5. Test 6, sturen van de rook met de Turbo Löscher

De Turbo Löscher is opgesteld op een afstand van 30 m van de rand van de brandbak. De straal van het voertuig werd in de rookkolom direct achter de brandbak gericht (zie figuur 10). Toerental van de turbines bedroeg maximaal 15.000 toeren. (dit geeft circa 1.000 m³/s luchtdebiet op de plaats van de brandbak).

2.5.6. Test 7 en 8, afdekken van de brand met de blusdeken

De test met de blusdeken is uitgevoerd door deze aan de bovenwindse zijde van de brandbak neer te leggen en met vier personen over de bak te trekken. Twee personen hielden de deken aan de achterzijde vast.



Figuur 10 Opstelling Turbo Löscher in test 6

3. RESULTATEN EN ANALYSE

3.1. ALGEMEEN

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de testen weergegeven. Beelden van de test zijn per test weergegeven in de bijlagen 1 t/m 8. De waarnemingen zijn opgenomen in bijlage 9 en de weersomstandigheden tijdens de test zijn opgenomen in bijlage 10. Bijlage 11 geeft een vergelijkende analyse van de resultaten van alle testen met uitzondering van de testen met de blusdeken.

3.2. TEST 1 EN 9, REFERENTIEBRAND

De windsnelheid was bij beide referentiebranden vergelijkbaar. De hoek van de rookkolom ten opzichte van de horizontaal bedroeg bij test 1, 50° tot 70° en bij test 9, 40° tot 70° onder invloed van de wind.

Op een hoogte tussen de 30 en 40 meter boog de onderzijde van de rookpluim bij test 1 horizontaal. Bij test 9 gebeurde dit op een hoogte van 20 tot 30 meter.



Figuur 11 In test 1 is de invloed van de wind zichtbaar
Overige afbeeldingen zijn weergegeven in de bijlagen 1 en 8.

3.3. TEST 2, AANWAKKEREN MET TURBO LÖSCHER

Onder invloed van de wind had de rookkolom een hoek van ongeveer 55° ten opzichte van de horizontaal. Na het inschakelen van de Turbo Löscher veranderde de hoek naar 45°. Bij vermindering van het brandvermogen daalde de hoek van de rookkolom verder tot onder de

40°.

De rook stijgt minder hoog. Het rookvolume lijkt ongewijzigd ten opzichte van de referentiebranden.

Het effect van het aanwakkeren lijkt slechts lokaal in de eerste meters van de brandbak aanwezig.



Figuur 12 Bij het aanwakkeren van de brand met de Turbo Löscher is de invloed met name boven de voorste helft van de bak zichtbaar

De stroming van de rook werd beïnvloed door de aanwezigheid van het oefengebouw direct achter de brandbak.

Het aanwakkeren van de brand heeft geen zichtbaar effect op de rookproductie, wanneer de brand op vol vermogen is. In de videobeelden is duidelijk zichtbaar dat aan het eind van de brand het aanwakkeren zorgt voor een sterk verminderde rookproductie. Zodra de turbines uitgeschakeld worden laait het vuur en de rookproductie weer op. Overigens kan dit ook veroorzaakt worden doordat de turbines de vloeistoffen vermengen en daardoor de hoeveelheid brandstof aan het wateroppervlak verminderd wordt. Wanneer de turbine uitgeschakeld wordt zal de brandstof weer op het water komen drijven en verbranden. Dat de turbine ook een effect heeft op de vloeistof in de bak bleek uit het feit dat de watertemperatuur na afloop van de test over de gehele hoogte gelijk was, terwijl er na de andere testen sprake was van een temperatuurgradiënt over de hoogte van het water.

De vlammen en de rook worden direct boven de bak afgebogen door de turbijnstraal. Hiervan kan mogelijk gebruik gemaakt worden om naastgelegen objecten te beschermen of de brandweer in staat te stellen om een blussing voor te bereiden. Hierbij moet echter wel op de veiligheid van het brandweerpersoneel gelet worden (gehoor- en oogbescherming is naast de standaarduitrusting noodzakelijk!)

3.4. TEST 3, AANWAKKEREN MET MICROTURBINE

Onder invloed van de wind had de rookkolom een hoek van ongeveer 70° ten opzichte van de horizontaal. Na het activeren van de microturbine daalde de hoek van de rookkolom naar 55°. In vergelijking met test 1 is de invloed van de microturbine te verwaarlozen. Een verhoging

van de windsnelheid met 0,5 tot 1 m/s heeft een vergelijkbare of grotere invloed op de rook dan de invloed van de Microturbine.

Het volume van de rook lijkt ongewijzigd ten opzichte van de referentiebranden.

Ook de Microturbine lijkt in staat om de rook en vlammen enigszins af te buigen. Dit effect is echter beperkt tot enkele meters boven de brandbak.



Figuur 13 Het effect van het aanwakkeren met de Microturbine is alleen boven de eerste paar meter van de bak zichtbaar

3.5. TEST 4 EN 5, UITWASSEN ROOK MET TURBO LÖSCHER

De rookkolom had onder invloed van de wind een hoek van 60° ten opzichte van de horizontaal. De hoek van de rookkolom wijzigde niet onder invloed van de inzet van de Turbo Löscher.

De waternevel vermengde zich met de rook, waardoor de rook aan de onderzijde lichter van kleur werd en de rook uitzakte. Aan de bovenzijde van de rookpluim was geen effect van de waternevel zichtbaar. Aan de andere zijde van de rookpluim was het effect van de waternevel alleen zichtbaar door het uitzakken van een deel van de rook.

De inzet van de Turbo Löscher, met als doel het uitwassen van rook, heeft een beperkt effect. Dit effect leek in test 5 groter dan in test 4.



Figuur 14 De waternevel wordt afgebogen door de turbulentie van de rookkolom en door de wind

Hoeveel roetdeeltjes en andere gassen uitgewassen zijn is visueel niet vast te stellen. Bij de overweging om de Turbo Löscher in te zetten moeten de volgende factoren in overweging genomen worden:

- De inzetijd (maximaal 1 uur)
- De omvang van en de soort brand (het effect op 80 m² brand is al beperkt, dus bij grotere branden zijn de effecten waarschijnlijk nog kleiner)
- Het brandstofverbruik van de bij het inzet betrokken voertuig in verhouding tot de vermindering van rookverspreiding bij de brand (De Turbo Löscher verbruikt 700 l/h per turbine aan brandstof. Verder zijn vier ondersteunende voertuigen noodzakelijk om de Turbo Löscher met water te voeden.)

Uit het bovenstaande blijkt dat overwogen moet worden of de milieubelasting door inzet van de Turbo Löscher opweegt tegen de beperking van de milieuschade door deze inzet.

3.6. TEST 6, STUREN ROOK MET TURBO LÖSCHER

Met de straal van de turbine werd ingeblazen in de rookkolom boven de brandbak. Door de aanvoer van lucht (zuurstof) met de turbijnstraal kwamen onverbrande gassen in de rookkolom tot ontbranding, waardoor het brandvermogen toenam. Op de videobeelden is zichtbaar dat de rookkolom plaatselijk dikker wordt en op die plaats vuur zichtbaar wordt. Op enkele momenten is er sprake van een vuurbol met een diameter van meer dan 10 m. De stralingsintensiteit van de brand nam hierdoor toe, waardoor omstanders meer afstand van de brand moesten nemen.

Op 10 tot 15 meter boven de brandbak werd de rook door de turbijnstraal afgebogen. Na 15 tot 20 meter was dit effect weg en dreef de rook met de wind mee weg van de brandbak.

Het volume van de rookpluim lijkt groter/breder te worden door de inzet van de Turbo Löscher. De rook die direct door de turbijnstraal geraakt wordt zakt eerder uit, maar dit effect is beperkt tot een klein deel van de rookkolom.

De inzet van de Turbo Löscher heeft geen invloed op de uiteindelijk richting waarin de rookpluim zich begeeft.



Figuur 15 Door de turbinestraal in de rookkolom ontstaat een groter brandvermogen

Bij het beoordelen van deze test is het van belang om vast te stellen dat de windsnelheid (op 3 m hoogte) relatief laag was ten tijde van de test (1 - 1,3 m/s). Met de hoogte neemt de windsnelheid toe. De wind op 10 m hoogte heeft een snelheid van 30 - 50 % meer dan op 1,5 m hoogte¹. In Nederland ligt de gemiddelde windsnelheid (op 10 meter hoogte) tussen de 2,2 en 5,6 m/s.

De Turbo Löscher zal bij de gemiddelde in Nederland heersende windsnelheid weinig tot geen invloed kunnen uitoefenen op de richting van de rookpluim.

3.7. TEST 7 EN 8, INZET BLUSDEKEN

De inzet van de blusdeken was succesvol. De brand werd binnen zeer korte tijd geblust en daarmee bleef de rookproductie beperkt. Efectis stelt echter wel vraagtekens bij de veiligheid van het brandweerpersoneel tijdens het aanbrengen van de blusdeken. De vlammen en hete rookgassen van de brand kunnen ook aan de zijkant van de deken ontsnappen en op die plaats een bedreiging voor het brandweerpersoneel vormen. Na het aanbrengen van de blusdeken was zichtbaar dat de brandstof nog gedurende 17 seconden brandbare gassen produceerde die aan de rand van de blusdeken tot ontsteking kwamen. Na afloop van test 7 werd de blusdeken, nadat het vuur gedoofd was, opgetild waardoor rookgassen konden ontsnappen en direct tot ontbranding kwamen. Ook dit vormt een risico voor het brandweerpersoneel.

¹ Weerkunde, Meteorologie voor iedereen, Kees Floor, ISBN 9789038914893, januari 2006



Figuur 16 Gassen die van onder de blusdeken ontsnappen herontsteken dicht bij het brandweerpersonnel

De inzet van de blusdeken kan in de praktijk succesvol zijn wanneer de deken de brand perfect kan afdekken en er soepel overheen gelegd kan worden. Zolang brandbare gassen kunnen ontsnappen en zuurstof onder de deken kan komen bestaat het gevaar van herontsteking.

4. CONCLUSIE

4.1. HET AANWAKKEREN VAN BRANDEN

Bij het aanwakkeren van een brand zou een betere verbranding kunnen ontstaan en daardoor een verminderde rookproductie. Uit de testen is gebleken dat het aanwakkeren van de brand alleen een direct effect had op de eerste paar meter boven de brandstof. Op die plaats worden de vlammen afgebogen en ontstaat meer turbulentie/menging.

Wanneer sprake is van een kleiner brandvermogen lijkt het aanwakkeren een effectieve methode om de rookproductie te verminderen, maar dit effect kan veroorzaakt worden door het opmengen van de brandstof met de waterlaag, waardoor het vermogen verminderd wordt. In de video van test 2 is duidelijk zichtbaar dat het brandvermogen en de rookproductie toenemen na het uitschakelen van de turbine.

Het aanwakkeren van een brand in een gebouw is minder eenvoudig dan een brand in een vloeistofplas. Bij een gebouw zal sprake zijn van obstakels, zoals muren, waardoor de inzetmogelijkheden van een turbine zeer beperkt worden.

De straal en daarmee het effectgebied van de turbine is relatief smal. Het vuur kan dan ook alleen zeer lokaal aangewakkerd worden.

Bij de inzet bij een gebouwbrand moet rekening gehouden worden dat onverbrande gassen en vlammen aan de benedenwindse zijde uit het gebouw gestuwd worden en daar voor lange uitslaande vlammen kunnen zorgen, waardoor de brand zich uit kan breiden. Aandacht voor de veiligheid van het personeel en omstanders is bij een dergelijke inzet noodzakelijk.

4.2. HET UITWASSEN VAN ROOK

Het uitwassen van de rook met behulp van de Turbo Löscher heeft een beperkt zichtbaar effect op de rookpluim. Een groot deel van de rook blijft onverminderd in de lucht aanwezig. In verhouding met een gebouwbrand, waarbij een brandcompartiment vaak 1.000 m² of meer bedraagt was de testbrand een kleine brand (78,5 m²). De nevelstraal van de Turbo Löscher heeft bij een grote brand onvoldoende invloed op de rookverspreiding om de rook visueel (hoeveelheid en kleur) te verminderen.

Bij de overweging om de Turbo Löscher in te zetten is het verder van belang om af te wegen of de milieuvervuiling die door het voertuig en de ondersteunende voertuigen geproduceerd wordt opweegt tegen de beperking in milieuschade door de inzet. Ook de opkomst- en opbouwtijd van maximaal een uur moet in overweging genomen worden.

Efectis ziet de Turbo Löscher als een middel waarmee branduitbreiding bij grote branden effectief voorkomen kan worden (bijvoorbeeld door het koelen van objecten). De effectiviteit met betrekking tot het uitwassen van rook bij grote branden is onvoldoende.

4.3. HET STUREN VAN ROOK

Het sturen van de rookkolom tegen de windrichting in bleek niet mogelijk. De straal van de Turbo Löscher heeft alleen een effect op een deel van de rookkolom tussen 15 en 30 m boven de brand. Boven deze hoogte heeft de wind meer invloed dan de turbinestraal.

Door de aanvoer van lucht in de rookkolom ontbrandden de in de rook aanwezige gassen, waardoor het brandvermogen en de stralingsintensiteit toenamen. Door inzet van de Turbo Löscher op deze wijze kan de kans op branduitbreiding en persoonlijke ongelukken vergroot worden.

4.4. HET INZETTEN VAN EEN BLUSDEKEN BIJ GROTE BRANDEN

Tijdens de test bleek het mogelijk om de brand te doven met behulp van de blusdeken. Efectis is van mening dat bij de inzet van de blusdeken risico's ontstaan voor het brandweerpersoneel. Het heeft dan ook de voorkeur om de blusdeken verder te ontwikkelen zodat geen brandweerpersoneel noodzakelijk is voor de inzet hiervan.

Het blussen van een brand door middel van afdekking is potentieel een goede methode. De branduitbreiding en de rookproductie worden vrijwel direct gestopt en er is geen kans op milieuverontreiniging door de inzet van water of andere blusmiddelen.

Het afdekken van een brandende bak vloeistof blijkt te kunnen. Het afdekken van een brandend gebouw vergt echter de nodige ontwikkeling die in dit rapport verder buiten beschouwing wordt gelaten.

4.5. VERGELIJKING VAN TESTEN

De serie beelden in figuur 17 toont voor elk van de testen 1-6 en test 9 de rookverspreiding op 3 minuten na ontsteking.

Elk beeld links is opgenomen met camera 1, en het bijbehorende beeld rechts op hetzelfde moment met camera 3.

De effecten van de Zikun Turbo-Löscher, van de Microturbine en van het bluswater zijn alleen merkbaar binnen afstanden van enkele tientallen meters vanaf de brand.

Er is tussen de opeenvolgende testen geen significant verschil in de hoeveelheid rook die vrijkomt en de wijze waarop die rook zich over grotere afstand (dus verder dan enkele tientallen meters) verspreidt. De enige uitzondering hierop vormt de blusdeken. Door het blussen van de brand met de blusdeken wordt de rookproductie direct gestopt.



Figuur 17 Vergelijking van de testen



Ing. M.P. de Feijter
Projectleider Fire Investigation



Ing. J. Bienefeldt
Projectleider Engineering/
Special Testing

BIJLAGE 1: VIDEOANALYSE TEST 1, REFERENTIEBRAND

In elke groep van vier beelden is de volgorde:

Zicht op de brand vanuit camera 1

Zicht op de brand vanuit camera 3

De aangegeven tijd is het tijdverloop vanaf ontsteking.

Zicht op de brand vanuit camera 2

Zicht op wegdrijvende rook(camera 4)



t = 0 minuten

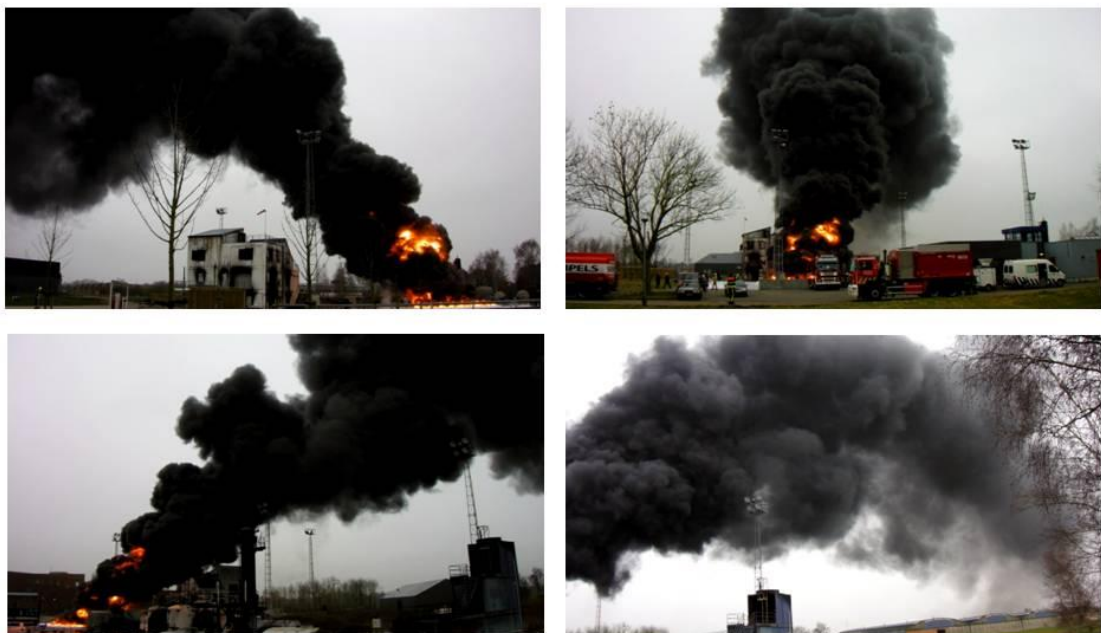


...

t = 1 minuut



t = 2 minuten



t = 3 minuten



t = 4 minuten



t = 5 minuten

BIJLAGE 2: VIDEOANALYSE TEST 2, TURBOLOSCHER HORIZONTAAL



t = 0 minuten



t = 1 minuut



t = 2 minuten



t = 3 minuten



t = 4 minuten



t = 5 minuten



t = 6 minuten

BIJLAGE 3: VIDEOANALYSE TEST 3, MICROTURBINE, HORIZONTAAL



t = 0 minuten



t = 1 minuut



t = 2 minuten



t = 3 minuten



t = 4 minuten



t = 5 minuten

BIJLAGE 4: VIDEOANALYSE TEST 4, ROOK UITWASSEN MET TL



t = 0 minuten



t = 1 minuut



t = 2 minuten



t = 3 minuten



t = 4 minuten



t = 5 minuten

BIJLAGE 5: VIDEOANALYSE TEST 5, ROOK UITWASSEN MET TL



t = 0 minuten



t = 1 minuut



t = 2 minuten



t = 3 minuten



t = 4 minuten



t = 5 minuten

BIJLAGE 6: VIDEOANALYSE TEST 6, AFBUIGEN VAN ROOK MET TL



t = 0 minuten



t = 1 minuut



t = 2 minuten



t = 3 minuten



t = 4 minuten



t = 5 minuten

BIJLAGE 7: VIDEOANALYSE TEST 7 EN 8, BLUSDEKEN







BIJLAGE 8: VIDEOANALYSE TEST 9, REFERENTIEBRAND



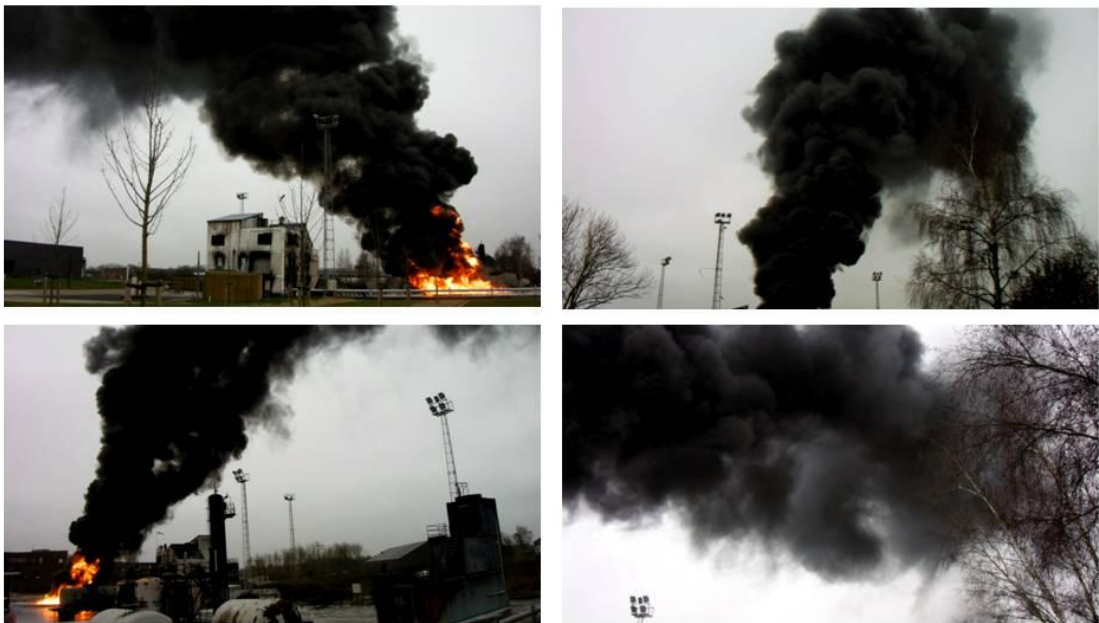
t = 0 minuten



t = 1 minuut



t = 2 minuten



t = 3 minuten



t = 4 minuten

BIJLAGE 9: WAARNEMINGEN

Test: 1 (referentiebrand)	Tijd: 09:45
Wind: 0,3 - 2 m/s, Noord / Noord-Oost	
<p>Waarnemer 1: Watertemperatuur voor ontsteking: 5,5°C Na ongeveer 1 minuut brandde het hele oppervlak van de bak De rookkolom werd door de wind ongeveer 10° afgebogen Watertemperatuur na afloop van de test: 45°C, 20°C, 5°C</p>	
<p>Waarnemer 2: De rookkolom buigt naar het oefengebouw toe.</p>	

Test: 2 (Aanwakkeren met Turbo Löscher)	Tijd: 10:25
Wind: 1 - 1,7 m/s, Noord / Noord-West	
<p>Waarnemer 1: Het onderste deel van de vlammen/rook wordt ongeveer 45° afgebogen Aan de bovenwindse zijde zijn de vlammen lager en lijkt er aan die zijde (over maximaal 1,5m) minder rook geproduceerd te worden. De omvang van de rookpluim is vergelijkbaar met test 1. Direct achter de bak gaat de rook recht omhoog. Het oefengebouw aan de benedenwindse kant van de bak heeft mogelijk invloed gehad op de stroming van de rook.</p> <p>Watertemperatuur na de test over de hele hoogte < 20°C</p>	
<p>Waarnemer 2: Meer rook zichtbaar Brandvermogen lijkt groter. Snellere en grotere verspreiding van de rook. De rook blijft direct achter de brand laag. Gebouw heeft invloed op rookverspreiding. De rook is zwart boven de bak en verder weg van de brand grijs.</p>	

Test: 3 (Aanwakkeren met Micro turbine)	Tijd: 11:18
Wind: 0,3 - 1,4 m/s, Noord-Oost	
<p>Waarnemer 1: De vlammen en rook worden tot een hoogte van enkele meters omgebogen naar een hoek van ongeveer 50°. Direct achter de bak gaat de rook recht omhoog.</p> <p>Watertemperatuur na de test: < 45°C</p>	
<p>Waarnemer 2: Weinig effect zichtbaar. De turbinstraal heeft alleen effect op de eerste meters in het vuur. Rookkolom gaat recht omhoog. Weinig inmenging van lucht in de rookkolom.</p>	

Test: 4 (Watermist met Turbo Löscher)	Tijd: 11:50
Wind: 0,7 - 2,4 m/s, Noord-Oost	
<p>Waarnemer 1:</p> <p>De wolk watermist wordt door de turbulentie van de brand mee omhoog gevoerd. De rookkolom lijkt groter in omvang te worden en verkleurd naar grijs. De rook zakt aan de onderzijde van de wolk uit.</p> <p>Watertemperatuur na de test: < 45 °C</p>	
<p>Waarnemer 2:</p> <p>De rook blijft lager (mogelijk door afkoeling) Het volume van de rook neemt niet toe. Direct boven de brand is de rook zwart. Voorbij de waternevel is de rook grijs.</p>	

Test: 5 (Watermist met Turbo Löscher)	Tijd: 12:40
Wind: 1,4 - 2,4 m/s, Oost / Noord-Oost	
<p>Waarnemer 1:</p> <p>Op het punt waar de rook horizontaal gaat ontstaat een grijze pluim aan de onderzijde en een zwarte pluim aan de bovenzijde. Rookt zakt direct achter het oefengebouw uit tot op grond niveau.</p> <p>Watertemperatuur na de test: < 45 °C</p>	
<p>Waarnemer 2:</p> <p>De rook komt minder ver dan bij test 4. Inzet watermist lijkt meer effect te hebben dan in test 4. De rook heeft minder volume, blijft achter de brand laag aan de grond hangen.</p>	

Test: 6 (Rooksturing met Turbo Löscher)	Tijd: 13:55
Wind: 1 - 3,1 m/s, Noord-Oost	
<p>Waarnemer 1:</p> <p>Het brandvermogen lijkt toe te nemen door verbranding van onverbrande gassen in de rookkolom die onder invloed van de turbinestraal in aanraking komen met zuurstof. Hierdoor ontstaan vuurballen met een diameter van net iets groter dan de brandbak (10m). De stralingsintensiteit wordt groter, waardoor personen in de omgeving meer afstand nemen van de brand. De rook wordt over een breder gebied verspreid De rook die direct geraakt wordt door de turbinestraal lijkt eerder uit te zakken door afkoeling.</p> <p>Watertemperatuur na de test: < 45 °C</p>	
<p>Waarnemer 2:</p> <p>Volume van de rook wordt groter. De rook wordt uit de kolom gedreven, maar niet van richting veranderd. Het vermogen van de brand lijkt toe te nemen / snellere verbranding. De rook veranderd niet van kleur.</p>	

Test: 7/8 (Blusdeken)	Tijd: 15:15
Wind: 0,7 - 3,1, Variërend Noord-West tot Oost	
Waarnemer 1: Na het opbrengen van de deken blijven gassen van de brandstof nog enige tijd branden. Zodra het doek opgetild wordt ontsteken de gassen opnieuw.	
Kans op ongelukken bij deze methode zijn groot. Vlammen kunnen zijdelings vanonder het doek slaan. Brandweerpersoneel kan struikelen, waardoor er iets mis gaat met het doek. Met het doek kan brandende vloeistof opgeschept worden. Door de turbulentie van de brand of door een windstoot kan het doek opwaaien, waardoor vlammen in de buurt van het personeel komen. Bij het optillen van het doek kunnen onverbrande gassen herontsteken.	
Watertemperatuur na de test: < 45° C	
Waarnemer 2: Geen bijzonderheden.	

Test: 9 (Referentiebrand)	Tijd: 16:10
Wind: 0,7 - 2 m/s, Oost / Noord-Oost	
Waarnemer 1: Geen bijzonderheden.	
Waarnemer 2: De rook verkleurd verderop in de pluim naar grijs en lijkt te blijven hangen.	

BIJLAGE 10: METEODATA

De in blauw gemarkeerde data geeft de omstandigheden rond de testen weer.

Nr	Tijd	Luchtvochtigheid (%)	Temperatuur (°C)	Wind (m/s)	Windstoten (m/s)	Richting
1	8:34	99	0.6	0	1	NE
2	8:39	99	0.7	0.7	1.4	N
3	8:44	99	0.7	2	2.7	N
4	8:49	99	0.7	1	1.7	NE
5	8:54	99	0.7	1.4	3.1	N
6	8:59	99	0.7	1.7	2.4	N
7	9:04	99	0.7	2	2.7	NE
8	9:09	99	0.7	1	2	N
9	9:14	99	0.7	1.7	2.4	N
10	9:19	99	0.7	1	1.7	E
11	9:24	99	0.7	1	1.7	NE
12	9:29	99	0.8	0.7	1	NE
13	9:34	99	0.8	1.4	2	N
14	9:39	99	0.7	1	1.4	N
15	9:44	99	0.8	0.3	1	N
16	9:49	99	0.8	1	2	NE
17	9:54	99	3.3	0.7	1	N
18	9:59	96	3	2.7	3.7	NE
19	10:04	92	1.7	1	1.7	NW
20	10:09	92	1.2	0.3	0.7	E
21	10:14	93	1.1	0	0.7	NE
22	10:19	94	1.1	1	2	N
23	10:24	95	1.1	1	1.4	N
24	10:29	95	1.1	1	1.7	NW
25	10:34	95	2.8	1	1.7	N
26	10:39	94	3.9	2	2.4	NE
27	10:44	87	1.8	1.7	2	N
28	10:49	89	1.4	1.7	3.1	NE
29	10:54	91	1.2	1.4	1.7	NE
30	10:59	92	1.1	0.7	1.4	N
31	11:04	93	1.1	1	1.7	E
32	11:09	93	1.1	1	2	E
33	11:14	94	1.1	0.7	1.4	NE
34	11:19	94	1.1	0.3	0.7	NE
35	11:24	95	1.2	0.3	1	NE
36	11:29	99	3.6	0.7	1.7	N
37	11:34	93	3.3	1	2	NE

Nr	Tijd	Luchtvochtigheid (%)	Temperatuur (°C)	Wind (m/s)	Windstoten (m/s)	Richting
38	11:39	87	2	0.3	0.7	E
39	11:44	90	1.5	2.7	4.1	E
40	11:49	91	1.3	1.7	2.4	NE
41	11:54	92	1.3	0.7	1.7	NE
42	11:59	93	1.3	1.7	2.7	NE
43	12:04	93	1.3	0.3	1	E
44	12:09	93	1.3	1	1.4	NE
45	12:14	97	3	1	1.7	NE
46	12:19	92	3.3	0.7	1.4	NE
47	12:24	87	1.9	1	1.7	E
48	12:29	89	1.6	2.4	3.4	E
49	12:34	90	1.4	1.4	2	NE
50	12:39	91	1.4	1.7	2.4	NE
51	12:44	92	1.4	1.4	2.4	E
52	12:49	94	4.2	1.7	2.4	NE
53	12:54	85	2.3	2	2.4	E
54	12:59	88	1.8	1	1.4	NE
55	13:04	89	1.6	1.7	2.4	NE
56	13:09	90	1.5	1.4	2.7	NE
57	13:14	91	1.4	1	1.7	NE
58	13:19	91	1.4	1.4	1.7	NE
59	13:24	92	1.4	1.7	2.7	NE
60	13:29	92	1.4	1.4	3.1	NE
61	13:34	92	1.4	1.4	2	E
62	13:39	92	1.4	1.4	1.7	NE
63	13:44	92	1.5	0.7	1.4	E
64	13:49	93	1.6	1	1.7	NE
65	13:54	92	1.5	1.4	2	NE
66	13:59	92	1.6	1	1.7	NE
67	14:04	92	1.5	1.7	3.1	NE
68	14:09	92	4	0.7	1.4	E
69	14:14	85	2.5	1	1.4	NE
70	14:19	87	1.9	0.7	1.7	N
71	14:24	89	1.6	1	2	NE
72	14:29	90	1.5	1.7	2.4	E
73	14:34	91	1.5	2	2.7	NE
74	14:39	91	1.4	0.7	1.4	NE
75	14:44	92	1.4	1.7	2.4	NE
76	14:49	92	1.4	2.4	3.4	NE
77	14:54	92	1.4	2	2.7	NE
78	14:59	92	1.4	1	2.4	N

Nr	Tijd	Luchtvochtigheid (%)	Temperatuur (° C)	Wind (m/s)	Windstoten (m/s)	Richting
79	15:04	92	1.4	1.7	2	E
80	15:09	92	1.4	0.7	1.4	NE
81	15:14	92	1.4	1.7	3.1	NE
82	15:19	92	1.4	1.4	2	NE
83	15:24	91	2.1	1.7	2.4	NE
84	15:29	90	1.7	1	2	E
85	15:34	90	1.6	0.7	1.7	NE
86	15:39	90	2.5	1.4	2	NE
87	15:44	89	1.9	1.4	2	NE
88	15:49	90	1.7	1.7	2.4	NE
89	15:54	89	2.8	1	1.7	NW
90	15:59	87	2.2	0.3	1	E
91	16:04	88	1.9	1.7	2.7	NE
92	16:09	89	1.6	0.7	1	NE
93	16:14	90	1.6	1.4	2	E
94	16:19	92	3.9	1.4	2	E
95	16:24	84	2.5	0.7	1.7	E
96	16:29	86	1.9	1.4	2.4	E
97	16:34	87	1.6	0.7	1.4	E
98	16:39	89	1.5	1	1.4	N
99	16:44	90	1.5	2	3.1	N

Bijlage 2

Rapportage RIVM: Experimenten Rookverspreiding te Campus Vesta



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

Experimenten rookverspreiding te Campus Vesta

Resultaten als bijlage in de brief aan NIFV vooruitlopend op
briefrapportage van RIVM

Colofon

ISBN:

© RIVM 2013

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

P.P. Morgenstern (),
E.M. van Putten, M.E. Boshuis, A.C. de Groot (), A.J.C. Berkhout, G.R. van der Hoff, L.F.L. Gast

Contact:

Pepijn.Morgenstern@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Instituut Fysieke Veiligheid (IFV)

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Achtergronden onderzoeksvraag	5
1.2	Doelstelling onderzoek	5
1.3	Opzet en uitvoering onderzoek	5
1.4	Rapportage	6
2	Opzet van de RIVM metingen	7
3	Metingen met SODAR en LIDAR	8
3.1	De SODAR	8
3.2	Resultaten SODAR	8
3.3	De LIDAR	8
3.4	Resultaten LIDAR	10
4	Metingen nabij de vuurplaats gericht op chemische samenstelling rook	13
4.1	Locaties van de meetopstellingen	13
4.2	Instrumenten die zijn ingezet	13
4.3	Planning en uitvoering van de verschillende experimenten	15
4.4	Resultaten	15
	4.4.1 Canisters	16
	4.4.2 eNose	16
	4.4.3 Q-trak (TSI)Temperatuur, relatieve vochtigheid, CO, CO2	20
	4.4.4 P-trak (TSI)	21
	4.4.5 MiniRae 3000 VOC monitor	22
	4.4.6 MultiRae gassensoren	23
	4.4.7 KleinFilterGerät zwevend stof en gedeponerd stof	23
	4.4.8 Gasmeter FTIR analyse	25
4.5	Waarnemingen visueel van de pluim	26
5	Conclusies	28
5.1	Algemeen	28
5.2	SODAR en LIDAR	28
5.3	Metingen nabij de vuurplaats	29
	Literatuur	30
	Bijlage Overzicht van de experimenten en uitgevoerde metingen	41
	Bijlage Foto's	44

1 Inleiding

1.1 Achtergronden onderzoeksvraag

Bij brandbestrijding hanteert de brandweer diverse strategieën waarbij een scala aan argumenten wordt afgewogen om 'de beste' strategie te kiezen. Het beperken van rookontwikkeling is een van de afwegingen die daarbij een rol speelt. Het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) is hét instituut van en voor de veiligheidsregio's in het versterken van de brandweezorg en de aanpak op het terrein van de rampenbestrijding en crisisbeheersing. Het IFV heeft bovenstaande vraag opgepakt en een experiment op gezet. Daarbij wil men verschillende methoden inzetten en het effect op de rookontwikkeling bestuderen.

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) heeft een calamiteiten organisatie ingericht die metingen kan uitvoeren, onder andere bij branden. Het RIVM doet dit in opdracht van de Inspectie voor Leefomgeving en Transport (ILT). Het IFV heeft het RIVM gevraagd aan te sluiten bij het rookexperiment om metingen te doen.

1.2 Doelstelling onderzoek

Nagaan wat het effect is van de verschillende technieken op de rookontwikkeling.

1.3 Opzet en uitvoering onderzoek

Het IFV organiseert de experimenten op 27 februari 2013 bij Campus Vesta in België (in eerste instantie was een datum in oktober 2012 gepland, maar wegens weersomstandigheden is dit niet door gegaan). Het experiment is globaal als volgt opgezet. Het bedrijf Efectis heeft een opstelling gecreëerd van betonblokken en een vloeistofdichte kunststof folie. De opstelling betreft een ronde bak met daarin water, waarop telkens een laag diesel wordt aangebracht. Daarmee wordt een 'vloeistofplasbrand' gecreëerd (zie Figuur 1). Daarna worden er diverse technieken toegepast die bedoeld zijn voor het uitmaken van de brand, aanwakkeren van de brand dan wel het omleiden van de rookpluim of het uitwassen van de rookpluim.



Figuur 1 De ronde bak met brandende diesel tijdens een van de experimenten

Er zijn in totaal 8 experimenten uitgevoerd. Deze worden opgesomd in Tabel 1. De bij de experimenten toegepaste technieken staan in de tabel weergegeven.

Tabel 1 Experimenten

1	Volledig uit laten branden
2	Aanwakkeren met Turbolöscher
3	Aanwakkeren met Microturbine
4	Neerslaan van de pluim met Turbolöscher
5	Neerslaan van de pluim met Turbolöscher
6	Afbuigen met Turbolöscher
7	Blusdeken
8	Volledig uit laten branden

De bevindingen van Effectis zijn aan het IFV separaat gerapporteerd.

Het RIVM is gevraagd meetondersteuning te leveren. Doelstelling is inzicht krijgen in karakteristiek van de rookpluim en de chemische samenstelling van de rookontwikkeling bij de verschillende experimenten

1.4 Rapportage

In principe is afgesproken dat de resultaten worden geëvalueerd en dat ze per brief schriftelijk aan het IFV worden teruggekoppeld. De omvang van de gegenereerde data is echter dus danig dat er toch voor is gekozen een briefrapport (volgt) af te leveren.

2 Opzet van de RIVM metingen

Het RIVM is gevraagd meetondersteuning te leveren. Doelstelling is inzicht krijgen in karakteristiek van de rookpluim en de chemische samenstelling van de rookontwikkeling bij de verschillende experimenten. Vooraf gaande aan de experimenten zijn de randvoorwaarden en beperkingen voor de metingen uitgebreid met het IFV besproken. Zo zijn de experimenten op de eerste geplande datum afgeblazen doordat de meteo-omstandigheden ongunstig waren.

Het RIVM meet geregeld bij milieucalamiteiten, inclusief branden. De metingen van het RIVM zijn echter gericht op het effect op het milieu of de risico's voor de volksgezondheid. Dat betekent dat er doorgaans monsters worden genomen en metingen worden gedaan op immissie niveau (leefniveau oftewel datgene wat de mensen in de omgeving daadwerkelijk kunnen inademen). Bij deze experimenten zijn we benieuwd naar de samenstelling van de rook ongeacht waar deze terecht komt (zelfs bij 100% verticale stijging van de rookpluim) maar dat brengt een uitdaging met zich mee. De meetopstellingen bevinden zich vanwege de technische beperkingen, maar ook vanwege de normale meetdoelstellingen van het RIVM, op grondniveau. Dit is onder meer gepoogd op te vangen door metingen met behulp van LIDAR (LIght Detection And Ranging). De LIDAR is een laser techniek om op afstand metingen te doen. De metingen met de LIDAR worden ondersteund door meteo metingen met behulp van een SODAR. De werkwijze en resultaten voor LIDAR en SODAR worden beschreven in hoofdstuk 3. Daarnaast is er een initiatief geweest tussen RIVM en Nationaal Lucht- en Ruimtevaart laboratorium (NLR) om tijdens het experiment onbemande vliegtuigjes in te zetten maar er werd helaas geen vergunning afgegeven door de Belgische luchtvaart autoriteiten van Antwerpen.

Welke stoffen er vrijkomen bij een brand verschilt en is grotendeels afhankelijk van de brandstof, temperatuur en eventueel blusmiddel. Bij de experimenten wordt gezien de brandstof en gebruikte blusmiddelen weinig verschil verwacht anders dan wat betreft de volledigheid van de verbranding. Voor de volledigheid is er echter toch voor gekozen een scala aan metingen te doen. Onderzoek naar de (chemische) samenstelling van de rookpluim wordt gedaan nabij de vuurplaat. De gebruikte technieken en resultaten staan genoemd in hoofdstuk 4.

3 Metingen met SODAR en LIDAR

3.1 De SODAR

Tijdens de experimenten heeft het RIVM een SODAR geplaatst. Een SODAR (acroniem voor SONic Detection And Ranging) meet met behulp van geluidsgolven de windsnelheid en -richting op verschillende hoogtes in de atmosfeer. De gebruikte SODAR was een SFAS64 van Scintec (Rottenburg, Duitsland) gehuurd van Wageningen Universiteit. Het instrument was bovenwinds van de brandplaats geplaatst, zie Figuur 2.

3.2 Resultaten SODAR

De SODAR heeft de gehele meetdag windprofielen gemeten. Elk profiel is het resultaat van 10 minuten data-acquisitie. De resulterende profielen worden weergegeven in Figuur 1 tot en met Figuur 17. Dit zijn alleen de profielen gemeten tijdens brandexperimenten. Ook in de tussenliggende tijdsintervallen zijn profielen gemeten.

3.3 De LIDAR

LIDAR is een acroniem dat staat voor Light Detection And Ranging. Een LIDAR systeem stuurt korte lichtpulsen de atmosfeer in. Deze worden teruggekaatst door aerosolen of gassen, het terugkerende licht wordt geanalyseerd. De hoeveelheid terugkerend licht is een maat voor de hoeveelheid aerosol in de lucht. Door ook de tijd te meten die verstrijkt voordat een lichtpuls terugkeert is ook de afstand van dat aerosol tot de LIDAR te bepalen. De LIDAR die bij deze experimenten is ingezet is door het RIVM ontwikkeld voor het meten van emissies op afstand ten behoeve van handhaving en opsporing. Het instrument is ondergebracht in een meetwagen die voorzien is van alle benodigde infrastructuur en daardoor geheel zelfstandig kan opereren. Naast aerosol kan het instrument op dit moment concentraties en emissies meten van vier sporengassen: stikstofdioxide, zwaveldioxide, ammoniak en benzeen. Deze LIDAR wordt uitgebreid beschreven in (Berkhout et al., 2008 en Berkhout et al., 2011). Tijdens de hier beschreven aerosolexperimenten werd blauw laserlicht met een golflengte van 414 nm gebruikt. Figuur 2 laat exterieur en interieur van de meetwagen zien.



Figuur 2 De meetwagen, exterieur en interieur

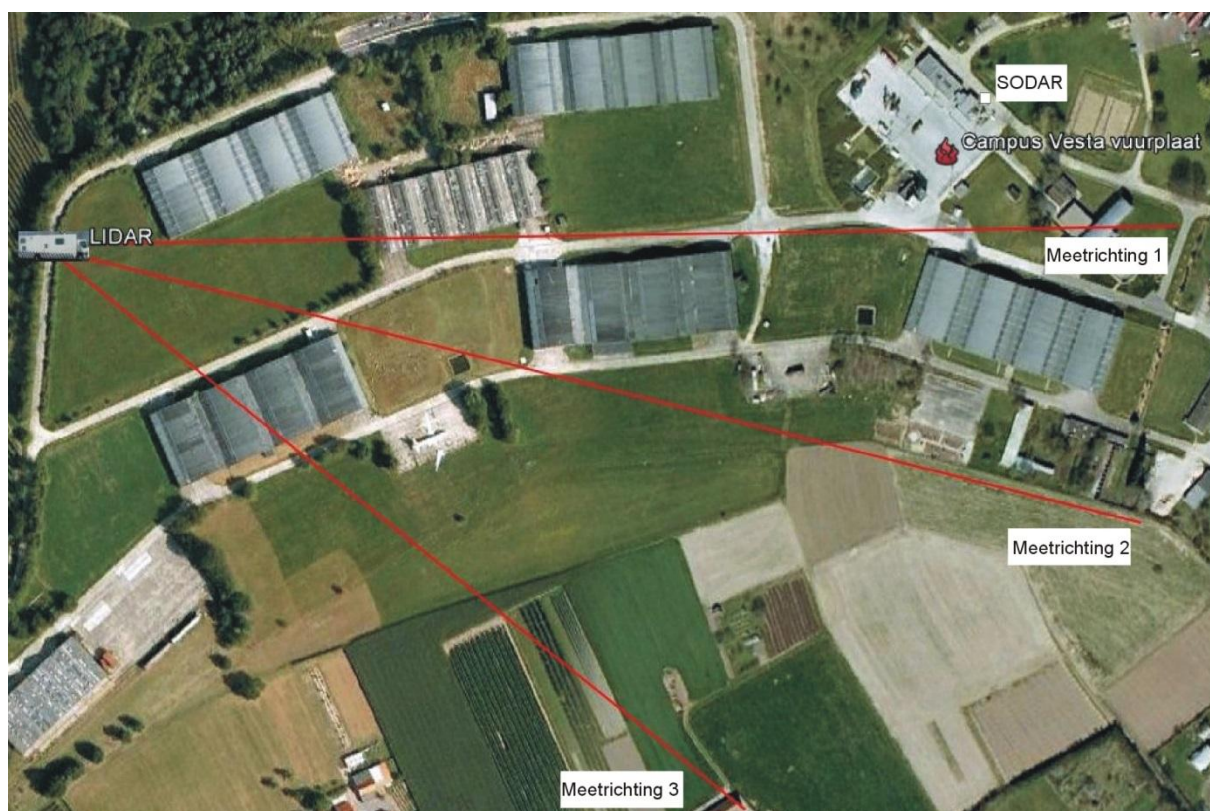
De LIDAR kan in alle richtingen metingen uitvoeren. Hierdoor is het mogelijk om de ruimtelijke verdeling van sporengassen en aerosolen in kaart te brengen. Dit wordt gedaan door in een aantal richtingen in één of meer verticale vlakken te meten. Ook kunnen gas- of rookpluimen in ruimte en tijd gevolgd worden. Het meetbereik is afhankelijk van de te meten component. Voor aerosol loopt dit bereik van 220 tot ongeveer 4000 meter afstand vanaf de LIDAR.

Voor het verkrijgen van goede resultaten is het van belang de LIDAR op de juiste plek op te stellen. De te meten pluim moet binnen het meetbereik vallen, er moeten geen objecten als bomen of gebouwen in de weg staan en de pluim moet, door de wind, door het verticale meetvlak gevoerd worden, bij voorkeur haaks door dat vlak.

Bovenstaande eisen betekenden tijdens de experimenten op Campus Vesta op 27 februari 2013 dat de LIDAR als volgt opgesteld moest worden:

1. minimaal 300 m van de as van de te meten rookpluim, liefst verder weg;
2. maximaal 3000 m van de as van de te meten rookpluim, liefst dichterbij;
3. een vrij schootsveld tussen LIDAR en pluim.

Vooraf de eerste eis bleek lastig te verwezenlijken. Door de aanwezigheid van gebouwen en bomen kwamen veel plekken niet in aanmerking. Een potentieel goede plaats aan de oostkant van het terrein was vanwege schietoefeningen niet toegankelijk. RIVM, Campus Vesta en IFV hebben uiteindelijk in samenspraak gekozen voor een locatie aan de uiterste westkant van het terrein (zie Figuur 2). Doordat de wind op de meetdag naar een oostelijke richting draaide bleek deze locatie uiteindelijk erg dicht op de pluimas te liggen.



Figuur 2. De meetlocatie op het Campus Vesta terrein met de opstelplaatsen van de LIDAR meetwagen (met bijbehorende 3 meetrichtingen) en de SODAR windmeter.

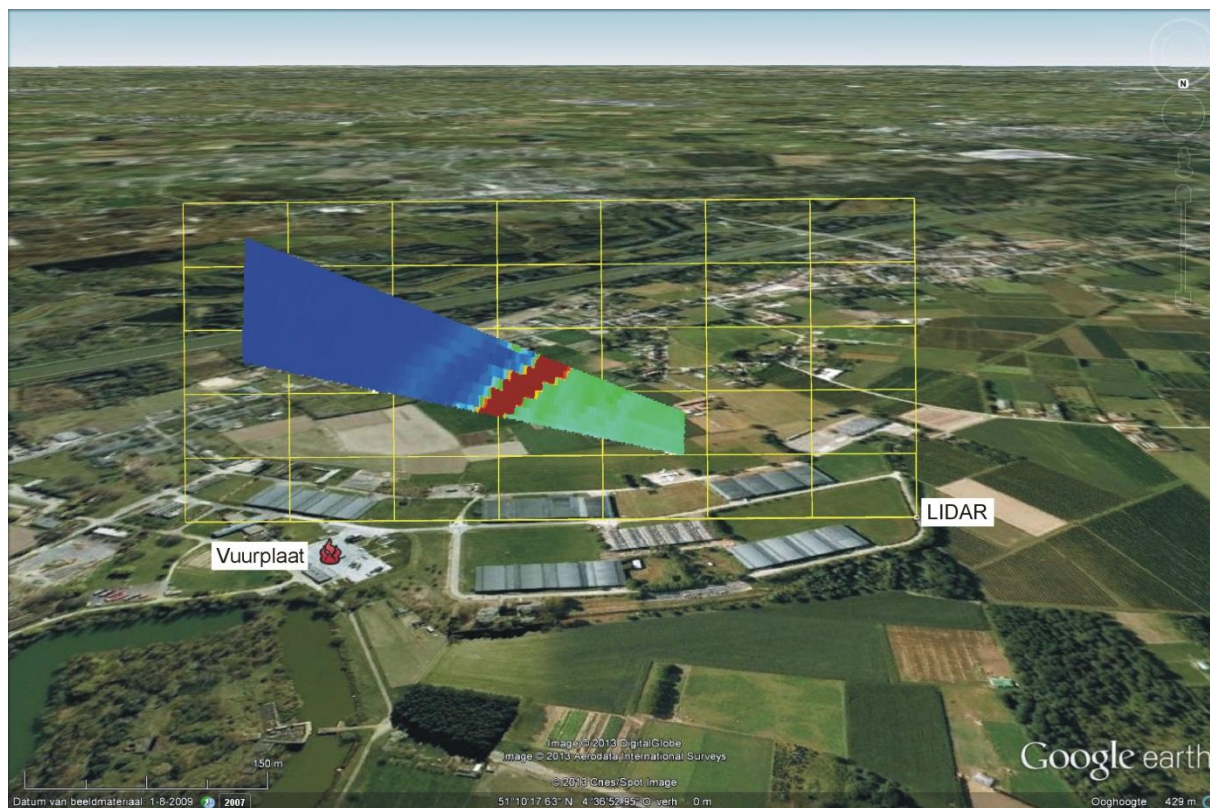
3.4 Resultaten LIDAR

Tijdens het eerste brandexperiment heeft de LIDAR in totaal zeven volledige scans gemaakt in elk van de drie meetrichtingen (zie Figuur 2 voor de ligging van de meetrichtingen). Deze zeven scans dekken het hele eerste experiment, van de eerste tot de laatste rookontwikkeling.

Helaas raakte de LIDAR aan het eind van dit eerste experiment defect, een onderdeel van de motor die de verticale scanbeweging verzorgt brak af. Ondanks verwoede pogingen, lukte het niet om deze motor ter plaatse te repareren.

In Figuur 4 wordt een voorbeeld gegeven van een pluimdoorsnede, gemeten met de LIDAR in meetrichting 1 tussen 9:48 en 9:49 uur. De gele lijn is 700 m lang en geeft aan hoe de meetrichting op de grond verloopt. De pluimdoorsnede bevindt zich recht boven deze gele lijn. De verticale schaal is sterk uitgerekt, het hoogste punt van de pluimdoorsnede bevindt zich op ongeveer 90 m hoogte. Rood staat voor veel aerosol en geeft aan dat daar de pluim gemeten wordt, groen en blauw weinig tot niets. Hierin is duidelijk te zien dat de pluim de meetrichting kruist ongeveer ter hoogte van de loods. De pluim is ondoorzichtig voor de LIDAR: voor de pluim is nog enig achtergrondaerosol te zien (de groene

kleur), daarachter ziet het systeem niks (de blauwe kleur). Bij een meer diffuse pluim kan de LIDAR wel door de pluim heen kijken en kan ook achter de pluim gemeten worden.



Figuur 4. Voorbeeld van een pluimdoorsnede, gemeten met de LIDAR tussen 9:48 en 9:49 uur. Kaartbeeld uit Google Earth. De onderste gele lijn is 700 m lang en loopt over de grond, de pluimdoorsnede bevindt zich daar recht boven. De verticale schaal is sterk uitgerekt.

In Figuur 18 tot en met Figuur 24 worden de pluimdoorsnedes gegeven, gemeten op meetrichting 1 tijdens het eerste brandexperiment. Merk op dat de verticale as sterk is uitgerekt ten opzichte van de horizontale as. Ook in de andere twee meetrichtingen zijn tijdens dit experiment pluimdoorsnedes gemeten. Door de geometrie van de rookpluim, de laaghangende bewolking (daar kan de LIDAR niet doorheen kijken) en de ongunstige plaatsing van het instrument is uit deze pluimdoorsnedes niet veel af te leiden.

Uit de pluimdoorsnedes weergegeven in Figuur 18 tot en met Figuur 24 kunnen de dimensies van de pluim bepaald worden. Deze worden gegeven in Tabel 1. Hierin worden de volgende dimensies opgegeven:

- Afstand: de afstand van de as van de pluim tot de LIDAR.
- Hoogte: de hoogte van de as van de pluim boven de grond.

- Afmeting horizontaal: de grootste breedte van de pluim, gemeten haaks op de as van de pluim
- Afmeting verticaal: de afstand tussen het laagste en hoogste punt van de pluim.

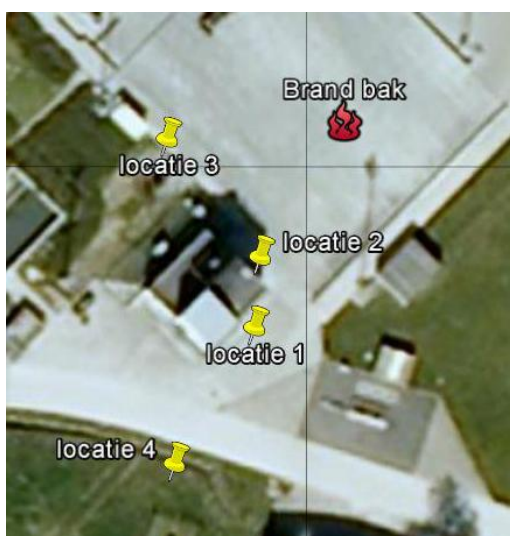
Tabel 2 Pluimdimensies, bepaald uit de LIDAR data, tijdens experiment 1.

Tijd	Afstand (m)	Hoogte (m)	Afmeting horizontaal (m)	Afmeting verticaal (m)
9:45 - 9:46	457	37	19	6
9:47 - 9:48	373	40	70	19
9:48 - 9:49	374	42	87	19
9:49 - 9:50	447	45	132	20
9:50 - 9:51	383	42	92	28
9:51 - 9:52	462	43	24	10
9:51 - 9:53	470	62	18	10

4 Metingen nabij de vuurplaats gericht op chemische samenstelling rook

4.1 Locaties van de meetopstellingen

De locatiekeuze voor de meetopstellingen is sterk afhankelijk van het traject dat de rookpluim af gaat leggen. Dat is mede afhankelijk van de meteo-omstandigheden en de landschapsinrichting ter plaatse. Meteo-omstandigheden zijn variabel en niet met zekerheid te voorspellen. Toch dient, vanwege de complexiteit van de meetopstellingen, van te voren een keuze te worden gemaakt ten aanzien van locaties. De infrastructuur is daarnaast ook van belang voor de meetopstellingen: er dient immers stroom te zijn, meters dienen vastgemaakt te worden, et cetera. Tenslotte hebben sommige toegepaste technieken bij de experimenten an sich een behoorlijke invloed op de meetopstellingen. Zo is de turboloscher zo krachtig dat delen van de meetopstelling zijn weggeblazen en hebben sommige heftige blustechnieken apparaatstoringen veroorzaakt. Uiteindelijk is gekozen voor één meetpunt boven op het gebouw en twee meetpunten aan weerszijden. Het vierde en laatste meetpunt is op een grotere afstand onder de te verwachten pluim gezet. Zie Figuur 5.



Figuur 5 De locaties van de opstellingen

4.2 Instrumenten die zijn ingezet

Canister

Canisters zijn stalen bollen die onder vacuum aangeleverd worden. Tijdens ieder experiment is een canister open gezet waardoor deze in enkele seconden gevuld wordt. De meeste canisters zijn op het dak bij locatie 2 gevuld. Daarvoor is steeds gewacht tot het moment dat de rook het beste over de opstelling kwam. De canister worden bij het RIVM bij het Centrum Veiligheid geanalyseerd op een 40-tal vluchtige organische componenten met behulp van een Gaschromatograaf Massaspectrometer (GC-MS). Daarnaast wordt gekeken of er nog andere componenten zichtbaar zijn (unknowns).

eNose

Op iedere locatie is een eNose (Comon-Invent) neergezet. Dit instrument bevat een viertal gasgevoelige sensoren. De meetwaarden worden iedere 10 seconden gelogd en regelmatig verstuurd naar de website waar de concentraties gevolgd kunnen worden. De vier sensoren zijn ieder gevoelig voor bepaalde gassen.

Q-trak (TSI)

Dit instrument is niet robuust uitgevoerd omdat deze bedoeld is om in binnenlucht kooldioxide (CO₂), koolmonoxide (CO), temperatuur en relatieve vochtigheid te registreren. Op iedere locatie is een Q-trak geplaatst.

P-trak(TSI)

Dit instrument telt het aantal deeltjes in de lucht per cc. Het zuigt continu lucht aan en verzadigt dit met een alcohol damp. De deeltjes groeien door de alcohol damp waardoor ze eenvoudig te tellen zijn. Op twee locaties (1 en 2) is een P-trak geplaatst.

MiniRae 3000 VOC monitor

Dit apparaat registreert de som van de VOC concentraties in lucht en logt deze 10 keer per minuut. Op twee locaties (1 en 2) is de MiniRae 3000 VOC monitor ingezet.

MultiRae gassensoren

Deze twee MultiRae's bevatten een aantal gassensoren: HCN, NO₂, NH₃, Cl₂, SO₂, NO, H₂S, PH₃, CO en CO₂.

Op twee locaties (1 en 2) zijn deze twee MultiRae geplaatst. Op de andere locaties zijn de PACIII sensoren van Draeger geplaatst.

KleinFilterGerät zwevend stof verzamelen

Met behulp van een Kleinfiltergerät is stof verzameld op kwartsvezelfilters. Deze filters worden vooraf en achteraf gewogen zodat de hoeveelheid stof in de lucht bepaald kan worden. De filters kunnen in een later stadium ook geanalyseerd worden. In dit geval is geanalyseerd op elementen. Voor ieder experiment is een nieuw kwartsvezelfilter ingezet. Op iedere locatie is een KFG geplaatst.

Veegplaten

Op alle vier de locatie is een afveegbaar oppervlak geplaatst. Voor en na ieder experiment zijn deze oppervlakken geveegd met watten. Op deze manier wordt gekeken naar de hoeveelheid depositie per oppervlak. In eerste instantie gaat het met name om visuele waarneming. Mocht er aanleiding voor zijn dan kan er ook een analyse plaats vinden.

Gasmet

Een Gasmet FTIR is gebruikt om continu de lucht te analyseren. Dit instrument zuigt lucht aan en meet deze lucht batchgewijs in een meetcel (10m pad). Het infrarood spectrum kan automatisch en handmatig geanalyseerd worden op ongeveer 200 verschillende stoffen. Water en kooldioxide (CO₂) hebben een zeer markant spectrum en nemen een groot deel van het spectrum in. De overige stoffen kunnen in concentraties van enkele ppm aangetoond worden in het resterende spectrum.

4.3 Planning en uitvoering van de verschillende experimenten

De planning en uitvoering van de experimenten staat in Tabel 3. Zoals te zien is aan de tijdstippen duren de experimenten tussen de 5 en 8 minuten.

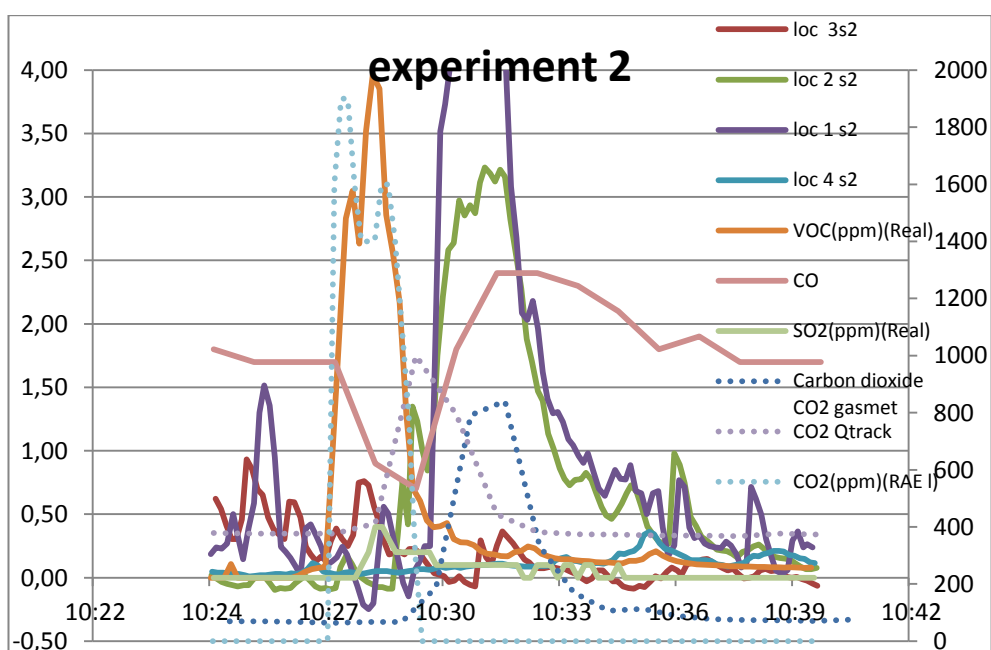
Tabel 3 experimenten

1	Volledig uit laten branden	9:45-9:53
2	Aanwakkeren met Turbolöscher	10:28-10:33
3	Aanwakkeren met Microturbine	11:22-11:27
4	Neerslaan van de pluim met Turbolöscher	12:07-12:12
5	Neerslaan van de pluim met Turbolöscher	12:40-12:46
6	Afbuigen met Turbolöscher	13:59-14:05
7	Blusdeken	15:16-15:18
	Blusdeken	15:32-15:34
	Restant opbranden	15:45-15:49
8	Volledig uit laten branden	16:10-16:15

4.4 Resultaten

Het begin van experiment 1 was niet goed afgestemd tussen de verschillende partijen; waardoor het gros van de RIVM meetapparatuur niet was aangezet. Daardoor is het eerste experiment alleen gemeten met de instrumenten die niet expliciet gestart hoefden te worden, maar 'continu' meten.

De verschillende instrumenten hebben simultaan hun metingen verricht. Toch is het niet eenvoudig om op zo'n geringe tijdschaal een goed beeld te geven wat er chemisch gebeurt. Er gebeurt teveel op meerdere locaties tegelijkertijd. Als voorbeeld staan in Figuur 6 van vier eNoses alleen sensor twee, de Rae-VOC, de Gasmet en de Qtrack. De signalen vertonen grote veranderingen maar nooit exact op hetzelfde moment. Omdat het zeer kortdurende experimenten zijn ontstaat een zeer chaotisch beeld. Daarom zal per instrument ingegaan worden op de experimenten.



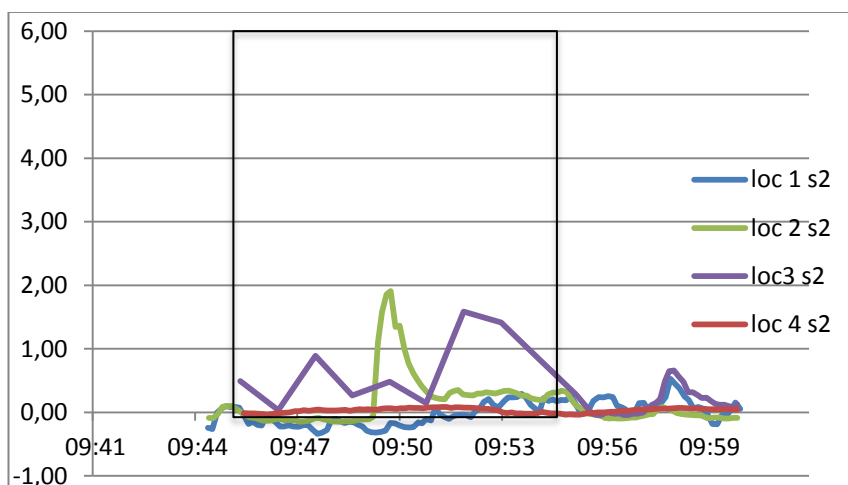
Figuur 6 diverse signalen tijdens experiment 2 aanwakkeren

4.4.1 Canisters

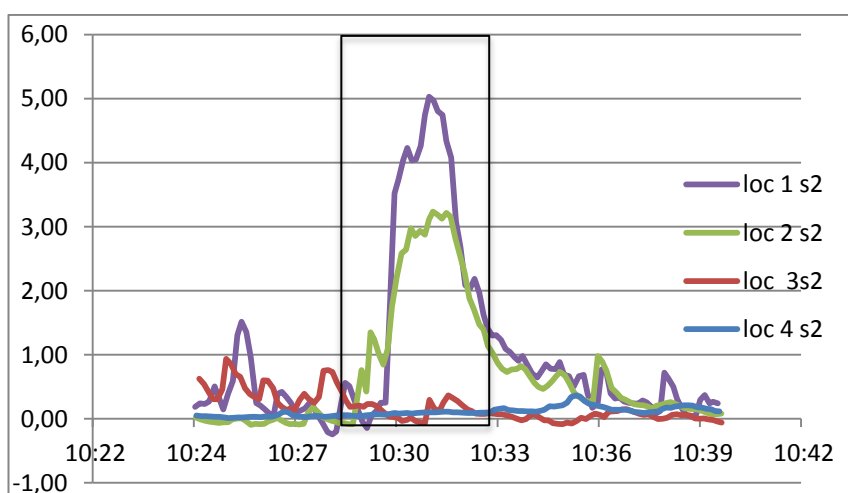
Met behulp van canisters zijn bij de verschillende experimenten zo goed als mogelijk luchtmonsters genomen van de vrijkomende rook. De monsters zijn instantaan genomen (binnen enkele seconden heeft de bol zich met gas gevuld). Bemonstering is meestal gedaan bovenop het gebouw (± 10 meter hoogte) maar soms ook op grondniveau. Het bleek zeer lastig (soms onmogelijk) om goede monsters te nemen vanwege de sterke verticale pluimstijging. De luchtmonsters zijn op het RIVM bij het Centrum Veiligheid geanalyseerd met behulp van GC-MS. In geen van de monsters zijn vluchtige organische componenten aangetoond in een concentratie boven $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.4.2 eNose

In de volgende plaatjes staan de resultaten van de eNoses per experiment. Op iedere locatie is van de eNose alleen sensor 2 weergegeven. Deze sensor is vooral gevoelig voor vluchtige organische componenten. Met een kader is aangegeven wanneer de brand plaats vond. Zoals ter zien is in Figuur 7 hebben de eNoses tijdens het eerste experiment weinig waargenomen. Met het aanwakkeren met de Turbolöscher komen er duidelijk gassen over locatie 1 en 2. Het eind van het experiment is minder abrupt dan de start (Figuur 8).

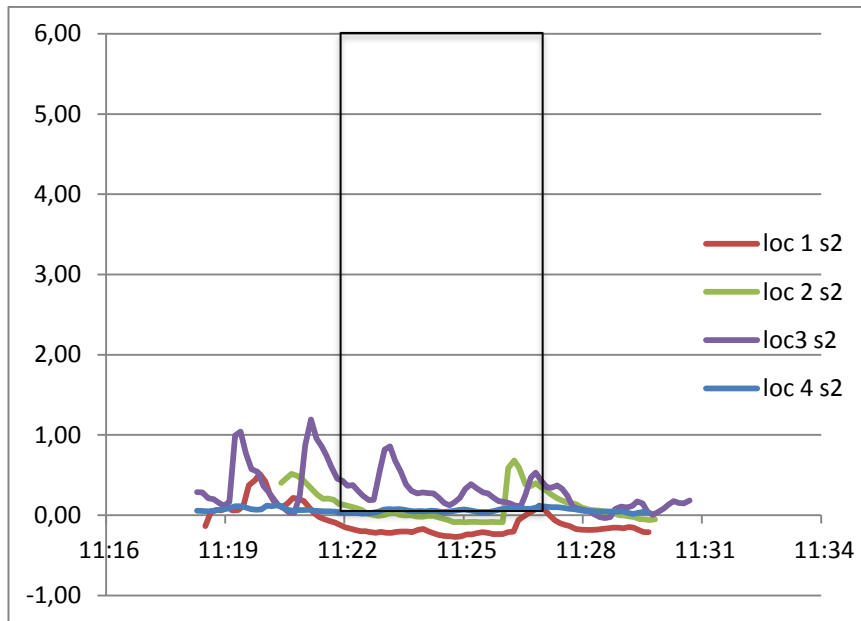


Figuur 7 Experiment 1 uitbranden 9:45-9:55



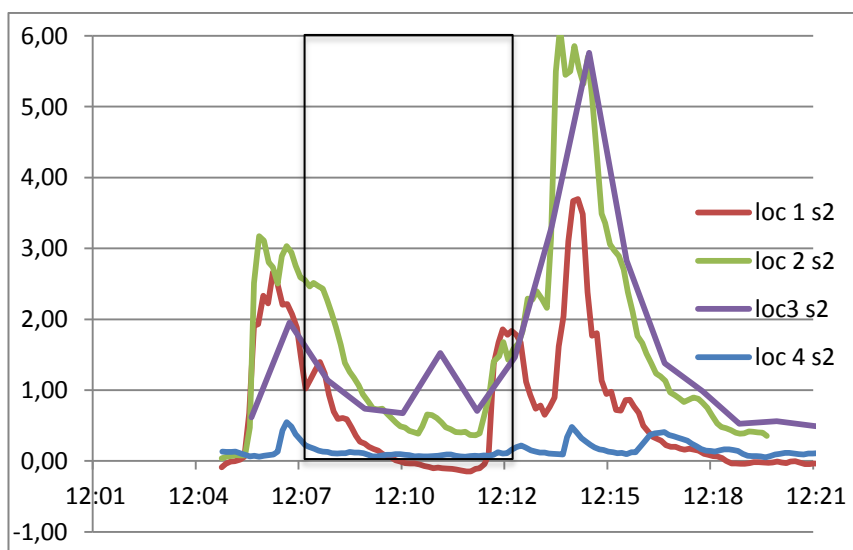
Figuur 8 Experiment 2 aanwakkeren Turbolöscher 10:28-10:33

Met het aanwakkeren met de Microturbine worden er geen gassen herkend (Figuur 9).

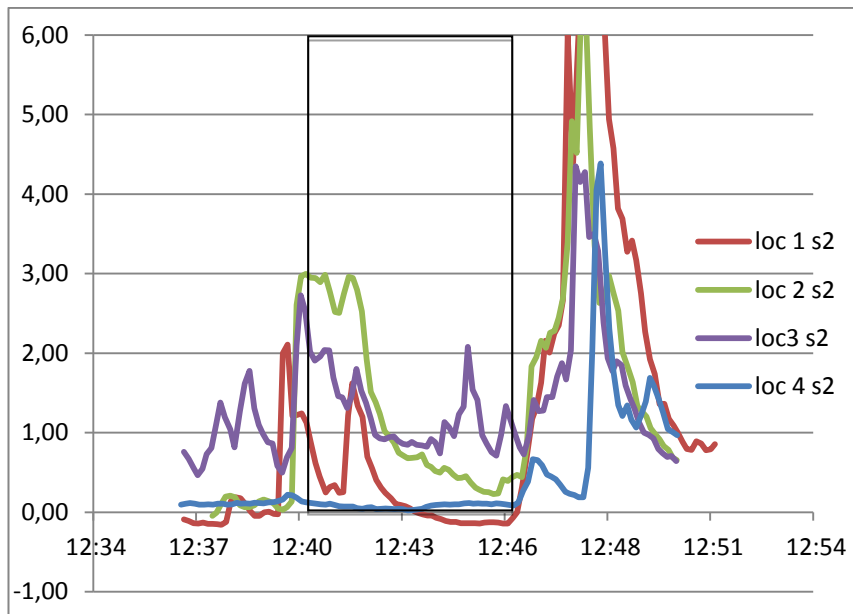


Figuur 9 Experiment 3 aanwakkeren Microturbine 11:22-11:27

Twee experimenten met neerslaan met de Turbolöscher vertonen bijna hetzelfde beeld (Figuur 10 en Figuur 11). Er is al een concentratie zichtbaar bij de start van het experiment. Dit is vermoedelijk de damp van de diesel. Tijdens het experiment dalen de concentraties. Na het experiment lopen de concentraties weer op. Het nasmeulen kan hierin een rol spelen, maar de motor van de Turbolöscher zou ook een bron kunnen zijn.

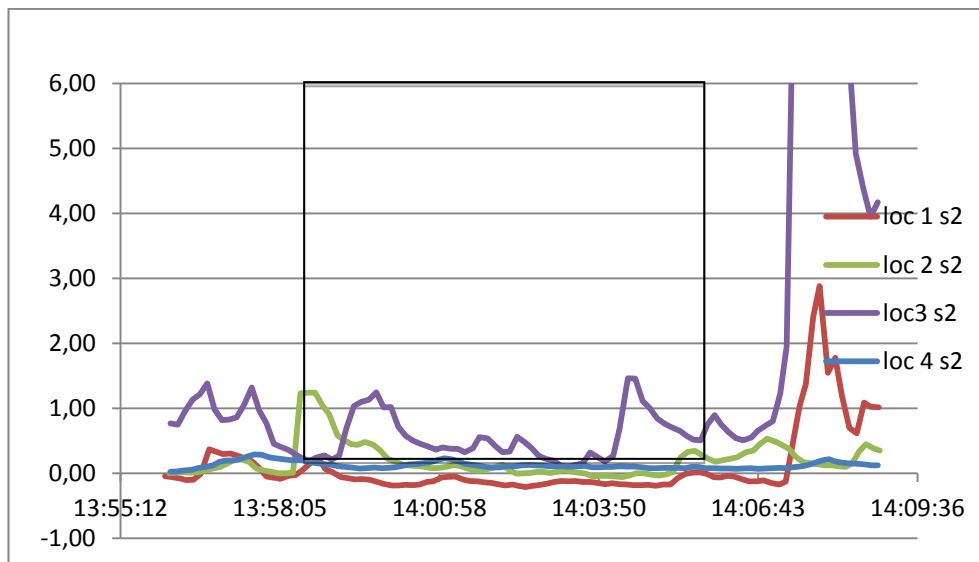


Figuur 10 Experiment 4 neerslaan Turbolöscher 12:07-12:12



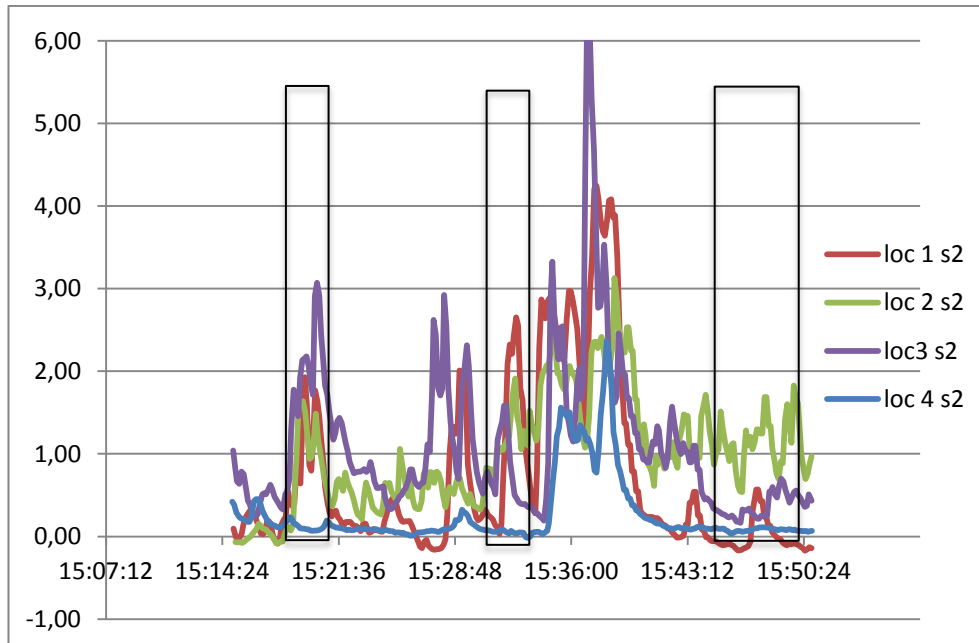
Figuur 11 Experiment 5 neerslaan Turbolöscher 12:40-12:46

Tijdens het experiment waarbij de Turbolöscher de rook afbuigt, komen er geen gassen over de meetopstelling. Dit is te zien in Figuur 12.



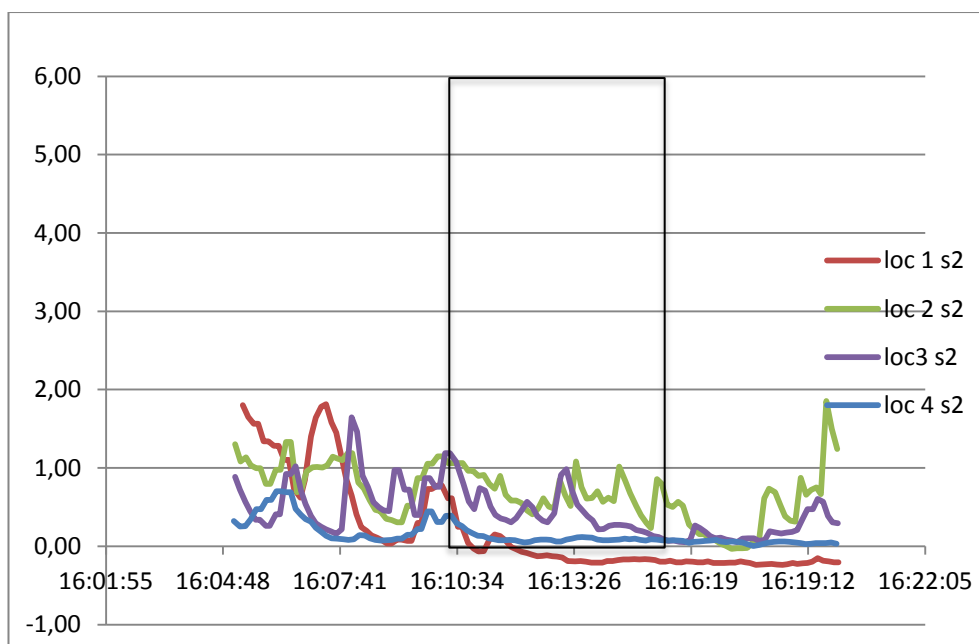
Figuur 12 Experiment 6 Afbuigen Turbolöscher 13:59-14:05

De experimenten met het blusdeken bestaan uit meerdere fases. Na het vullen van de bak duurde het relatief lang voordat deze aangestoken is. Het beeld tijdens de twee experimenten is verschillend. Waarschijnlijk is de hoogste concentratie tussen de experimenten en het geheel uitlaten branden het hoogst omdat er op dat moment warme diesel uitdamppt (zie Figuur 13).



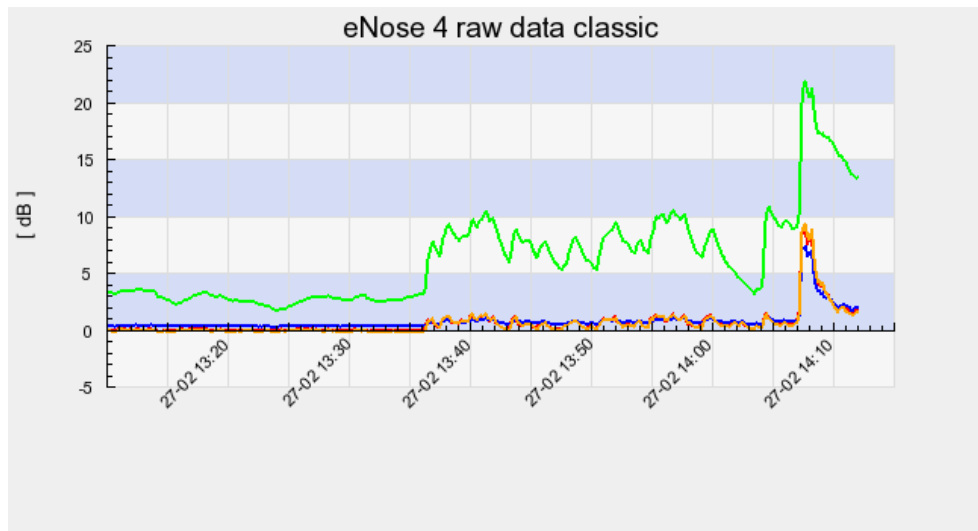
Figuur 13 Experiment 7 Blusdeken (2x) + uitbranden 15:16-15:49

Het laatste experiment bestaat uit het volledig laten uitbranden van de diesel zonder verdere ingrepen (vergelijkbaar met het allereerste experiment). De resultaten zijn weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14 Experiment 8 uitbranden 16:10-16:15

In *Figuur 15* is duidelijker te zien dat de eNose ook reageert op het vullen van de bak met diesel. Het vullen start om 13:35 (na de lunch), het brand experiment start pas om 14:00. Dit geeft aan dat de bijdrage van de brandende diesel versus de bijdrage van dampende diesel moeilijk zijn te onderscheiden.

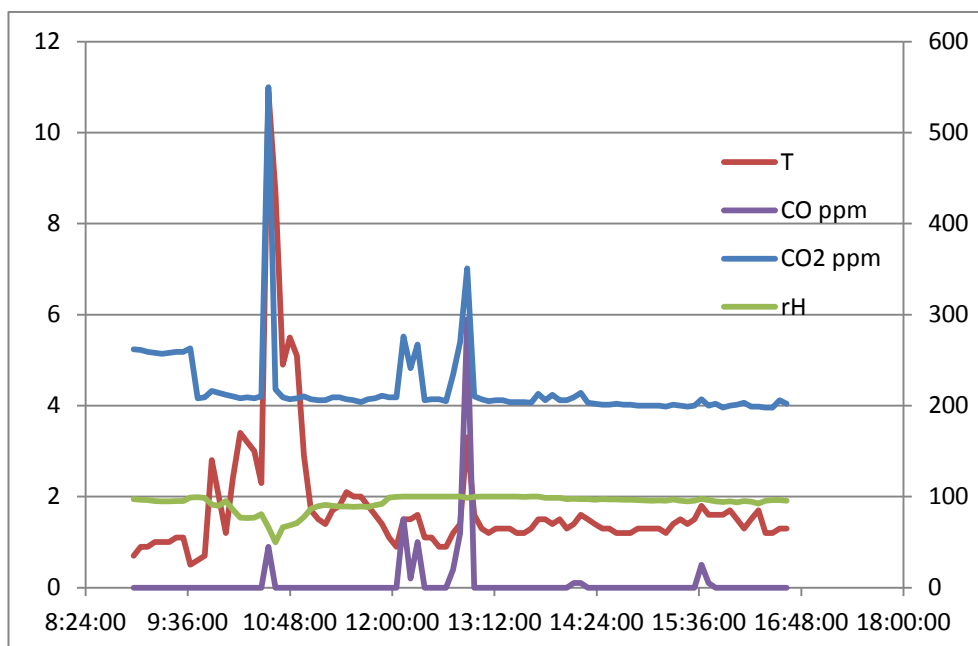


Figuur 15 Concentratie verloop 4 sensoren van de eNose4

4.4.3

Q-trak (TSI) Temperatuur, relatieve vochtigheid, CO, CO2

In *Figuur 16* is de Q-track voor locatie 1 weergegeven.



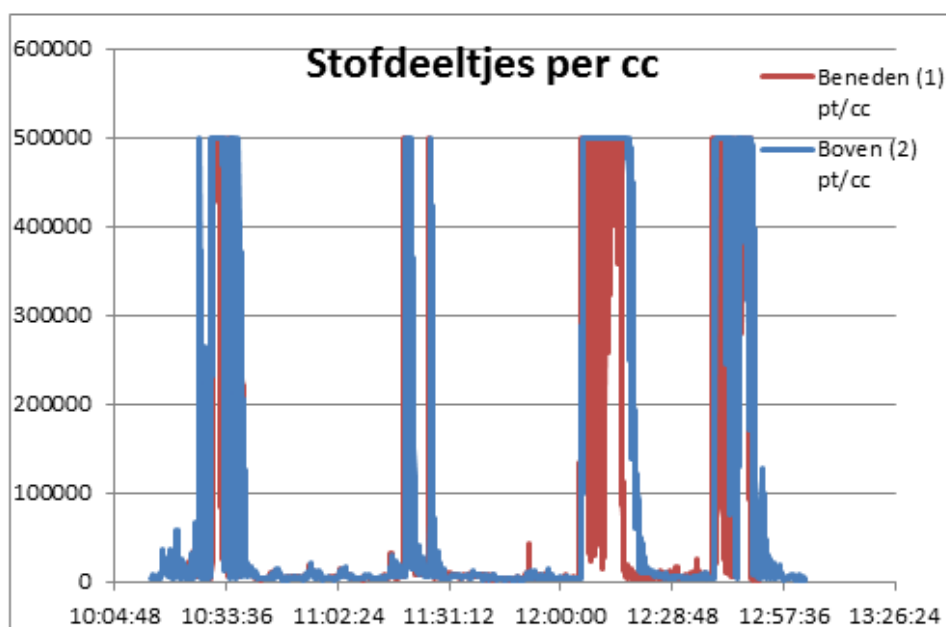
Figuur 16 Qtrack Locatie 1

Niet alle Qtracks hebben de experimenten goed doorstaan. Door de hoge vochtigheid zijn veel gegevens verloren gegaan. Op locatie 1 zijn wel alle gegevens verzameld. In *Figuur 16* Qtrack Locatie 1 staan de vier meetsignalen.

De relatieve vochtigheid (groen) en de CO₂ (paars) staan tegen de rechter y as. De temperatuur en de CO staan tegen de linker Y-as uitgezet. Met name in de ochtend is de rook regelmatig over locatie 1 gegaan. In de middag niet meer. Het is niet duidelijk of dat komt door de experimenten of door de weersomstandigheden. Goed zichtbare experimenten zijn aanwakkeren en neerslaan met de Turbolöscher.

4.4.4 P-trak (TSI)

De deeltjes tellers zijn in staat om deeltjes te tellen tot 50.000 per cc. Bij deze experimenten is dat maximum meerdere malen bereikt. Locaties 1 en 2 worden weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17 Deeltjes tellers op locatie 1 beneden(rood) en locatie 2 boven (blauw)

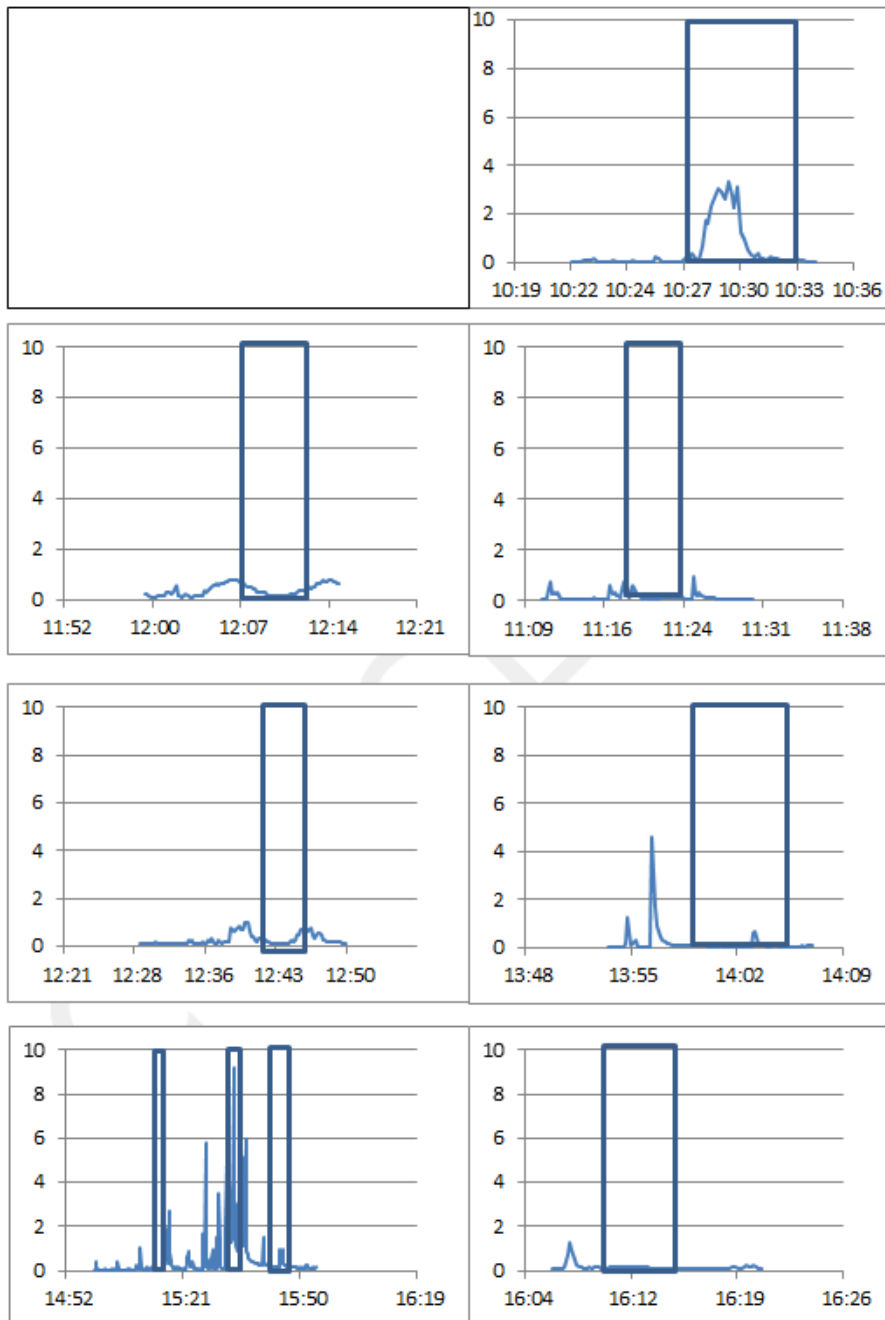
Bovenstaande figuur is samen te vatten door de pieken te sommeren of te middelen. Deze waarden staat in onderstaande tabel. Experiment 3 aanwakkeren met de Microturbine heeft duidelijk minder stofdeeltjes bij de meetinstrumenten gebracht.

Tabel 4 Stofmeting aantal deeltjes per cc

	<i>Som</i> (x 1.000.000) <i>Loc1</i>	<i>Som</i> (x 1.000.000) <i>Loc2</i>	<i>Mean</i> (x1'000) <i>loc 1</i>	<i>Mean</i> (x1'000) <i>loc 2</i>
Experiment 2 Turbolöscher	136	172	189	239
Experiment 3 Microturbine	66	76	91	106
Experiment 4 neerslaan	272	402	302	446
Experiment 5 neerslaan	188	271	262	376

4.4.5 *MiniRae 3000 VOC monitor*

De Rae VOC analyser op locatie 2 geeft een beeld van het concentratie verloop van de opgetelde Vluchtige Organische Componenten (VOC) tijdens de verschillende experimenten. Evenals de eNoses lijkt de VOC monitor vooral de diesel als damp waar te nemen. Tijdens de experimenten zijn de concentraties meestal laag. De enige uitzondering hierop is het blusdeken experiment (experiment nummer 7). Zie Figuur 18.



Figuur 18 experimenten 2 t/m 8 op locatie 2 RAE VOC in ppm

4.4.6 *MultiRae gassensoren*

De MultiRae sensoren hebben vrijwel geen meetbare gassen gedetecteerd. Wel werden op verschillende momenten kooldioxide (CO₂) en koolmonoxide (CO) gedetecteerd. Een overzicht van de experimenten waarbij CO₂ en CO zijn gemeten voor locaties 1 en 2 zijn weergegeven in Tabel 5 en Tabel 6. Uiteraard is niet bij ieder experiment de rook netjes over de opstellingen heen gegaan.

Tabel 5 Locatie 1 Rae metingen voor parameters CO en CO₂

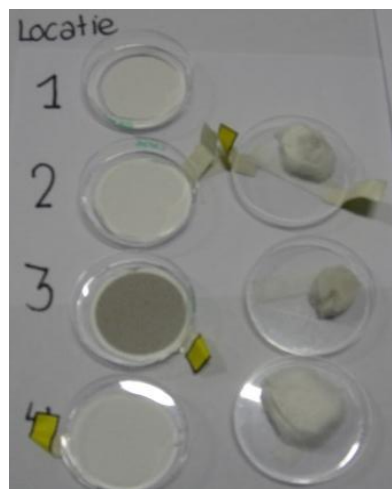
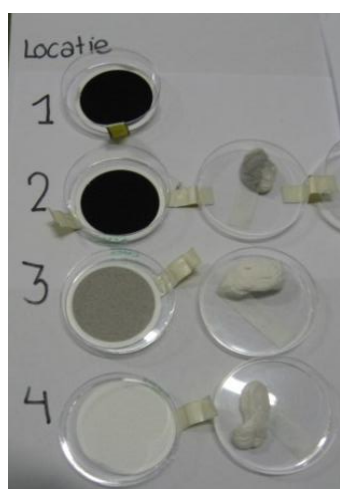
	CO som	CO mean	CO Max	CO ₂ som	CO ₂ mean	CO ₂ Max
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
exp 2	178	6	17	18000	546	1900
exp 3	0	0	0	0	0	0
exp 4	98	1	10	5100	84	300
exp 5	302	14	40	8400	142	800
exp 6	0	0	0	0	0	0
exp 7	0	0	0	0	0	0
exp 8	0	0	0	0	0	0

Tabel 6 Locatie 2 Rae metingen voor parameters CO en CO₂

	CO som	CO mean	CO Max	CO ₂ som	CO ₂ mean	CO ₂ Max
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
exp 2	173	9.6	16	19500	929	1600
exp 3	0	0	0	0	0	0
exp 4	335	4.6	10	17100	241	300
exp 5	75	7.5	10	8000	286	300
exp 6	0	0	0	0	0	0
exp 7	0	0	0	0	0	0
exp 8	0	0	0	0	0	0

4.4.7 *KleinFilterGerät zwevend stof en gedeponerd stof*

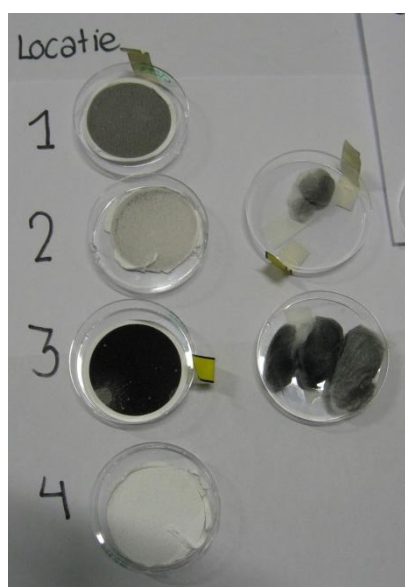
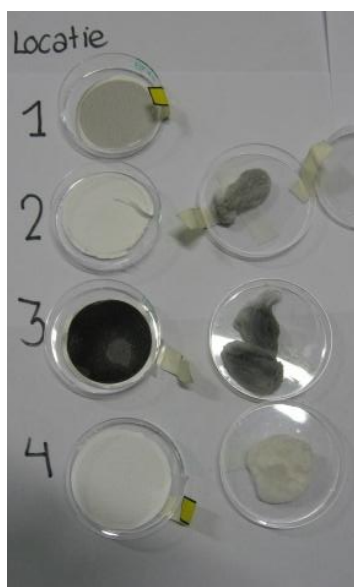
De filters zijn vooraf en achteraf gewogen. Door de hoge vochtigheid bij veel experimenten is er veel filtermateriaal aan de filterhouder geplakt. Een goede naweging is hierdoor niet mogelijk gebleken. Visueel zeggen de filters echter juist heel veel. Aan de zwarting van de filters is goed te zien of de rook over de opstelling is gegaan. Ook de veegmonsters zien er duidelijk verschillend uit bij de diverse experimenten. In Figuur 19 tot en met Figuur 25 worden per experiment de filters en de veegmonsters van de veegplaten getoond.



Figuur 19 Experiment 2 aanwakkeren Turbolöscher

Figuur 20 Experiment 3 aanwakkeren Microturbine

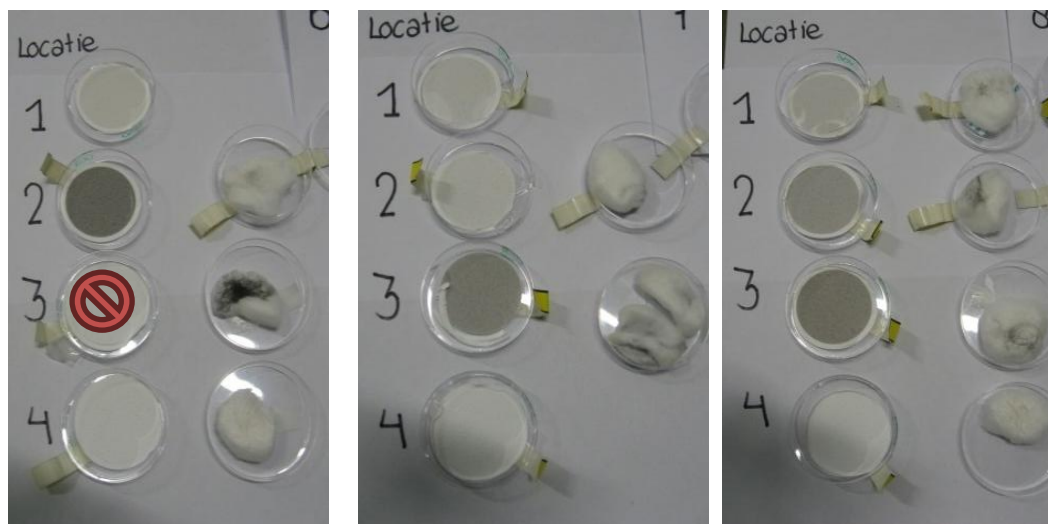
Figuur 19 en Figuur 20 laten twee 'aanwakker experimenten' zien. Het aanwakkeren heeft duidelijk zeer verschillende gevolgen gehad. De Turbolöscher heeft de rook langs opstelling 2 geblazen. Ook op het dak is veel stof waargenomen. Locatie 3 lijkt minder in de rook gestaan te hebben. Het aanwakkeren van de microturbine heeft de rook over geen enkele opstelling gestuwd.



Figuur 21 Experiment 4 neerslaan Turbolöscher

Figuur 22 Experiment 5 neerslaan met Turbolöscher

De experimenten met het neerslaan door de Turbolöscher leveren met name op locatie 3 veel stof op. Zowel de depositie (veeg) als in de luchtmonsters(filters) zijn het zwartst van alle experimenten. De KFG filters op locatie 2 zijn gesneuveld door een overvloed aan water.



Figuur 23 Experiment 6 Afbuigen Turbolöscher

Figuur 24 Experiment 7 Blusdeken(som)

Figuur 25 Experiment 8 uitbranden

Tijdens de middagexperimenten is de rook met name over locatie 3 gegaan. Bij experiment 6 is iets mis gegaan met de filterbemonstering. Het veegmonster toont wel aan dat de opstelling in de rook stond.

In Tabel 7 is met behulp van '+' tekens aangegeven in hoeverre stof op de locaties gevonden is.

Tabel 7 zwevend en gedeponeerd stof per experiment

	Loc 1	Loc 2	Loc3	Loc 4
1	--	--	--	--
2	++++	++++	+++	+
3	++	++	+++	+
4	+++	Te nat	++++	+
5	+++	Te nat	++++	+
6	++	+++	---	+
7	++	++	+++	+
8	++	+++	+++	+

XRF analyse

De filters zijn nadat ze nagewogen zijn geanalyseerd op zware metalen met behulp van een XRF. De XRF analyse (meet van Aluminium tot Uranium) heeft alleen zwavel aangetoond.

4.4.8 *Gasmet FTIR analyse*

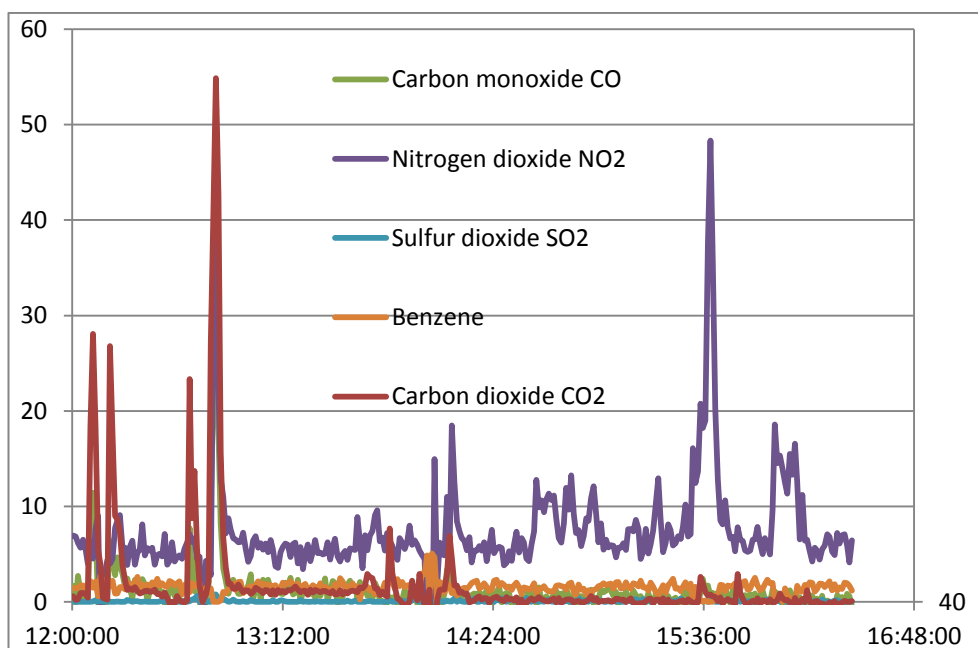
De Gasmet pomp haalt een monster binnen en genereert iedere minuut een infrarood spectrum. Dit spectrum kan automatisch of handmatig geanalyseerd worden. Ook na handmatige analyse blijkt dat er weinig verschillende gassen

zijn waargenomen. Dus geen HCN of benzeen. Dit is op zich zelf weinig verrassend omdat de brandstof diesel betreft.

Locatie 1 Gasmeter

	CO ₂ gemiddeld ppm	CO gemiddeld ppm
exp 1	0	0
exp 2	267	5
exp 3	0	0
exp 4	39	16
exp 5	94	7
exp 6	0	0
exp 7	0	0
exp 8	0	0

De Gasmeter FTIR analyse heeft alleen water, CO₂, CO en NO₂ aangetoond. De NO₂ waarden lijken door de tijdstippen niet afkomstig te zijn van de brand. De Turbolöscher stond vrij dicht bij de opstelling en heeft mogelijk deze waarden veroorzaakt.



Figuur 26 Concentratie verloop Gasmeter

4.5 Waarnemingen visueel van de pluim

- Het eerste experiment geeft een rookpluim die hoog over alle opstellingen heen gaat.
- Het tweede experiment gaat precies tegen het gebouw aan. Opstelling 2 staat vol in de rook, opstelling 1 regelmatig en 3 ook af en toe.
- Het derde experiment geeft een rookpluim die alleen opstelling 3 een beetje raakt.

- Het vierde en vijfde experiment (neerslaan) geven erg veel vocht op locatie 1 en 2 en veel rook op locatie 3
- Het zesde experiment geeft eerst een pluim die hoog over alles heen gaat maar op den duur worden locatie 2 en 3 toch geraakt
- Het zevende experiment met de blusdeken levert een zeer korte periode met rook op. Met name het nasmeulen lijkt de opstellingen wel te bereiken
- Het achtste experiment oogt hetzelfde als het eerste experiment

5 Conclusies

5.1 Algemeen

In algemene zin kan worden gesteld dat veel metingen doorgaans (bij echte incidenten) gedurende langere tijd plaatsvinden. Bij branden wordt vaak zelfs langer dan een uur gemeten. De meetmethoden zijn doorgaans ook gericht op een meting in een bepaald tijdsinterval. Bijvoorbeeld iedere minuut, iedere 5 minuten of iedere 10 minuten. Omdat de experimenten maximaal 5 minuten duren is de resolutie van de metingen soms wat laag om iets over het verloop binnen het experiment te zeggen. Ook betekent het dat soms een meting valt in de periode $t = -2,5$ minuten tot en met $+2,5$ minuten en meting 2 van $t = +2,5$ minuten tot en met $t = +7,5$ minuten. Desalniettemin voegen de metingen zeker informatie toe aan het algehele beeld.

5.2 SODAR en LIDAR

De doorsnedes gemeten met de LIDAR laten zien dat dit instrument op zich uitstekend geschikt is om de geometrie van een rookpluim in kaart te brengen. In de meeste scans is nu echter niet de gehele pluim in beeld. Door de beperkingen voortkomend uit de opstel-locatie van de LIDAR kan niet altijd laag genoeg gescand worden om de onderkant van de pluim in beeld te brengen. Voor de bovenkant van de pluim zou dit wel mogelijk geweest zijn. Door uitvallen van het instrument na het eerste experiment is dit echter niet meer aangepast. Bij experiment 1 is te zien dat de pluim minimaal 60 meter hoog is gekomen. De maximale hoogte is niet bepaald; (bijstelling van de instellingen kon helaas niet meer vanwege het uitvallen van het apparaat.

De plaatsing van de LIDAR was tijdens de experimenten niet optimaal. Bij een eventueel vervollexperiment zou de LIDAR bij voorkeur ongeveer een kilometer van de as van de rookpluim geplaatst worden. De pluim kan dan beter in kaart gebracht worden, het zal dan mogelijk zijn om het totale pluimvolume beter in kaart te brengen.

De SODAR metingen laten zien dat de windsnelheid laag was en de windrichting veranderlijk. Dat maakt het voor de betreffende experimenten best lastig; door de veranderlijke windrichting is het lastig te kiezen waar de meetopstellingen idealiter zouden moeten komen.

5.3 Metingen nabij de vuurplaats

De samenstelling van de rookpluim blijkt niet erg te verschillen per experiment. In de rook zijn met name CO₂ en water vastgesteld en af en toe ook CO. De rest van de rook bestaat uit roetdeeltjes. Dit was te verwachten omdat de bron van de brand steeds diesel is. De eNoses meten verandering van samenstelling in de lucht. Het vullen van de bak is goed zichtbaar. Het is niet gelukt om uit de meetsignalen te halen of er een goede verbranding plaats vindt.

De richting van de rook en de mate van stijging is wel beïnvloed door de verschillende experimenten:

- Het aanwakkeren met de Microturbine heeft er voor gezorgd dat er geen rook over de opstellingen ging.
- Het aanwakkeren met de Turbolöscher heeft juist voor extra rook gezorgd op locatie 1 en 2.
- Het neerslaan van de rook geeft inderdaad een hoge roet depositie op locatie 3 en alleen heel veel water op locatie 2. Het is nog niet verklaard waarom de eNoses na deze experimenten een hoge waarde geven. Dit zijn de hoogste waarden van alle experimenten.
- Het afbuigen van met de Turbolöscher heeft iets meer rook over opstelling twee veroorzaakt
- Het blusdeken experiment is zeer kort en moeilijk te beoordelen. De eNoses meten waarschijnlijk vooral de diesel.

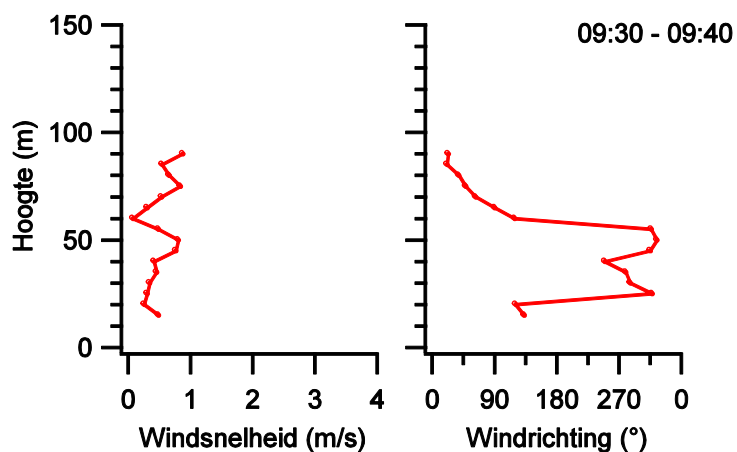
Het is niet mogelijk gebleken met de gebruikte middelen iets te zeggen over de hoeveelheid rook. Op basis van de resultaten lijkt de chemische samenstelling bij de verschillende experimenten nauwelijks te verschillen. De metingen laten wel zien dat de ingezette technieken invloed hebben op de lokale hoeveelheid verbrandingsproducten (zoals CO, COs en roet).

Literatuur

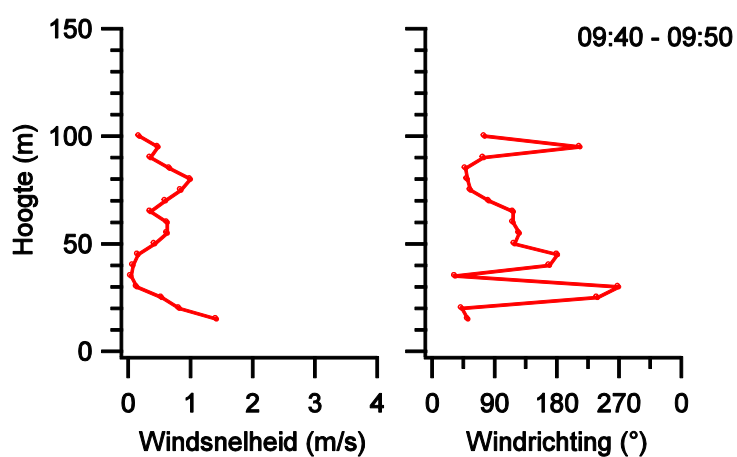
Berkhout, A.J.C., G.R. van der Hoff, J.B. Bergwerff, D.P.J. Swart, A. Hensen, A. Kraai, J.F.M. Huijsmans, J. Mosquera en W.A.J.van Pul (2008). Measuring Ammonia Emissions from Manured Fields, RIVM, Bilthoven, RIVM Rapport 680150003/2008.

Berkhout, A.J.C., D.P.J. Swart, G.R. van der Hoff en J.B. Bergwerff (2011). Zwaveldioxide-uitstoot van zeeschepen op afstand gemeten met lidar, RIVM, Bilthoven, RIVM Rapport 609021115/2011.

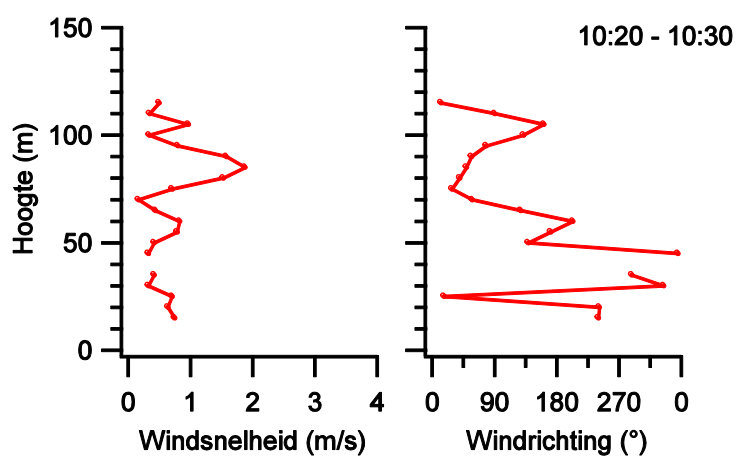
Bijlage Resultaten SODAR (windmetingen)



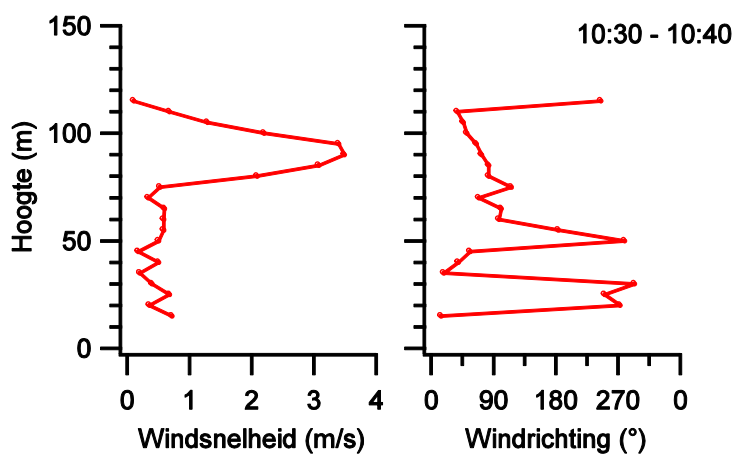
Figuur 1. Windprofiel gemeten tussen 9:30 en 9:40 uur.



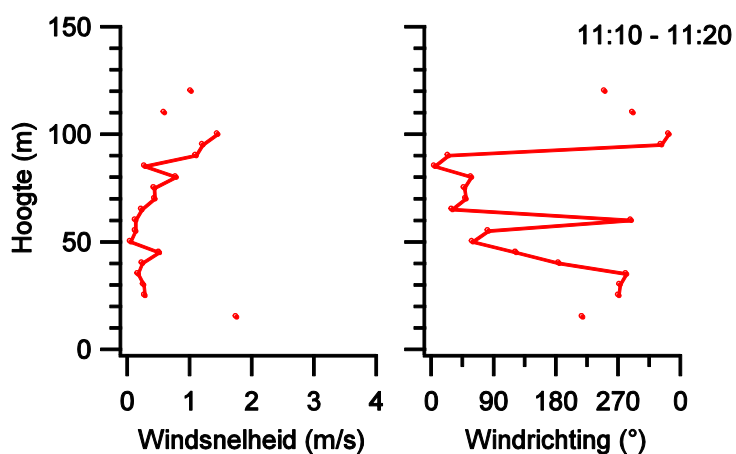
Figuur 2. Windprofiel gemeten tussen 9:40 en 9:50 uur.



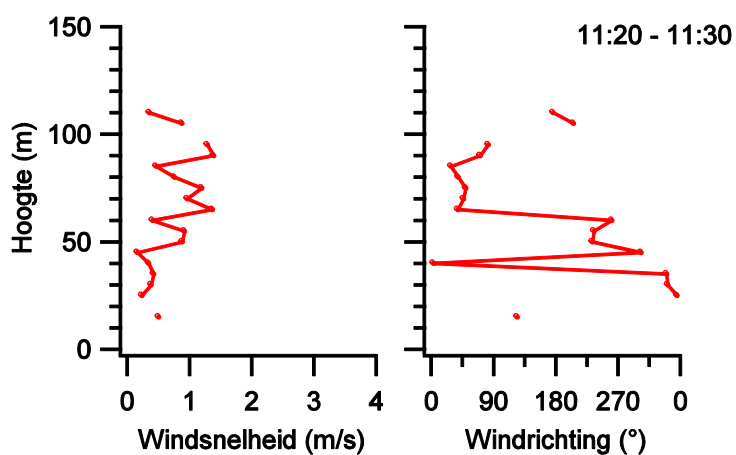
Figuur 3. Windprofiel gemeten tussen 10:20 en 10:30 uur.



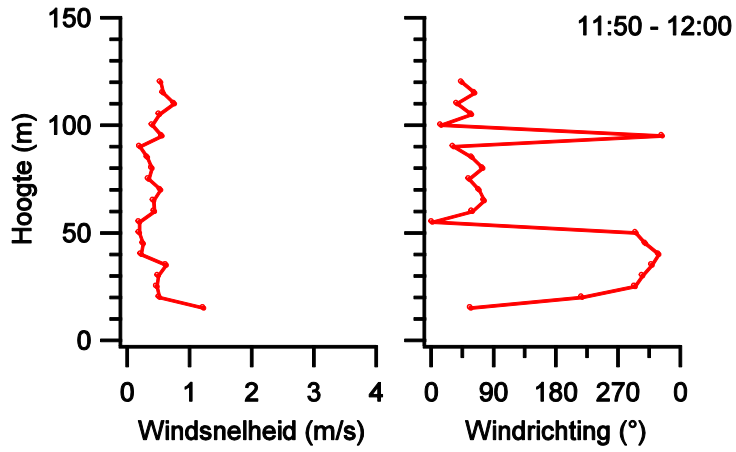
Figuur 4. Windprofiel gemeten tussen 10:30 en 10:40 uur.



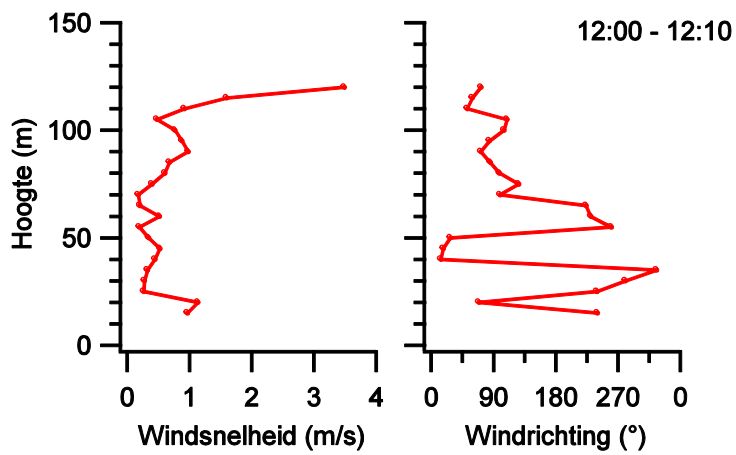
Figuur 5. Windprofiel gemeten tussen 11:10 en 11:20 uur.



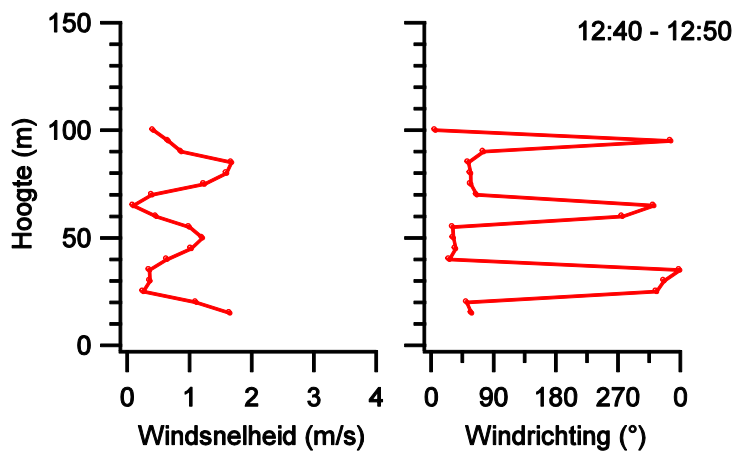
Figuur 6. Windprofiel gemeten tussen 11:20 en 11:30 uur.



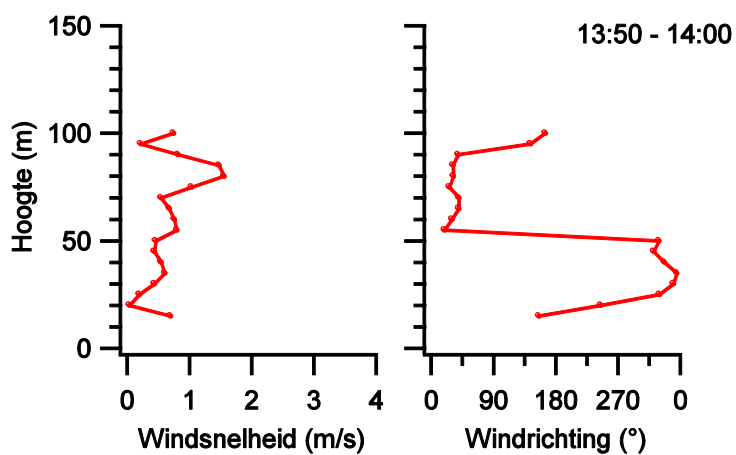
Figuur 7. Windprofiel gemeten tussen 11:50 en 12:00 uur.



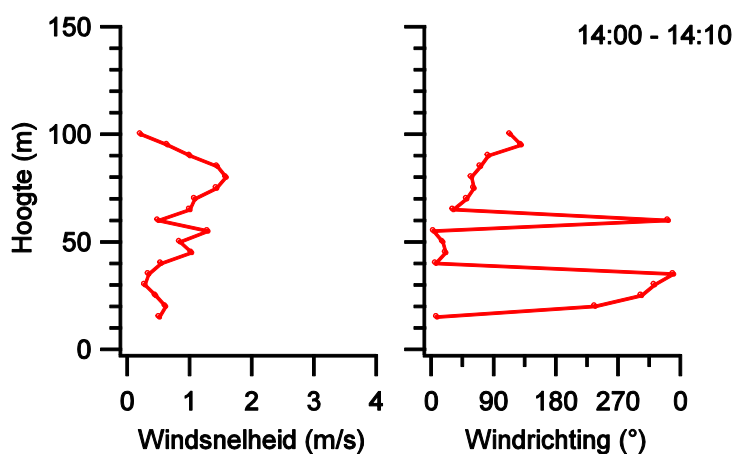
Figuur 8. Windprofiel gemeten tussen 12:00 en 12:10 uur.



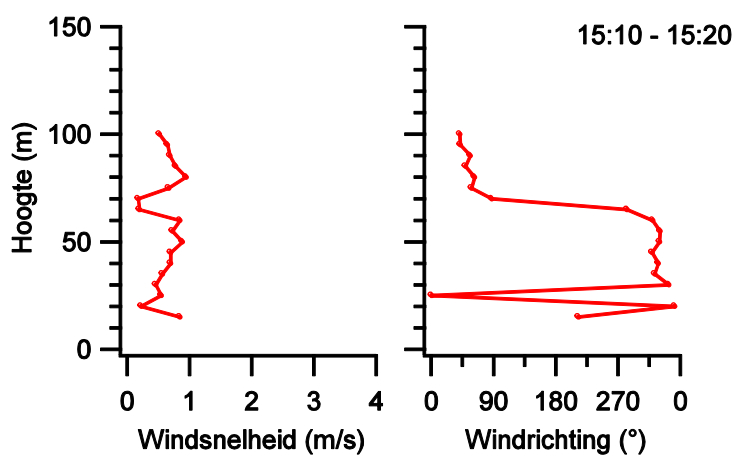
Figuur 9. Windprofiel gemeten tussen 12:40 en 12:50 uur.



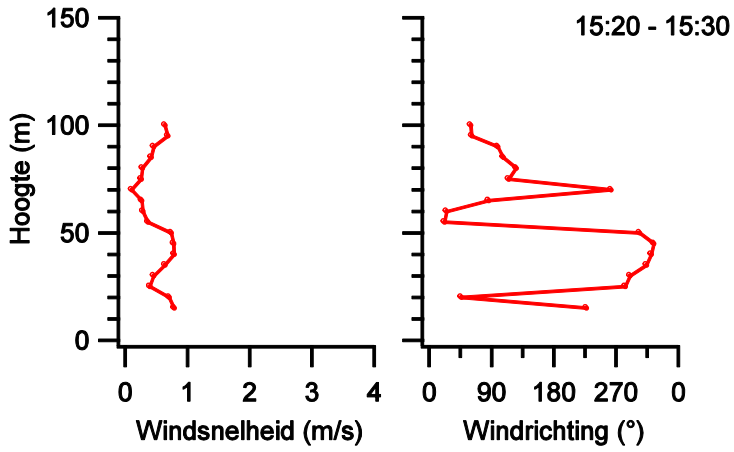
Figuur 10. Windprofiel gemeten tussen 13:50 en 14:00 uur.



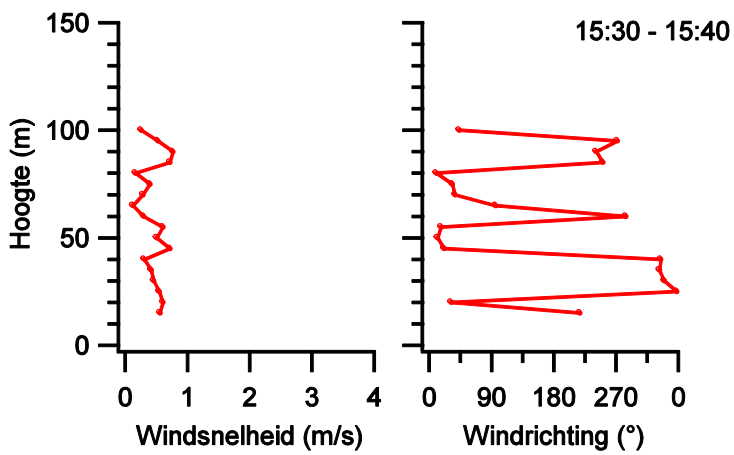
Figuur 11. Windprofiel gemeten tussen 14:00 en 14:10 uur.



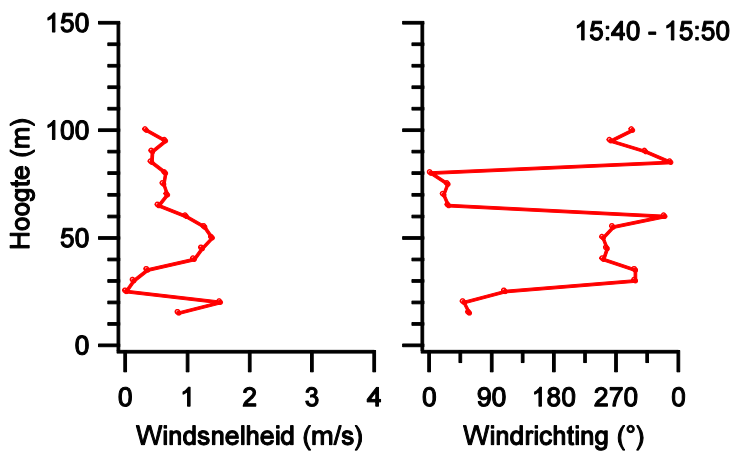
Figuur 12. Windprofiel gemeten tussen 15:10 en 15:20 uur.



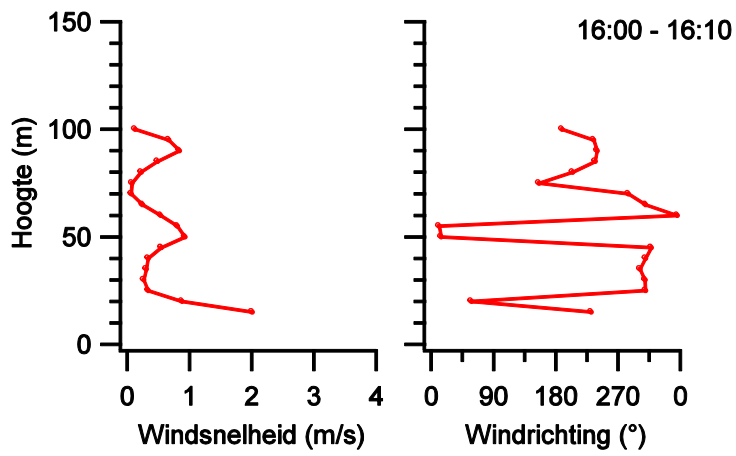
Figuur 13. Windprofiel gemeten tussen 15:20 en 15:30 uur.



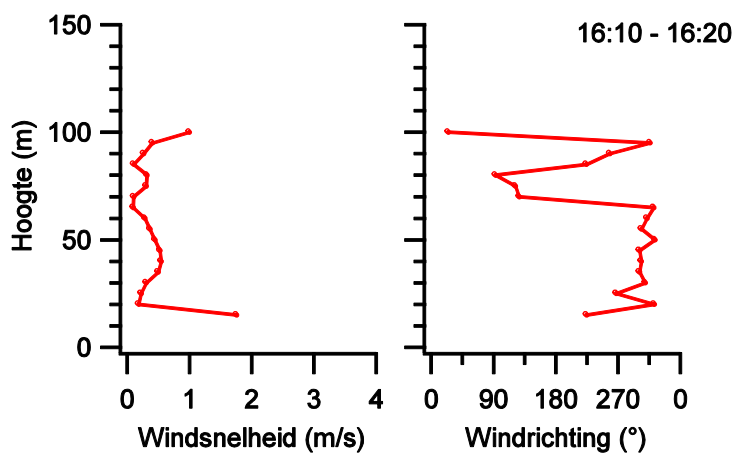
Figuur 14. Windprofiel gemeten tussen 15:30 en 15:40 uur.



Figuur 15. Windprofiel gemeten tussen 15:40 en 15:50 uur.

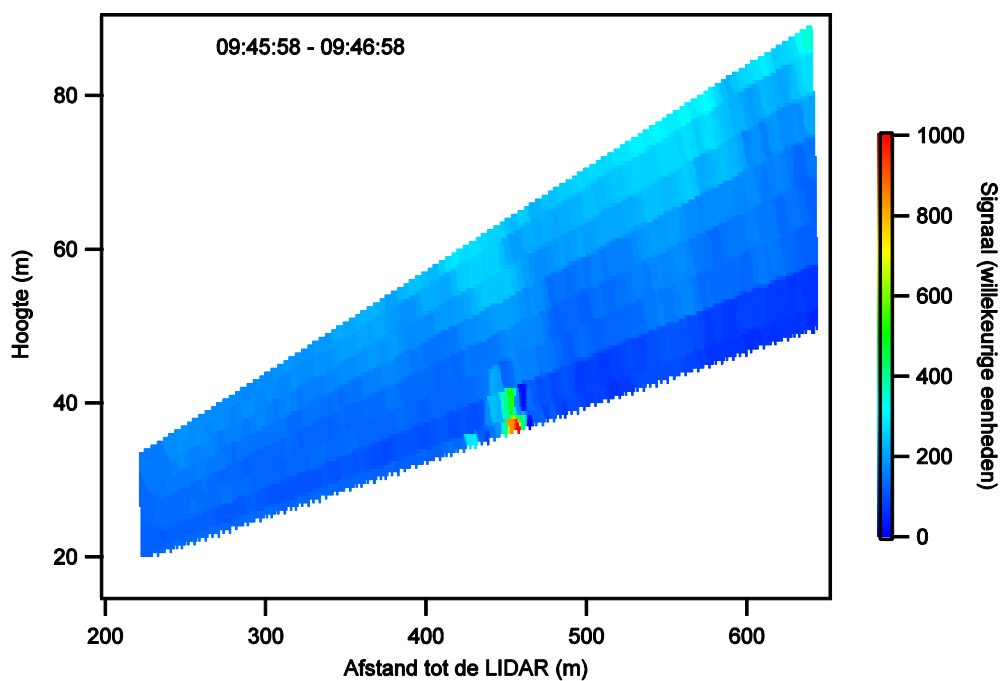


Figuur 16. Windprofiel gemeten tussen 16:00 en 16:10 uur.

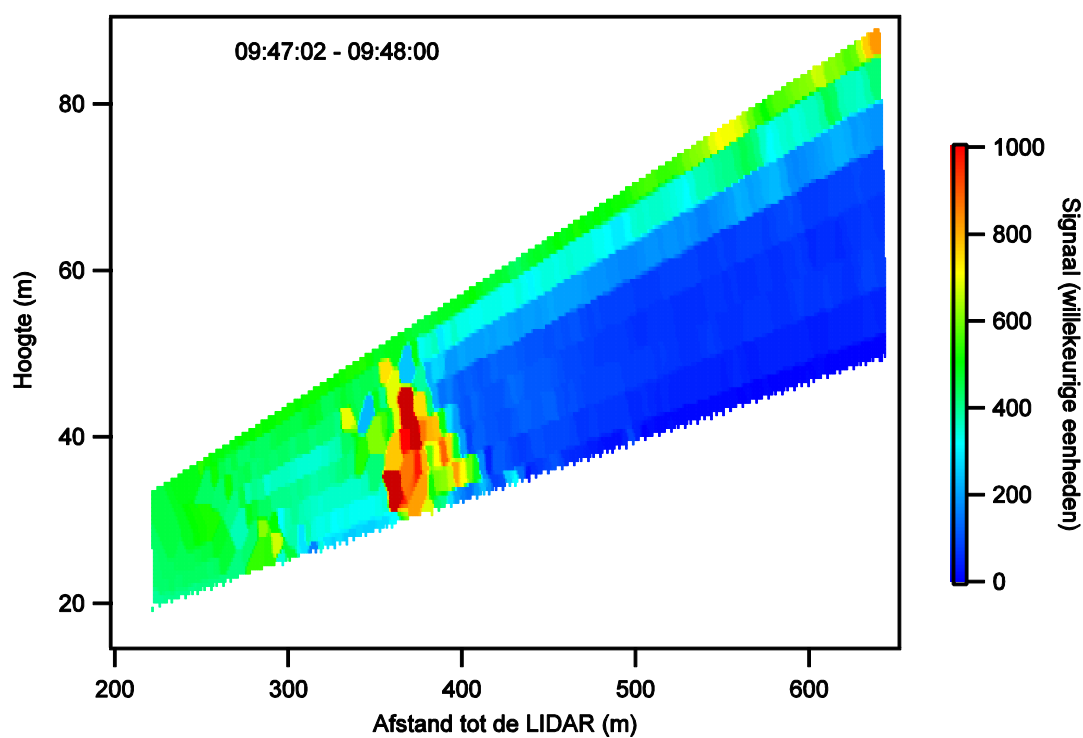


Figuur 17. Windprofiel gemeten tussen 16:10 en 16:20 uur.

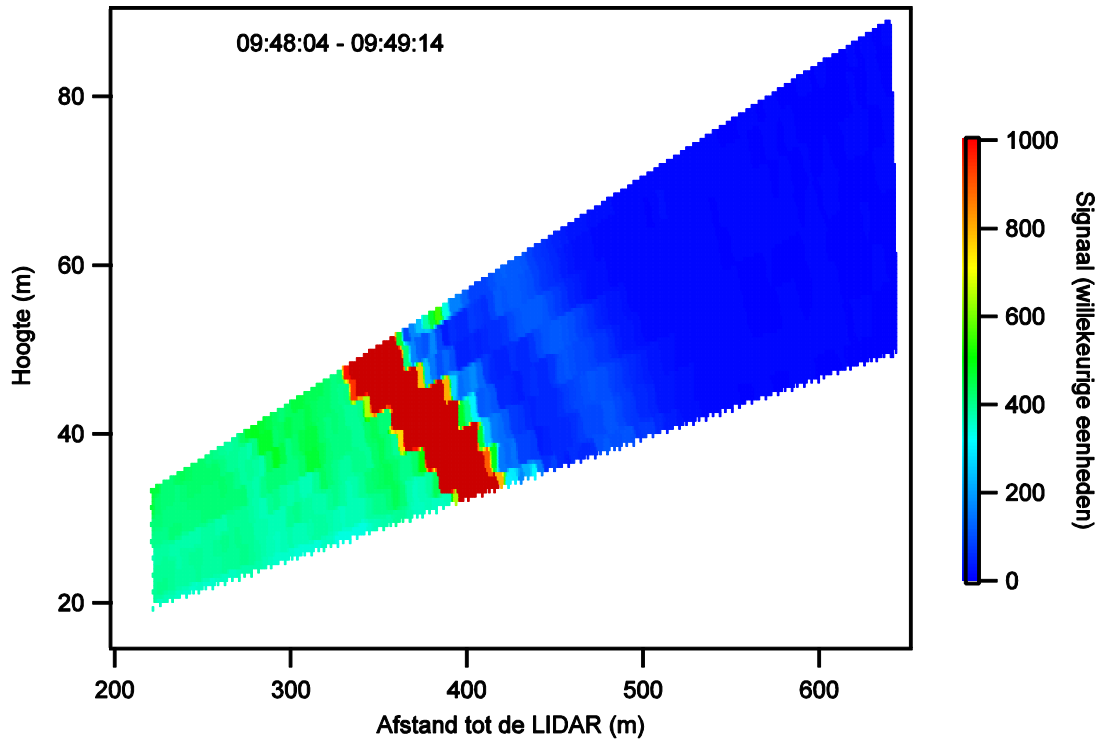
Bijlage resultaten LIDAR



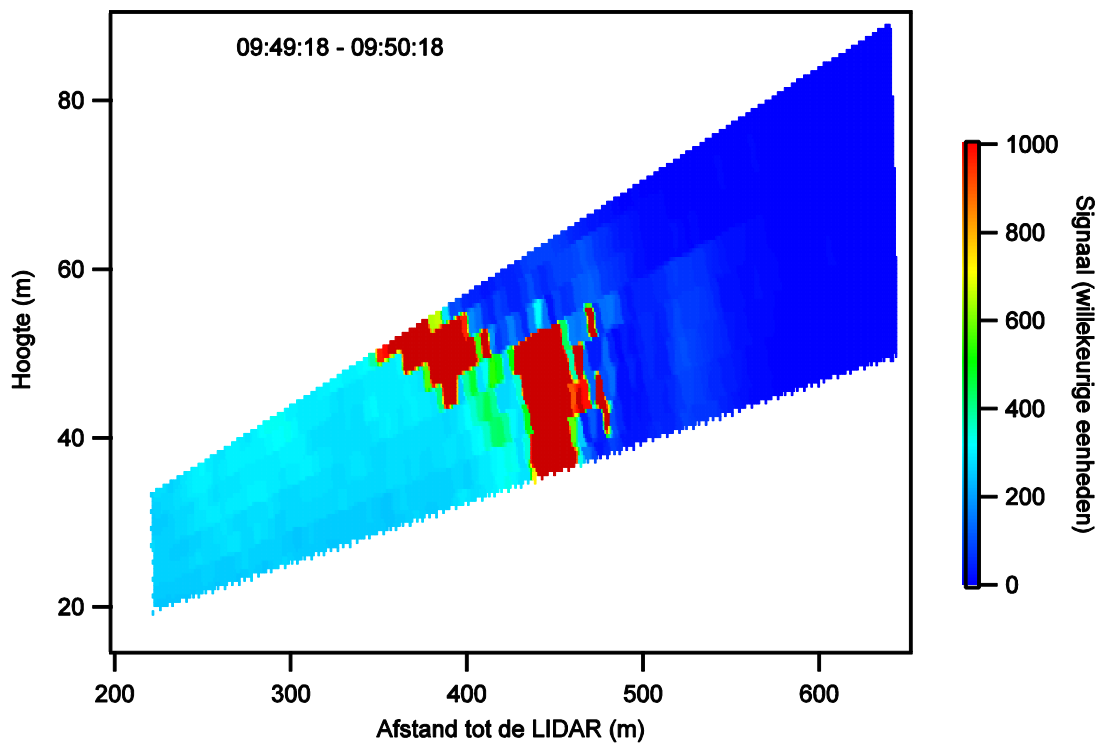
Figuur 18. Pluimdoorsnede gemeten met de LIDAR op meetrichting 1, tussen 9:45 en 9:46 uur.



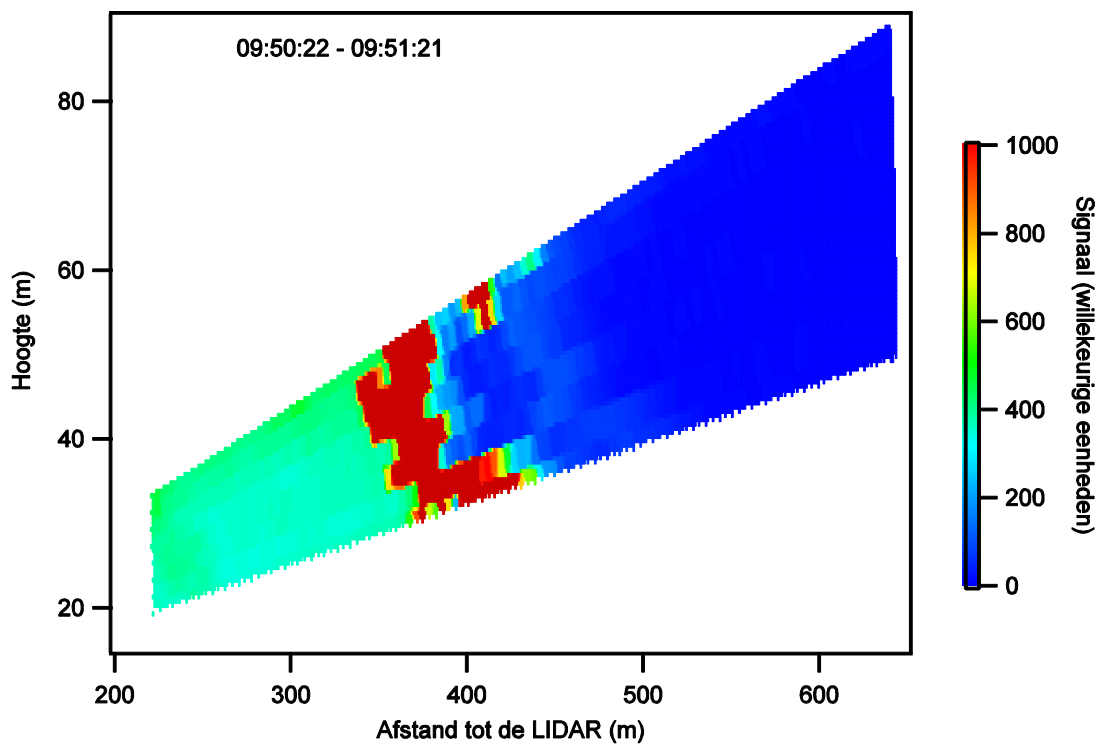
Figuur 19. Pluimdoorsnede gemeten met de LIDAR op meetrichting 1, tussen 9:47 en 9:48 uur.



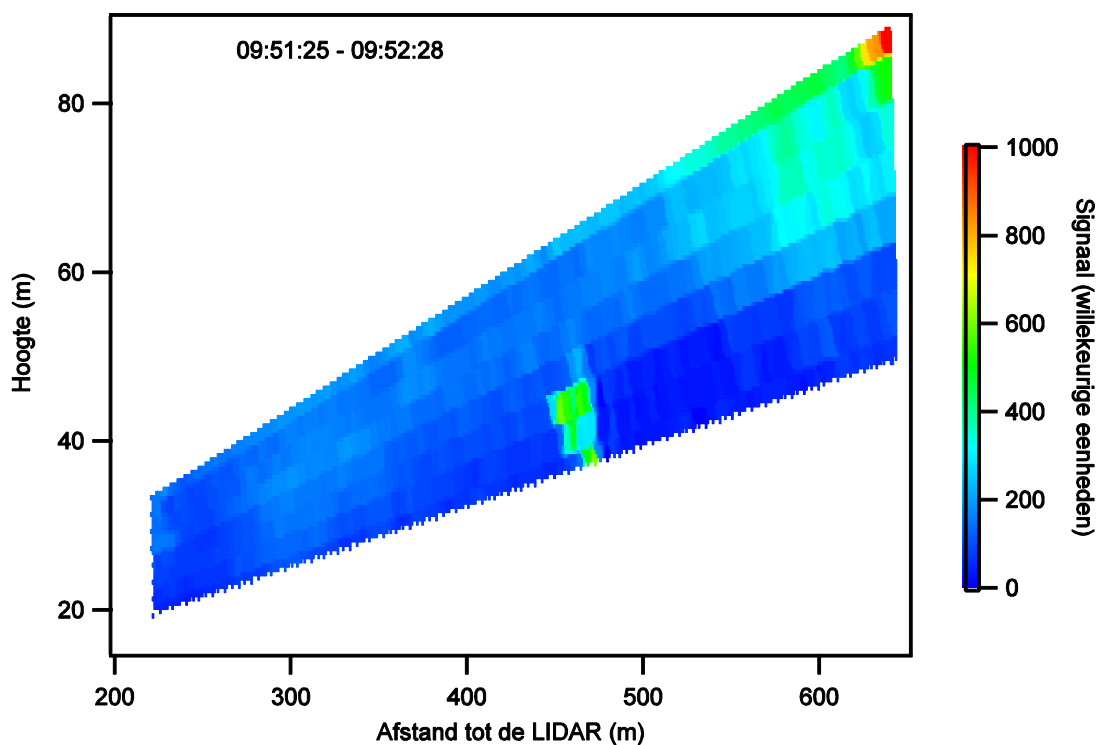
Figuur 20. Pluimdoorsnede gemeten met de LIDAR op meetrichting 1, tussen 9:48 en 9:49 uur.



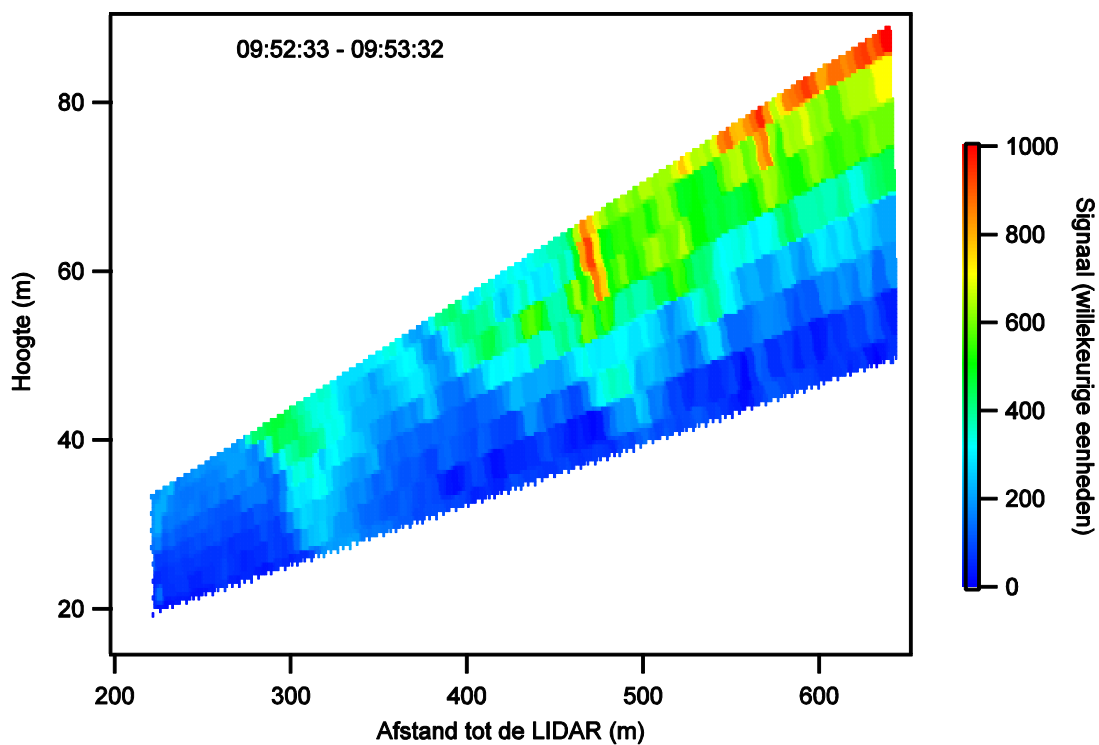
Figuur 21 Pluimdoorsnede gemeten met de LIDAR op meetrichting 1, tussen 9:49 en 9:50 uur



Figuur 22. Pluimdoorsnede gemeten met de LIDAR op meetrichting 1, tussen 9:50 en 9:51 uur.



Figuur 23. Pluimdoorsnede gemeten met de LIDAR op meetrichting 1, tussen 9:51 en 9:52 uur.



Figuur 24. Pluimdoorsnede gemeten met de LIDAR op meetrichting 1, tussen 9:51 en 9:53 uur.

Bijlage Overzicht van de experimenten en uitgevoerde metingen

Experiment	Locatie 1	Locatie 2	Locatie 3	Locatie 4
1. Volledig uit laten branden	Gasmet KFG eNose5 Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose2 Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose4 Qtrak PACIII Veegmonster	KFG eNose6 Qtrak PACIII Veegmonster
2. aanwakkeren Turbolöscher	Gasmet KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster
3. aanwakkeren microturbine	Gasmet KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster
4. neerslaan Turbolöscher	Gasmet KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster
5. neerslaan Turbolöscher	Gasmet KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster
6. afbuigen turbolöscher	Gasmet KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster
7. blusdeken	Gasmet KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster

8.volledig uitbranden	Gasmet KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Ptrak Qtrak Rae Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster	KFG eNose Qtrak PACIII Veegmonster
-----------------------	--	---	---	--

Toelichting op de tabel: in de tabel staan de technieken die bij de verschillende experimenten zijn ingezet. In sommige gevallen was een techniek in principe wel beoogd bij het experiment, maar kon deze door omstandigheden niet plaatsvinden (storingen, miscommunicatie met betrekking tot startmoment) of zijn de resultaten door omstandigheden verloren (bijvoorbeeld wegblazen van monstermateriaal door Turbolöscher). In die gevallen wordt de meting genoemd maar ~~doorgestreept~~.

Tabel 8 Resultaten filterweging met in het geel beschadigde filters

	locatie	nr	voorwegen	nawegen	Verschil µg
exp2	1	cv21	0.1583	0.1633	5000
	2	cv22	0.15765	0.16482	7170
	3	cv23	0.15938	0.15951	130
	4	cv24	0.15804	0.15808	40
exp3	1	cv25	0.15897	0.15901	40
	2	cv26	0.15849	0.15845	-40
	3	cv27	0.15835	0.15874	390
	4	cv28	0.1561	0.15569	-410
exp4	1	cv29	0.15883	0.16226	3430
	2	cv30	0.15771	0.15807	360
	3	cv31	0.15804	0.16037	2330
	4	cv32	0.15737	0.15746	90
exp5	1	cv33	0.15777	0.15728	-490
	2	cv34	0.15708	0.14204	-15040
	3	cv35	0.15683	0.15867	1840
	4	cv36	0.15986	0.15484	-5020
exp6	1	cv37	0.15683	0.15712	290
	2	cv38	0.15986	0.15996	100
	3	cv39	0.15961	0.16021	600
	4	cv40	0.15955	0.15949	-60
exp7	1	cv01	0.15861	0.15858	-30
	2	cv02	0.15899	0.15288	-6110
	3	cv05	0.15785	0.15848	630
	4	cv04	0.15825	0.15827	20
exp8	1	cv06	0.15802	0.1595	1480
	2	cv07	0.15733	0.15746	130
	3	cv08	0.15769	0.15829	600
	4	cv09	0.15542	0.15542	0

Bijlage Foto's



De LIDAR meetwagen, opgesteld op het Campus Vesta terrein.



De SODAR, opgesteld op het Campus Vesta terrein.

