

De offensieve buiteninzet: groot pand, grote zorg?

Een onderzoek naar het effect van coldcutter, nevelkogel, fognails, drukluchtschuim en lage druk als offensieve buiteninzettechnieken in een groot (industrie)gebouw





BRANDWEER

Brandweeracademie

De offensieve buiteninzet: groot pand, grote zorg?

Een onderzoek naar het effect van coldcutter, nevelkogel, fognails, drukluchtschuim en lage druk als offensieve buiteninzettechnieken in een groot (industrie)gebouw

Versie: 1.8, 11 mei 2016

Instituut Fysieke Veiligheid
Brandweeracademie
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Contactpersoon: ing. R. van den Dikkenberg MCDM
Titel: De offensieve buiteninzet: groot pand, grote zorg?
Datum: 11 mei 2016
Status: Definitief
Versie: 1.8
Auteurs: ing. R. van den Dikkenberg MCDM, projectleider
L. Wolfs BBA, junior onderzoeker
T. Vogel, MSc, trainee onderzoeker
drs. K. Groenewegen-ter Morsche, onderzoeker
Review: Expertgroep Brandweerdoctrine
dr. ir. R. Weewer, lector Brandweerkunde
Eindverantwoordelijk: W. Beckmann MEd, manager Brandweeracademie

Managementsamenvatting

De Brandweeracademie en Brandweer Nederland houden zich momenteel bezig met de ontwikkeling van het kwadrantenmodel. Dit kwadrantenmodel maakt onderdeel uit van de brandweerdoctrine en voorziet in een viertal inzettactieken voor gebouwbrandbestrijding. Een (nieuwe) inzettactiek is de 'offensieve buiteninzet'. Voor deze nieuwe inzettactiek zijn nog geen beproefde technieken voor handen, of het effect is onvoldoende bekend. Om het brandweerveld een bruikbaar handelingsperspectief voor deze inzettactiek te bieden, heeft de Brandweeracademie samen met Brandweer Nederland een project opgezet genaamd 'Offensieve Buiteninzet' (OBI). Het OBI-project bestaat uit vijf onderdelen, waarvan de eerste vier onderdelen inmiddels zijn gepubliceerd¹. Dit onderzoeksrapport heeft betrekking op het vijfde onderdeel.

Het doel van het voorliggende onderzoek is inzicht geven in de mate waarin de offensieve buiteninzettechnieken in staat zijn om bij een ventilatiegecontroleerde brand in een groot (industrie)gebouw, waarbij de vuurhaard niet direct bereikbaar is, de brand te bestrijden en/of de rookgassen te koelen. Verder wordt inzicht gegeven in het effect van de offensieve buiteninzettechniek op parameters voor overleefbaarheid van een slachtoffer binnen. Tot slot is inzicht verkregen in hoeverre de effecten op brand- en rookontwikkeling en parameters voor overleefbaarheid in stand blijven na het beëindigen van de offensieve buiteninzet.

De experimenten zijn in tweevoud uitgevoerd met coldcutter (CC), nevelkogel (NK), fognails (FN), drukluchtschuim (DLS) en lage druk (LD). Hierbij zijn de parameters temperatuur (°C), straling, koolmonoxide (CO), zuurstof (O₂) en stikstofoxiden (NO_x) gemeten. Ook is het visuele beeld via reguliere camera's en warmtebeeldcamera's vastgelegd.

Centraal in dit onderzoek staat de volgende vraag:

In hoeverre kunnen met de gekozen offensieve buiteninzettechnieken de beoogde effecten voor een offensieve buiteninzet worden bereikt bij een ventilatiegecontroleerde brand in een groot (industrie)pand met een realistische en uitbreidbare vuurlast en in hoeverre blijven deze effecten in stand na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?

De offensieve buiteninzet kent een drietal doelen. Met een offensieve buiteninzet:

1. kan de brand van buitenaf worden geblust
2. kunnen de rookgassen binnen voldoende worden gekoeld, zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninzet
3. kan het niveau van de parameters voor overleefbaarheid verbeterd worden.

De hoofdvraag wordt aan de hand van vier deelvragen beantwoord. In deelvraag 1 tot en met 3 wordt ingegaan op de mate waarin de offensieve buiteninzettechnieken de doelen van een offensieve buiteninzet hebben bereikt. Bij de beantwoording van deelvraag 4 wordt ingegaan op de mate waarin de beoogde doelen in stand blijven na het beëindigen van een

¹ OBI 1: Dikkenberg, R. van den en Groenewegen-ter Morsche, K. (2012);

Praktijkexperimenten technieken offensieve buiteninzet

OBI 2/3: Dikkenberg, R. Van den, Groenewegen-ter Morsche, K., Kobes, M., en Weewer, R. (2015)

De offensieve buiteninzet. Compleet of complex? Een onderzoek naar het effect van coldcutter, nevelkogel, fognails, repressieve ventilatie, drukluchtschuim;

OBI 4: Dikkenberg, R. van den, Groenewegen-ter Morsche, K., Wolfs, L. en Vogel, T. (2016)

De offensieve buiteninzet bereikbaar?

geslaagde offensieve buiteninzet, wanneer wordt overgeschakeld naar een offensieve binneninzet.

Deelvraag 1. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat de brand in het pand te blussen?

Het eerste doel van de offensieve buiteninzet (de brand van buitenaf blussen) wordt bereikt door CC, DLS en LD. Weliswaar zijn alle technieken in staat binnen 45 seconden een knockdown te bereiken, maar niet bij alle inzettechnieken blijft deze knockdown gedurende de inzet in stand. Zowel bij inzet van de NK als bij inzet van de FN laaide het vuur tijdens de inzet weer op. De andere inzettechnieken waren wel in staat om gedurende hun inzettijd een blijvende knockdown te bewerkstelligen.

Offensieve inzettechnieken met een grotere worplengte lijken dan ook meer effectief te zijn in het blussen van de brand. Het debiet lijkt daarbij van ondergeschikt belang, aangezien het debiet van de CC vele malen lager is dan bij LD en DLS en toch vergelijkbare resultaten bereikt. Wel blijven bij alle blussende technieken nog gloeibranden in de vuurhaard over.

Doel offensieve buiteninzet	CC	NK	FN	DLS	LD
Met een offensieve buiteninzet kan de brand van buitenaf worden geblust	✓	✗	✗	✓	✓

Deelvraag 2. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat om de rookgassen in het pand dusdanig te koelen dat een offensieve binneninzet mogelijk is?

Het tweede doel van de offensieve buiteninzet (rookgassen koelen) wordt bereikt door CC, DLS en LD. Alle drie zijn in staat om de temperatuur in de brandruimte binnen 3 minuten onder de grenswaarde van 150°C te brengen. De technieken met een relatief korte worplengte (NK en FN) waren op basis van één tankautospuut niet in staat binnen 10 minuten continue inzet de temperatuur onder de grenswaarde te brengen. Ook na opschaling naar een tweede tankautospuut en wederom 10 minuten continue inzetten lukt het niet, met uitzondering van één inzet met FN na 18 minuten.

Doel offensieve buiteninzet	CC	NK	FN	DLS	LD
Met een offensieve buiteninzet kunnen de rookgassen binnen voldoende worden gekoeld zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninzet	✓	✗	✗ ✓	✓	✓

Deelvraag 3. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat om het niveau van de parameters voor overleefbaarheid (temperatuur, straling, CO, O₂, NO_x op slachtofferniveau) in de verschillende ruimten te verbeteren?

Het blijkt dat er een aantal factoren van invloed zijn op de overschrijding van de grenswaarden voor overleefbaarheid. Het gaat daarbij niet alleen om de offensieve buiteninzettechniek zelf, maar ook om de locatie van het slachtoffer ten opzichte van de vuurhaard en de lay-out van de ruimte(n). Bij zowel de nulmeting als bij alle experimenten van de offensieve buiteninzettechnieken worden één of meer grenswaarden voor overleefbaarheid overschreden voor beide slachtoffers in de brandruimte. Hierin maken de offensieve buiteninzetten in deze opzet voor de slachtoffers dus niet het verschil.

Op één test na zijn geen van de grenswaarden voor overleefbaarheid voor slachtoffer 3 in de

kantoorruimte (welke in verbinding stond met de brandruimte) gedurende de hele brand/inzet overschreden. Een daadwerkelijk slachtoffer in deze aangrenzende ruimte zou een reële kans hebben om deze brand te overleven.

Hoewel één of meerdere grenswaarden in de brandruimte overschreden zijn, zowel bij de offensieve buiteninzetten als bij de nulmeting, is het toch interessant te kijken naar de mate van overschrijding van de grenswaarden. Hiermee worden eventuele positieve of negatieve effecten van de offensieve buiteninzet ten opzichte van de nulmeting alsnog zichtbaar.

Temperatuur

In de brandruimte wordt de grenswaarde voor temperatuur overschreden bij alle technieken. Hoewel de grenswaarde wordt overschreden, is de overschrijding bij alle offensieve buiteninzettechnieken minder groot dan bij de nulmeting. De onderzochte technieken lijken daarom een positief effect te hebben op de parameter temperatuur ten opzichte van de nulmeting (circa 10 minuten lang niet inzetten).

Straling

In de brandruimte was bij alle technieken en de nulmeting een overschrijding. Wat echter opvalt, is dat bij alle technieken direct vanaf de start van de inzet de straling sterk stijgt op slachtofferniveau. Bij de nulmeting is er een gestage stijging van de straling. Bij de inzet van de offensieve buiteninzettechnieken neemt de straling na verloop van tijd af, waarschijnlijk als gevolg van de bereikte knockdown.

Een offensieve buiteninzet heeft daarom in eerste instantie een negatief effect op de overleefbaarheid voor het slachtoffer op het gebied van straling, waarschijnlijk als gevolg van opmenging of werveling van de rookgaslaag waardoor deze daalt en dichter bij het slachtoffer komt.

Koolmonoxide (CO)

Bij de nulmeting en de onderzochte technieken komt de concentratie CO in de brandruimte ruim boven de grenswaarde. Als gekeken wordt naar de mate van overschrijding, dan laten de offensieve buiteninzettechnieken tijdens de inzet lagere waarden voor CO zien dan in de nulmeting. Omdat er echter ook al voor de inzet sprake is van een toename, is niet met zekerheid vast te stellen wat de invloed is van de offensieve buiteninzet op de slachtoffers in de brandruimte.

In de onderzochte proefopstelling blijft in de kantoorruimte (met uitzondering van één inzet met DLS) het CO-gehalte gedurende de gehele inzet onder de grenswaarde.

Zuurstof (O₂)

Tijdens de nulmeting komt het O₂-gehalte in de brandruimte ruim onder de grenswaarde. Bij vier van de vijf onderzochte technieken (CC, NK, DLS en LD) wordt de grenswaarde voor O₂ bij geen enkel slachtoffer overschreden tijdens de inzet. Deze inzettechnieken hebben een positieve invloed op de parameter O₂ voor de overleefbaarheid van mogelijke slachtoffers. Bij inzetten met de FN is een wisselend beeld te zien: bij de eerste inzet is de grenswaarde overschreden, bij de tweede inzet niet.

Stikstofoxiden (NO_x)

Bij de nulmeting en één van de experimenten met FN wordt de grenswaarde voor NO_x overschreden in de brandruimte. Bij de grenswaarden voor NO_x is een positief effect te zien van de technieken die in staat zijn om een blijvende knockdown te creëren. Ook bij het andere experiment met FN en de experimenten met de NK zijn de gemeten waarden voor NO_x echter aanmerkelijk hoger dan de technieken die in staat zijn een blijvende knockdown te creëren (CC, LD en DLS) en min of meer vergelijkbaar met de nulmeting.

In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de effecten van de offensieve buiteninzettechnieken op de parameters voor overleefbaarheid.

Effect van offensieve buiteninzettechniek op overleefbaarheidsparameters ten opzichte van niets doen (nulmeting)					
	CC	NK	FN	DLS	LD
Temperatuur (°C)	+	+	+	+	+
Straling	-	-	-	-	-
CO	?	?	?	?	?
O ₂	+	+	+/-	+	+
NO _x	+	+/-	+/-	+	+

+ = positief effect

- = negatief effect

+/- = neutraal effect

? = effect van de inzettechniek is niet vast te stellen

Deelvraag 4. In hoeverre blijven de effecten op brand- en rookontwikkeling en parameters voor overleefbaarheid *in stand* na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?

Tijdens dit onderzoek is ook onderzocht wat er gebeurt wanneer na een succesvolle offensieve buiteninzet (rookgaslaag < 150°C) een deur wordt geopend om over te schakelen naar een offensieve binneninzet. Alleen technieken die tijdens de offensieve buiteninzet succesvol waren op rookgaskoeling (temperatuur < 150°C) zijn onderzocht (CC, LD, DLS en in één van de twee FN experimenten). Bij alle onderzochte technieken was er een heroplaiing na het openen van de deur. De tijdsduur waarbinnen deze heroplaiing optrad, verschilde echter wel. Bij de FN is er een directe heroplaiing, bij de andere drie technieken begon de vuurhaard na een halve tot anderhalve minuut weer te branden. Na circa 2 minuten is er een relatief snelle temperatuurstijging, waardoor na het overschakelen op de offensieve binneninzet relatief snel ingrijpen vereist is.

Met de toename van de temperatuur neemt ook de straling toe. Het gehalte CO neemt na het openen van de deur af, terwijl het O₂-gehalte in eerste instantie toeneemt en later (veelal na de heroplaiing) een wisselend beeld geeft.

Hoe effectief en veilig een daadwerkelijke offensieve binneninzet is nadat er een offensieve buiteninzet is gepleegd, is geen onderdeel van het onderzoek.

Eindconclusie

Voor het blussen van de brand en voor het uitvoeren van rookgaskoeling in de geteste omstandigheden (een afgeschermd brandhaard diep in het gebouw), zijn de offensieve buiteninzettechnieken met een grote worplengte (CC, DLS en LD) het meest effectief wanneer zij worden ingezet bij een offensieve buiteninzet. Technieken met een relatief korte worplengte lijken de vuurhaard onvoldoende te bereiken en onvoldoende diep in de rookgaslaag door te dringen.

In de onderzochte proefopstelling is er na de geslaagde offensieve buiteninzetten tijd om veilig over te schakelen op een offensieve binneninzet. Een vlotte overschakeling op een offensieve binneninzet richting de vuurhaard is echter wel noodzakelijk, omdat de eenmaal opblaaide brand leidt tot een snelle stijging van de temperatuur.

Zowel in de nulmeting (zonder ingrijpen) als bij alle offensieve buiteninzettechnieken wordt voor de slachtoffers in de brandruimte tenminste één van de grenswaarden voor overleefbaarheid overschreden. Dat wil echter niet zeggen dat de offensieve buiteninzettechnieken een negatief effect hebben: de temperatuur-, O₂- en NO_x-waarden zijn bij de offensieve buiteninzetten over het algemeen gunstiger dan in de situatie waarin niet wordt ingezet. Het effect is het sterkst bij de technieken met een grote worplengte. De stralingswaarden op slachtofferniveau worden door de offensieve buiteninzetten negatief beïnvloed. Het effect voor CO is dusdanig wisselend, dat hierover geen uitspraken gedaan kunnen worden.

Opvallend is dat in vrijwel alle gevallen bij slachtoffer 3 in de kantoorruimte de grenswaarde *niet* wordt overschreden gedurende de gehele brand en inzet. Dit ondanks dat die ruimte in directe verbinding staat met de brandruimte. Het is dus in de praktijk altijd de moeite waard om een offensieve buiteninzet te doen, als het onmogelijk is om het pand bij aankomst te betreden. Er kunnen namelijk ruimten in het pand zijn, waar een overleefbare situatie is en mogelijke slachtoffers gered kunnen worden. Een offensieve buiteninzet kan de kans op een succesvolle redding in de aangrenzende ruimte vergroten door veilige binnentreding voor redding mogelijk te maken.

De resultaten van de projecten OBI 1 tot en met 5 worden verwerkt tot één integraal document, met daarin een algemene analyse over de offensieve buiteninzet. Ook wordt hierin een concreet handelingsperspectief voor de brandweer geboden. Dit rapport wordt medio 2016 verwacht.

Inhoud

Managementsamenvatting	3
1 Inleiding	10
1.1 Aanleiding en achtergrond	10
1.2 Doel van het onderzoek	12
1.3 Onderzoeksvragen	13
1.4 Afbakening	13
1.5 Betrokkenheid van het brandweerveld	14
1.6 Definities	14
2 Onderzoeksopzet	15
2.1 Inleiding	15
2.2 Algemene opzet	15
2.3 Object	15
2.4 Onderzochte technieken	17
2.5 Gemeten grootheden	19
2.6 Vuurlast	23
2.7 Experimentprotocol	24
2.8 Uniformiteit van de experimentcondities	25
2.9 Analyse van de data	26
2.10 Grenswaarden overleefbaarheid	26
3 Resultaten per techniek	28
3.1 Inleiding	28
3.2 Nulmeting	29
3.3 Coldcutter (CC)	35
3.4 Nevelkogel (NK)	43
3.5 Fognails (FN)	48
3.6 Drukluchtschuim (DLS)	57
3.7 Lage druk (LD)	64
4 Vergelijking tussen de inzettechnieken	73
4.1 Blussing	73
4.2 Koeling	74
4.3 Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid	76
4.4 Effect na inzet	80
4.5 Waterverbruik	81
5 Conclusies	82
6 Discussie	87
6.1 Waarde van het onderzoek	87
6.2 Validiteit	87
6.3 Betrouwbaarheid	88
6.4 Beperkingen van het onderzoek	88
6.5 Duiding	89

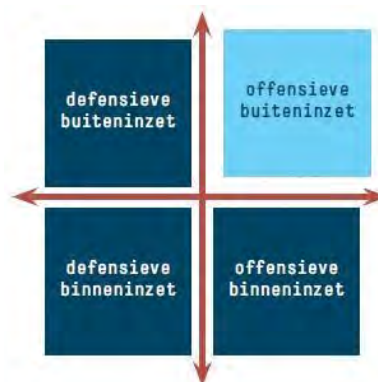
Bijlage A	Overzicht OBI experimenten	91
Bijlage B	Begrippenlijst en afkortingen	92
Bijlage C	Gebruikte meetapparatuur	96
Bijlage D	Reproduceerbaarheid	98
Bijlage E	Bepaling grenswaarden	99
Bijlage F	Grafieken	103
Bijlage G	Antiventilatie	127

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

De Brandweeracademie en Brandweer Nederland houden zich momenteel bezig met de ontwikkeling van het kwadrantenmodel. Dit kwadrantenmodel maakt onderdeel uit van de brandweerdoctrine en voorziet in een viertal inzet tactieken voor gebouwbrandbestrijding.

Een (nieuwe) inzet tactiek is de 'offensieve buiteninzet'. Om het brandweerveld een bruikbaar handelingsperspectief voor deze inzet tactiek te bieden, heeft de Brandweeracademie samen met Brandweer Nederland een project opgezet genaamd 'Offensieve Buiteninzet' (OBI). Het OBI-project bestaat uit vijf onderdelen, waarvan de eerste vier inmiddels zijn gepubliceerd. Dit rapport heeft betrekking op het vijfde onderdeel.



Figuur 1-1. Kwadrantenmodel

Voor een offensieve buiteninzet wordt in principe gekozen, indien het voor brandweerpersoneel niet veilig genoeg is om naar binnen te gaan en het van buitenaf toch zinvol is de brand aan te pakken. Het doel is een veilige binneninzet mogelijk te maken, de brand te blussen of om de omstandigheden voor aanwezige slachtoffers te behouden of te verbeteren. Binnen het project is afgesproken dat de bruikbaarheid en effectiviteit van een aantal bestrijdingstechnieken in een gecontroleerde, maar zo realistisch mogelijke context onderzocht moesten worden.

Het voorliggende onderzoek (OBI 5) is zoals beschreven onderdeel van een groter project. De kernvraag voor het gehele OBI-project is:

In hoeverre kunnen met de gekozen offensieve buiteninzet technieken de beoogde effecten voor een offensieve buiteninzet worden bereikt bij branden onder verschillende omstandigheden?

Onder 'beoogde effecten' wordt verstaan:

- > voldoende koelen van rookgassen² zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninzet en/of,
- > de brand van buitenaf blussen en/of,
- > het niveau van de parameters voor overleefbaarheid verbeteren.

Het onderzoek is gericht op het onderzoeken *of* en *hoe* de offensieve buiteninzet effectief kan worden uitgevoerd, welke technieken zich hiervoor lenen en hoe die technieken het beste kunnen worden toegepast. Er is gekozen voor technieken die nu binnen Brandweer Nederland min of meer gebruikelijk zijn en worden toegepast en waarvan wordt verondersteld dat ze effectief ingezet zouden kunnen worden bij een offensieve buiteninzet. Deze technieken – coldcutter (CC), nevelkogel (NK), fognails (FN), repressieve ventilatie (RV), drukluchtschuim (DLS), hoge druk (HD) en lage druk (LD) – worden in het totale project onderzocht.

² Ook inertiseren van de rookgassen is een optie, maar wordt in dit onderzoek niet meegenomen.

Een tabel met een overzicht van de verschillende experimenten en omstandigheden van de OBI-fasen is terug te vinden in bijlage A. Door de kenmerken van de reeds uitgevoerde onderdelen naast de kernvraag van het OBI-project te leggen, is geanalyseerd welke vragen nog beantwoord moesten worden om de kernvraag te kunnen beantwoorden. Na deze analyse bleven de volgende twee vragen over.

1. In hoeverre is de offensieve buiteninzettechniek in staat om bij een inzet in een *groot gebouw met grote inzetdiepte en met een hoge vuurlast waarbij de brandhaard niet direct bereikbaar is* effectief te zijn?
2. Wat gebeurt er met de brandontwikkeling als de *offensieve buiteninzet wordt beëindigd* (met als doel om over te schakelen op een offensieve binneninzet)?

Op basis van de eerdere onderzoeken zijn de volgende uitgangspunten gedefinieerd voor OBI 5:

- > Het moet een gebouw zijn met een goede isolatiewaarde, realistisch voor het gekozen scenario en realistisch ten opzichte van de gebouwen waar de brandweer naar uitrukt.
- > De parameters voor overleefbaarheid, waaronder koolmonoxide (CO), zuurstof (O₂) en straling moeten gemeten worden.
- > Bij aankomst is er sprake van een ventilatiegecontroleerde brand.
- > De situatie is dusdanig dat na de offensieve buiteninzet binnentreden mogelijk is, maar dat er nog wel een reddingspoging mogelijk/noodzakelijk is (van een slachtoffer of schadebeperking).
- > Er is een uitbreidbare vuurlast, pyrolyse moet althans mogelijk zijn.
- > De brandhaard moet niet direct bereikbaar zijn vanaf de voordeur en zich diep in het gebouw bevinden.

Op basis hiervan heeft de expertgroep voor OBI 5 voor de volgende configuratie en kenmerken gekozen, welke in onderstaande tabel worden weergegeven.

Tabel 1-1. Configuratie en kenmerken OBI 5

	Kenmerken	OBI 5
Gebouw	Aard gebouw	Industrieloofs
	Omvang gebouw	10x15 meter
	Lay-out gebouw	Eenvoudig
	Materiaal gebouw	Staal met isolatie
Brand	Aard vuurhaard	Realistische, heterogene vuurlast
	Omvang vuurlast	Hoog, groot oppervlak
	Bereikbaarheid vuurhaard	Niet direct bereikbaar
	Uitbreidbaarheid vuurhaard	Uitbreidbaar
Inzet / opzet onderzoek	Onderzochte technieken	CC, NK, FN, DLS, LD
	Locatie inzet	Brandruimte (bij een niet-bereikbare brandlast)
	Eindcriterium	Inzetten tot temperatuur van de rookgaslaag < 150°C ³ is
	Na bereiken eindcriterium	Effect overschakelen op binneninzet bepalen
	Gemeten variabelen	Temperatuur (°C) Visueel beeld Thermisch beeld Straling Zuurstof (O ₂) Koolmonoxide (CO) Stikstofoxiden (NO _x)

Op basis van deze tabel is de onderzoeksopzet nader uitgewerkt in hoofdstuk 2.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van OBI 5 is inzicht geven in de mate waarin de technieken in staat zijn om een effectieve offensieve buiteninzet te doen, bij een ventilatiegecontroleerde brand in een relatief groot (industrie)gebouw. Of een offensieve buiteninzet effectief is, wordt bepaald door de mate waarin de drie doelstellingen van de offensieve buiteninzet worden bereikt. Met een offensieve buiteninzet:

1. kan de brand van buitenaf worden geblust
2. kunnen de rookgassen binnen voldoende worden gekoeld, zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninzet
3. kan het niveau van de parameters voor overleefbaarheid verbeterd worden.

³ Inzet maximaal 20 minuten, inclusief opschaling tot 'middelbrand' met realistische opkomsttijd tweede voertuig.

Hierbij is niet alleen gekeken naar de brandruimte zelf, maar ook naar de aangrenzende ruimte, welke als fictieve kantoorruimte in open verbinding met de brandruimte stond maar niet bij de brand betrokken was.

1.3 Onderzoeksvragen

Bij het onderdeel OBI 5 wordt de volgende centrale onderzoeksvraag beantwoord:

In hoeverre kunnen met de gekozen offensieve buiteninzettechnieken de beoogde effecten voor een offensieve buiteninzet worden bereikt bij een ventilatiegecontroleerde brand in een groot (industrie)pand met een realistische en uitbreidbare vuurlast die niet direct bereikbaar is en in hoeverre blijven deze effecten in stand na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?

De probleemstelling wordt beantwoord door antwoord te geven op de volgende vier deelvragen.

1. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat de *brand* in het pand te *blussen*?
2. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat om de *rookgassen* in het pand dusdanig te *koelen* dat een offensieve binneninzet mogelijk is⁴?
3. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat om het niveau van de parameters voor *overleefbaarheid* (temperatuur, straling, CO, O₂, NO_x op slachtofferniveau) in de verschillende ruimten te verbeteren?
4. In hoeverre blijven de effecten op brand- en rookontwikkeling en parameters voor overleefbaarheid *in stand* na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?

1.4 Afbakening

De onderzoeksresultaten moeten binnen de beperkingen van het onderzoek worden gezien. De resultaten gelden namelijk uitsluitend voor de onderzochte proefopzet en scenario. Andere inzetwijzen of scenario's kunnen tot andere conclusies leiden.

In het scenario van OBI 5 was er een vuurhaard achterin de ruimte, op een plek die niet direct bereikbaar was. Bovendien waren er pyrolyserende materialen in de omgeving van de brand aanwezig, waardoor de brand zich kon uitbreiden. In het onderzoek zijn de parameters temperatuur, straling, CO, O₂ en NO_x gemeten. Ook is het waterverbruik en het visueel beeld binnen geregistreerd. Andere parameters zoals luchtvochtigheid, samenstelling van de rookgassen en de hoeveelheid hout die daadwerkelijk is opgebrand is niet gemeten.

Voor de OBI 5 experimenten zijn alleen de vooraf door de expertgroep geselecteerde⁵ en in Nederland gebruikte technieken en inzetmethoden onderzocht: CC, NK, FN, DLS en LD. Andere technieken zijn niet onderzocht (zie voor meer informatie paragraaf 2.4).

In het onderzoek is uitsluitend één proefopzet met één scenario onderzocht. Dit betekent dat de resultaten van het onderzoek uitsluitend geldig zijn voor de onderzochte proefopzet en scenario. Het generaliseren of toepassen op andere omstandigheden kan daarom alleen met de nodige voorzichtigheid en verstandigheid.

⁴ In staat om de rookgassen, voordat de brandstof op raakt, overal tot onder de 150°C te koelen.

⁵ Mede op basis van eerder uitgevoerde OBI experimenten

1.5 Betrokkenheid van het brandweerveld

Om maximaal gebruik te maken van de kennis en ervaring die in het veld aanwezig is, is bij de opzet, uitvoering en analyse van het onderzoek een expertgroep gevormd. De expertgroep bestond uit door de regio's geselecteerde en afgevaardigde experts vanuit de deelnemende brandweerregio's⁶. De leden van de expertgroep hebben het onderzoeksprotocol vastgesteld, meegedacht bij de interpretatie van de resultaten en het conceptrapport gereviewd. Daarnaast hebben ervaren brandweermensen uit verschillende veiligheidsregio's de technieken toegepast in het onderzoek en andere ondersteuning geboden tijdens de experimenten.

De onderzoeken in het kader van OBI leveren in iedere stap een omvangrijk onderzoeksrapport op, waarin gedetailleerd wordt ingegaan op de gevonden resultaten. Deze onderzoeksrapporten hebben een wetenschappelijke insteek en zijn onderdeel van een groter onderzoek met meerdere stappen. Voor het brandweerveld is het essentieel de onderzoeksresultaten te vertalen naar concrete handvatten voor de praktijk. Daarvoor is het noodzakelijk alle rapporten integraal te beschouwen en te analyseren. Dit zal na afloop van OBI 5 worden gedaan, waardoor voor het brandweerveld een makkelijk leesbare kennispublicatie wordt ontwikkeld, waarin alle onderzoeksresultaten worden omgezet in concreet handelingsperspectief.

1.6 Definities

Veelgebruikte begrippen zijn omschreven in de begrippenlijst in bijlage B. Daar is tevens een lijst te vinden met afkortingen die in dit rapport gebruikt zijn.

⁶ Amsterdam- Amstelland, Brabant Noord, Brabant Zuidoost, Groningen, Haaglanden, Limburg-Zuid, Midden en West Brabant, Noord-Holland Noord, Rotterdam-Rijnmond, Twente, Utrecht, Flevoland en Zaanstreek-Waterland.

2 Onderzoeksopzet

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de opzet van het praktijkonderzoek besproken. Allereerst wordt de algemene opzet van dit onderzoek gegeven. Vervolgens wordt er nader ingegaan op de locatie. Daarna wordt een kort overzicht gegeven van de (kenmerken van de) onderzochte blustechnieken, de gemeten grootheden, de vuurlast, het experimentprotocol, de uniformiteit van condities tijdens de experimenten, analyse van de data en de grenswaarden voor overleefbaarheid. Daarnaast is gekeken wat het effect is als na de inzet het gebouw fictief wordt betreden voor nabluswerkzaamheden of een naverkenning. Hiertoe werd na de inzet een toegangsdeur aan de zijkant van het pand geopend en werd vervolgens 5 minuten gemonitord wat er gebeurde met het brandverloop en de hierboven genoemde parameters.

2.2 Algemene opzet

Het scenario voor OBI 5 kan als volgt worden omschreven.

Er is brand uitgebroken in een industriepand. De brandhaard bevindt zich achterin het pand, welke bestaat uit één ruimte met een inpandig halfopen kantoor. Het is niet bekend of deze vanaf de inzetplaats bereikbaar is. Het pand is alleen vanaf de voorzijde bereikbaar. De melding is een brandgerucht. Bij aankomst blijkt er daadwerkelijk sprake van een (ventilatiegecontroleerde) brand. De situatie is dusdanig dat daarom bij aankomst besloten wordt tot een offensieve buiteninzet en dat wordt opgeschaald naar middelbrand. In de brandruimte en de ruimte (kantoor) erachter bevinden zich slachtoffers.

In vergelijking met de eerder uitgevoerde OBI experimenten, was in OBI 5 de omvang van de brand groot en het meest realistisch bij een brand in een bedrijfspand. Bovendien was de brand uitbreidbaar. Ook anders dan in de vorige OBI-experimenten, is (conform de praktijk) opschaling meegenomen in het onderzoek. Dat betekende dat de eerste inzet gebeurde met de materialen van één tankautospuiter (TS) en dat na 10 minuten⁷ de tweede TS met dezelfde techniek is ingezet als de doelstelling van de inzet (de temperatuur van de rookgaslaag onder de 150°C) binnen 10 minuten niet bereikt was.

Als de doelstelling van de inzet was bereikt, is de loopdeur aan de zijkant van het gebouw geopend om het binnentreden van een brandweerploeg te simuleren. Er is gedurende 5 minuten gemonitord wat er gebeurde met de brand- en rookontwikkeling en parameters voor overleefbaarheid. Hierbij werd niet ingezet.

2.3 Object

De experimenten zijn uitgevoerd op Troned (locatie vliegveld Twente), een trainingscentrum voor professionele hulpdiensten, in een daarvoor geprepareerde voormalige hangar. De hangar had een afmeting (binnen) van 15,35 m diep x 11,60 m breed x 4,50 m hoog. Het betreft een constructie van stalen balken met stalen windverbanden. De wand- en

⁷ Opschaling 2 minuten na alarmering, 6 minuten opkomsttijd en 2 minuten voorbereidingstijd

plafondpanelen zijn eveneens van staal en bestaan uit geperforeerd plaatstaal, geïsoleerd met steenwol. Het dak is aan de buitenzijde bekleed met bitumen. De vloer is van beton. Aan de voorzijde zijn twee grote schuifdeuren (gezamenlijk 7,30 m breed, 4,50 m hoog), waarin totaal vier luikjes zijn gemaakt. Aan de rechterzijde bevindt zich een loopdeur. Rechts achterin de hal is eveneens een loopdeur, die uitkomt in een klein vertrek. Vanuit dit vertrek is een deur naar buiten. De aanwezige ramen in het pand (twee stuks) zijn dichtgelast. In onderstaand figuur is een afbeelding van het pand opgenomen.



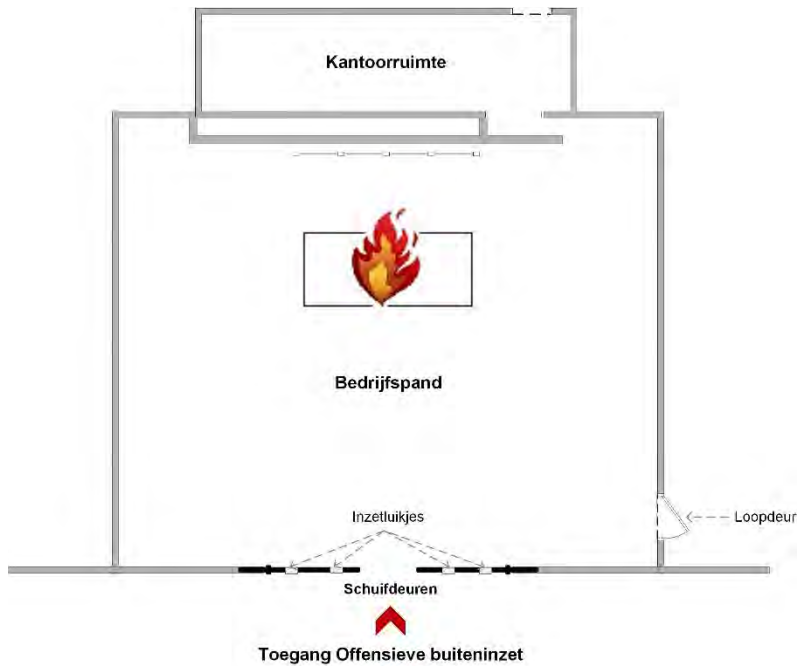
Figuur 2-1. Op de foto links staat de voorzijde van het pand en rechts is het luikje omcirkeld welke gebruikt is voor de inzet van de technieken

Het plafond, het bovenste deel van de zijwanden en de achterwand werden extra geïsoleerd door een bekleding met Promat. Om de Promat te beschermen tegen de invloed van bluswater werd het materiaal bekleed met een stalen damwand profiel.



Figuur 2-2. Bovenaanzicht van de loods waarin de experimenten plaats hebben gevonden

Figuur 2-3 geeft een schematische weergave van het object.



Figuur 2-3. Lay-out van de industrieloofs en de plaats van de offensieve buiteninzet

2.4 Onderzochte technieken

De volgende technieken zijn onderzocht tijdens de OBI 5 experimenten:

- > Coldcutter (CC)
- > Nevelkogel (NK)
- > Fognails (FN)
- > Drukluchtschuim (DLS)
- > Lage druk (LD) (buiteninzet)

Omdat het gaat om het uitvoeren van offensieve buiteninzettechnieken in een relatief groot pand met een grote vuurlast, is het in de praktijk niet voor de hand liggend om met hoge druk (HD) in te zetten. Er is er daarom geen experiment met HD uitgevoerd. Repressieve ventilatie is niet onderzocht, omdat een offensieve buiteninzet met een overdruk ventilator op dit moment niet gangbaar is bij industriebranden én omdat de uitkomsten van een lopend grootschalig onderzoek naar repressieve ventilatie bij Underwriters Laboratories in de Verenigde Staten wordt afgewacht.

In tabel 2-1 zijn kenmerken zoals debiet en gebruikte pompdruk weergegeven van de blustechnieken.

Tabel 2-1. Kenmerken van de gebruikte blustechnieken

Blustech-niek	Merk/type blusmiddel	Straalpijp	Debiet en kegelhoek	Gebruikte pompdruk	Dynamische werkdruk
CC	Water ⁸	Lange Cobralans	60 l/min kleine kegelhoek ⁹	290 bar	260 bar
NK	Water	Geen straalpijp aanwezig, wel een afsluiter op de NK	380 l/min ¹⁰	9,5 bar lage druk	7 bar op kop NK
FN	Water	Offensief	70 l/min	10 bar	7 bar
DLS	A-klasse OneSeven van Schmitz Bijmeng-percentage 0,3%	Reguliere DLS-straalpijp (aangesloten op 75mm persuitlaat)	270 l/min gebonden straal ¹¹	8 bar	7 bar
LD	Water	TFT F06	430 l/min 15-25°	8 bar	7 bar

In tabel 2-2 staat beschreven hoe de verschillende technieken zijn ingezet.

Tabel 2-2. Inzetwijze OBI 5 per techniek¹²

Techniek	
CC	Inzet één TS: één CC schuin omhoog en recht naar achteren gericht door het rechter luikje van de linker schuifdeur.
NK	Inzet één TS: 1 NK iets schuin omhoog gericht naar het midden van de ruimte via de meest rechter luik. Inzet met twee TS-en: één extra NK iets schuin omhoog en rechttuit gericht via de meest linker luik.
FN	Inzet één TS: twee offensieve lagedruk-FN recht vooruit ingezet (zowel horizontaal als verticaal) via de buitenste twee luikjes. De luikjes zijn na het binnensteken van de FN zoveel mogelijk dichtgedaan. Inzet met twee TS-en: twee extra offensieve FN op dezelfde manier ingezet via de binnenste twee luikjes. De luikjes zijn na het binnensteken van de FN zoveel mogelijk dichtgedaan.
DLS	Inzet één TS: één gebonden DLS-straal in eerste instantie gericht op het plafond in een Z-beweging van links naar rechts. Vervolgens gericht op achterzijde: van voor naar achter, van links naar rechts. Ingezet via het linker luikje van de rechter schuifdeur, waarbij het luikje er helemaal uit is gehaald.
LD	Inzet één TS: twee LD stralen ingezet door de binnenste twee luikjes onder een hoek van circa 30 graden, om worplengte te creëren. Evenwijdig aan elkaar van links naar rechts bewogen (synchroon).

⁸ Voor het snijden wordt gebruikgemaakt van water met een abrasief.

⁹ Exacte kegelhoek is niet bekend.

¹⁰ Kegelhoek niet bekend, NK geeft waternevel in een ronde vorm.

¹¹ Bij de DLS straalpijp is het niet mogelijk om een kegelhoek in te stellen. De straalpijp produceert een volstraalbundel.

¹² Alleen als er sprake was van een inzet met een tweede TS is hiervoor de inzetwijze beschreven. Bij een aantal technieken bleek geen inzet van een tweede TS nodig voor het bereiken van het stopcriterium.

De inzettechnieken zijn uitgevoerd door brandweermensen uit de deelnemende regio's, die zijn opgeleid en getraind voor de toepassing van de betreffende techniek:

- > CC: Brandweerregio Amsterdam-Amstelland
- > NK: Brandweerregio Brabant Noord
- > FN: Brandweerregio Utrecht
- > DLS: Brandweerregio Gooi- en Vechtstreek
- > LD: Brandweeracademie / CFBT instructeurs



Figuur 2-4. Beeld tijdens de OBI 5 experimenten

2.5 Gemeten grootheden

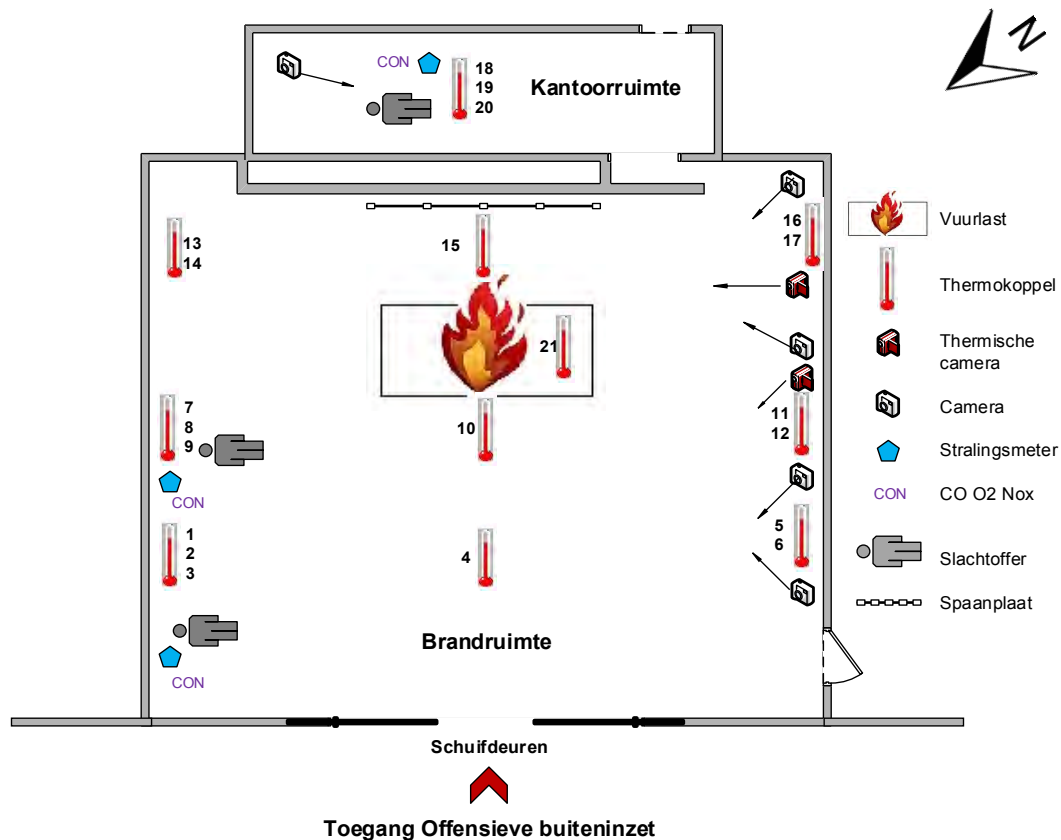
Tijdens de experimenten zijn parameters voor brandverloop en overleefbaarheid gemeten. Het gaat daarbij om het visuele beeld binnen, het thermische beeld binnen, de temperatuur ($^{\circ}\text{C}$), koolmonoxide (CO), zuurstof (O_2), straling en stikstofoxiden (NO_x). De meetapparatuur is in zowel de brandruimte als de kantooruimte geplaatst, waarbij de temperatuur op 400 cm (50 cm van het plafond), 180 cm hoogte en 50 cm hoogte (slachtofferniveau) is gemeten. CO , O_2 , NO_x en straling zijn elk op drie plaatsen op 50 cm hoogte (slachtofferniveau) gemeten. In beide ruimten zijn camera's geplaatst, zodat zowel zicht op de vuurhaard als zicht op de inzet van binnenuit mogelijk was.

In tabel 2-3 is weergegeven welke parameter is gemeten, waarmee deze parameter is gemeten en op welke locatie is gemeten. De gegevens over de gebruikte meetapparatuur zijn opgenomen in bijlage C. De positie van de meetapparatuur en de fictieve slachtoffers zijn weergegeven in figuur 2-5.

Tabel 2-3. Overzicht van gemeten parameters, meetwijze en locatie

Parameter	Meetwijze	Locatie
Visueel beeld binnen	Reguliere camera's (Zepcam)	4x in brandruimte 1x in kantoorruimte
Thermisch beeld binnen	Thermische camera's (Argus)	2x in brandruimte
Temperatuur (°C)	Thermokoppels	9x op 50 cm van plafond in brandruimte 6x op 180 cm van de vloer in brandruimte 2x op 50 cm van de vloer in brandruimte 1x op 50 cm van plafond in kantoorruimte 1x op 180 cm van de vloer in kantoorruimte 1x op 50 cm van de vloer in kantoorruimte 1x in stalen dakconstructie
Koolmonoxide (CO)	CO-meter (Testo)	2x in brandruimte op 50 cm van de vloer 1x in kantoorruimte op 50 cm van de vloer
Zuurstof (O ₂)	O ₂ -meter (Testo)	2x in brandruimte op 50 cm van de vloer 1x in kantoorruimte op 50 cm van de vloer
Stikstofoxiden (NO _x)	NO _x meter (Testo)	2x in brandruimte op 50 cm van de vloer 1x in kantoorruimte op 50 cm van de vloer
Straling	Stralingsmeter	2x in brandruimte op 50 cm 1x in kantoorruimte op 50 cm

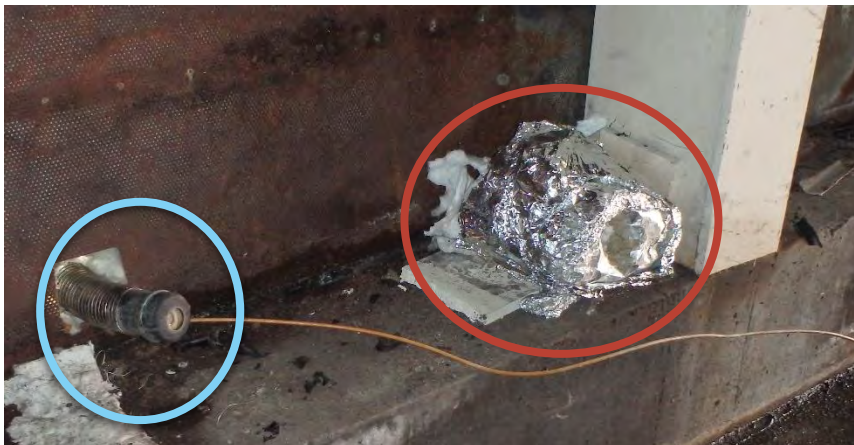
De locatie van de meetapparatuur is weergegeven in onderstaande plattegrond.



Figuur 2-5. Plattegrond en locatie meetapparatuur

2.5.1 Visueel beeld en ervaringen

Het visuele beeld is vastgelegd om inzicht te hebben in het brandverloop en om eventuele bijzonderheden die zich tijdens de inzet voordeden te kunnen onderzoeken. Het visuele beeld is vastgelegd met warmtebeeldcamera's en reguliere camera's.



Figuur 2-6. Visueel beeld vastgelegd door camera's (blauw omcirkeld) en thermische camera's (rood omcirkeld)

De inzetploeg is gevraagd om direct na de inzet hun ervaringen en waarnemingen te delen met het onderzoeksteam. Deze ervaringen zijn genoteerd in het logboek en waar mogelijk verwerkt in dit rapport.

2.5.2 Temperatuur (°C)

Voor het bepalen van het koelend vermogen is de energie in een ruimte een belangrijke parameter. De temperatuur is daarvan een afgeleide. Door de omstandigheden (brand, uitgangssituatie containers) hetzelfde te houden, is verondersteld dat de energie-inhoud telkens vergelijkbaar is geweest. Hierdoor geven de temperatuurmetingen als afgeleide een goed beeld van het koelend effect. Tijdens alle experimenten zijn de temperaturen in de verschillende ruimten gemeten. Daaruit zijn de volgende gegevens bepaald.

- > Het temperatuurverloop tijdens het experiment op verschillende plaatsen in de ruimten.
- > De temperatuur in elke ruimte bij de start van de inzet.
- > De minimale temperatuur in elke ruimte na de inzet.

Voor de temperatuurregistratie werd gebruikgemaakt van 21 thermokoppels, welke op verschillende plaatsen in het pand werden bevestigd. Alle thermokoppels waren afgeschermd, zodat niet de straling maar alleen de convectie van de rookgassen gemeten werd. De thermokoppels op 50 cm van het plafond waren afgeschermd met een hol, vierkant blok voorzien van een isolerende binnenlaag. De zijkanten van het blok waren open. Om te voorkomen dat blusmiddel de thermokoppels kon raken, waren de open kanten dwars op de richting van het blusmiddel geplaatst. De thermokoppels die op 180 cm hoogte waren gehangen, werden afgeschermd met stukken isolatiemateriaal. Een uitzondering hierop vormde thermokoppel 21. Deze thermokoppel was geplaatst in de stalen dakconstructie om de temperatuur van de constructie te monitoren.



Figuur 2-7. Afscherming thermokoppels

2.5.3 Straling

Naast temperatuur is ook de straling gemeten. Hiertoe is op drie plaatsen (twee in de brandruimte en één in de kantoorruimte) de straling gemeten. Driemaal bij de positie van het slachtoffer. De stralingsmeter is onder een hoek van 45 graden gericht naar de rookgaslaag. Zie figuur 2-8.



Figuur 2-8. Stralingsmeter

2.5.4 CO, O₂ en NO_x

Voor met name de overleefbaarheid van eventuele slachtoffers en om de risico's op rookgasontbrandingen te kunnen inschatten bij eventuele binnentreden van de brandweer voor nablussen en verkenning, zijn naast het O₂-gehalte ook de concentraties van twee veelvoorkomende gassen in de rook bij brand (CO en NO_x) gemeten. CO en NO_x zijn giftige gassen, die van grote invloed zijn op de overleefbaarheid voor eventuele slachtoffers. CO kan daarnaast een explosief mengsel vormen. Voor het meten van de parameters voor overleefbaarheid van slachtoffers is er op drie plaatsen gemeten op 50 cm hoogte.

2.5.5 Tijdsduur

De parameter met betrekking tot tijd was de snelheid van temperatuurdaling tot het bereiken van de grenswaarde van 150°C. Verder is de tijdsregistratie vooral gebruikt om het experimentprotocol uit te kunnen voeren: er werd maximaal 20 minuten ingezet, waarna de deur werd geopend en nog 5 minuten werd doorgemeten. De tijdsregistratie liep synchroon met de temperatuurmeting en het waterverbruik.

2.5.6 Waterverbruik

De parameter met betrekking tot waterverbruik was de hoeveelheid verbruikt water per inzet. Het waterverbruik werd gemeten met behulp van een analoge of digitale watermeter, afhankelijk van het gebruikte debiet. De analoge watermeter meet tot een debiet van 7000 l/uur, de digitale watermeter meet vanaf 10.000 l/uur. Dit betekent dat voor de inzetten met de CC het waterverbruik gemeten is met de analoge watermeter en dat het

waterverbruik bij de NK, FN, DLS en LD gemeten is met de digitale watermeter. Het waterverbruik werd gemeten door de watermeter te plaatsen tussen de TS en de straalpijp. Hierbij is gebruikgemaakt van een opstelling met tegendruk. De waterstanden werden genoteerd voorafgaand aan het experiment en na iedere inzet.

2.6 Vuurlast

De vuurlast bestond uit een heterogene vuurlast, welke realistisch is voor de gebruikelijke vuurlast van een industriepand. Het betreft hier pallets, aangevuld met spaanplaat. De vuurlast werd opgesteld achterin de hal, bij de wand die grenst aan de kantooruimte achterin. De vuurlast is geplaatst in een 20 voet container, die aan drie zijden open is (de twee zijwanden en een lange wand). De vuurlast bestond uit drie stapels. Iedere stapel was opgebouwd uit een pallet, vervolgens een spaanplaat (afm. 122 x122 cm en een dikte van 18 mm), vervolgens 12 pallets en daar bovenop weer een spaanplaat. In totaal bestond de primaire vuurlast uit circa 874 kg vurenhout en 107 kg spaanplaat. Dit komt neer op een potentieel brandvermogen van circa 18.639 MJ, dat levert een HRR op van 6-9 MW. De container werd zo geplaatst, dat de dichte zijde gekeerd was naar de grote schuifdeuren. De bovenzijde van de container was dicht. Hierdoor was geen direct contact tussen blusmiddel en vuurlast mogelijk als werd ingezet vanaf de schuifdeuren. De opstelling van de vuurlast was zodanig, dat de brand zich kan uitbreiden/pyrolyse kan plaatsvinden. Hiertoe werd op een afstand van circa anderhalve meter tegenover de stapels tegen de muur drie pallets op de zijkant geplaatst, met daarvoor een spaanplaat, en erop een spaanplaat. Deze vuurlast bestond uit circa 67 kg vurenhout en circa 107 kg spaanplaat, wat neerkomt op een potentieel brandvermogen van circa 3306 MJ. Het potentieel brandvermogen van de totale vuurlast (in de container en tegen de muur) bestond uit circa 21.945 MJ.



Figuur 2-9. De proefopstelling tijdens de pre-test¹³

¹³ Tijdens de pre-test bestond de primaire vuurlast uit drie stapels van 11 pallets en twee spaanplaten. De primaire vuurlast tijdens de daadwerkelijke experimenten bestond uit drie stapels van 13 pallets en twee spaanplaten, zie ook paragraaf 2.6.

2.7 Experimentprotocol

Bij een offensieve buiteninzet wordt de blustechniek buiten het gebouw toegepast. Voor de experimenten werd gebruikgemaakt van het gehele onderzoeksobject, bestaande uit een bedrijfspand met een inpendig halfopen kantoor. De vuurhaard was niet rechtstreeks bereikbaar en er bevonden zich pyrolyserende materialen in de omgeving van de brand, waardoor de brand zich kon uitbreiden. Via de luikjes in de grote schuifdeuren is van buitenaf ingezet.

2.7.1 Start- en eindcriteria

De brand is aangestoken en kreeg door middel van het open laten van de schuifdeuren en zijdeur voldoende O₂. Vervolgens zijn, om een ventilatiegecontroleerde brand te veroorzaken met voldoende rooklaag, de deuren gesloten. De temperatuur is gemonitord, evenals het rookbeeld binnen. Het streven was om in de brandruimte een temperatuur van ten minste 400°C (thermokoppel 10) te realiseren én een rookgaslaag met voldoende dikte én verdichting te verkrijgen. Als werd voldaan aan deze criteria, is de inzet met het materiaal van één tankautospuut gestart.

Na 10 minuten werd een tweede tankautospuut met dezelfde techniek ingezet als de doelstelling van de inzet (temperatuur onder de 150 °C op referentiethermokoppel 15) binnen de 10 minuten niet bereikt werd.

De inzet liep net zo lang door tot:

- > de temperatuur op TK15 onder de 150°C is, of
- > de maximale tijd van de inzet (20 minuten) is verlopen, of
- > de temperatuur in de brandruimte boven de 700°C is.

Aan het eind van ieder experiment met de betreffende techniek waarbij criterium 1 is bereikt, werd voor de duur van 5 minuten de zijdeur geopend. De deur werd geopend om te simuleren wat het brandverloop is indien er wordt gestopt met de offensieve buiteninzet ten behoeve van het overschakelen naar een (fictieve) offensieve binneninzet¹⁴. Hierbij wordt gemonitord welk effect dit heeft op het brand- en temperatuurverloop en parameters voor overleefbaarheid. Na het bereiken van de 5 minuten is het experiment beëindigd¹⁵.



Figuur 2-10. De vuurhaard voor de start van één van de experimenten (links) en restanten van de vuurhaard na het einde van één van de experimenten (rechts)

¹⁴ Uitsluitend na de inzetten die zijn beëindigd vanwege het verlopen van de maximale tijd of het bereiken van 150°C op TK15, is nog 5 minuten doorgegaan met meten.

¹⁵ Indien sprake was van heroplaaiing waarbij de temperatuur boven de 700°C kwam óf waarbij een kritische temperatuur in de staalconstructie werd bereikt, is omwille van de constructie besloten de 5 minuten niet volledig af te wachten en het experiment eerder te beëindigen.

2.8 Uniformiteit van de experimentcondities

De beschreven procedure van opbouwen, aansteken en monitoren van het brandverloop is gevolgd om ervoor te zorgen dat iedere startsituatie zoveel mogelijk identiek en het experiment op een vergelijkbare, uniforme wijze werd uitgevoerd. Zo kwamen de pallets uit één levering, die onder gelijke condities voorafgaand aan het experiment werden opgeslagen. Hetzelfde geldt voor de gebruikte spaanderplaten en aanmaakvloeistof. Om continuïteit en eenduidigheid te garanderen, is met dezelfde stokers gewerkt.

De inzet is uitgevoerd volgens een gestandaardiseerde methode, die in overleg met de expertgroep tot stand is gekomen. Per techniek werd telkens dezelfde straalpijpvoerder ingezet. Na iedere inzet werd de ruimte gereconditioneerd. Hiervoor zijn de volgende handelingen verricht:

- > het verwijderen van de brandresten uit de brandruimte
- > het verwijderen van het blusmiddel uit de brandruimte
- > het koelen van de muren en lucht, totdat alle thermokoppels een temperatuur lager dan 100°C aangaven.

Bij het reconditioneren werd gebruikgemaakt van onder andere trekkers om de blusstof te verwijderen, om zodoende de ruimte zoveel als mogelijk terug te brengen in de oorspronkelijke staat.

Er waren twee aspecten die niet hetzelfde waren voor alle experimenten. Ten eerste waren de meteorologische omstandigheden gedurende de week waarin het onderzoek plaatsvond niet constant. Op sommige dagen of momenten van de dag was er meer wind dan op andere momenten, wel of geen regen en verschillende temperaturen. Analyse van de meteogegevens van het KNMI-station op Troned¹⁶ laat zien dat er verschillen zijn. Dit is bij praktijkexperimenten in de open lucht helaas onoverkomelijk. De invloed hiervan op de resultaten is onbekend.

De weersomstandigheden op de dagen waarop het onderzoek plaatsvond zijn terug te vinden in tabel 2-4.

Tabel 2-4. Meteorologische gegevens¹⁷

Datum	Test	Wind-richting	Wind-snelheid ¹⁸	Temperatuur ¹⁸	Neerslag ¹⁹	Duur neerslag	Rel. vochtigheid ¹⁸	Gem. luchtdruk
7 april 2015	CC1 CC2	W (280°)	3.1 m/s	7.1 °C	0.0 mm	0.0 uren	78%	1035.3 hPa
8 april 2015	AV1 FN1 FN2	NNW (342°)	1.8 m/s	8.9 °C	0.0 mm	0.0 uren	80%	1033.6 hPa
9 april 2015	LD1 NK1 NK2	ONO (71°)	1.6 m/s	11.0 °C	0.0 mm	0.0 uren	74%	1027.0 hPa
10 april 2015	LD2	ZZW (212°)	1.7 m/s	12.1 °C	0.0 mm	0.0 uren	69%	1019.4 hPa

¹⁶ Locatie vliegveld Twente.

¹⁷ <http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/index.cgi>

¹⁸ Etmaalgemiddelde

¹⁹ Etmaalsom

13 april 2015	DLS1 DLS2	W (281 °)	3.4 m/s	7.7 °C	0.1 mm	0.3 uren	70 %	1030.2 hPa
---------------	--------------	--------------	---------	--------	--------	----------	------	------------

Een tweede aspect waarop de experimenten afweken van elkaar, waren de ventilatiecondities in de fase tussen aansteken en inzetten. Uit eerdere experimenten is gebleken dat een vast tijdschema voor het openen en sluiten van ventilatieopeningen niet leidt tot identieke branden. De brandontwikkeling wordt onder andere beïnvloed door omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid, windkracht en -richting. Hierdoor is het lastig om buiten een laboratoriumomgeving, ondanks de identieke vuurlast, telkens exact dezelfde brandontwikkeling te realiseren. Om de juiste temperatuur te bereiken, is daarom besloten om op basis van waarneming door experts in de opstartfase de ventilatiecondities aan te passen aan de op dat moment ontwikkelende brand, tot de condities beschreven in paragraaf 2.7 waren bereikt. Op deze wijze werd geprobeerd een zo identiek mogelijke brand te creëren. Vanaf dat moment werd het vastgestelde protocol voor het bereiken van de startconditie gevolgd.

Een analyse van de reproduceerbaarheid is opgenomen in bijlage D.

2.9 Analyse van de data

Na afloop van de praktijkexperimenten zijn alle data – de data van de thermokoppels, de stralingsmeters, CO, O₂ en NO_x metingen, de tijds- en waterregistratie, de ervaringen uit de interviews, de bijzonderheden uit het logboek en het visuele beeld dat met beide soorten camera's was vastgelegd – beoordeeld en geanalyseerd. Vervolgens is bepaald in hoeverre bepaalde experimenten, waarvan uit het logboek of uit de beschrijving van de betrokkenen gebleken is dat er iets bijzonders is gebeurd wat niet tot het eigenlijke experiment behoorde, worden meegenomen in het onderzoek.

Daarna zijn de resultaten per techniek geanalyseerd. De resultaten zijn waar mogelijk afgezet tegen nulmetingen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de mate van blussing, de mate van koeling, de effecten op de parameters voor overleefbaarheid en het effect van het openen van een deur voor een (fictieve) binnentreding.

Op basis van de beschikbare data zijn tabellen en grafieken gegenereerd. Bij de stralingsmetingen zijn de grafieken weergegeven als trendlijn op basis van 50 waarden (= 10 seconden). Een trendlijn is een rechte lijn, die de belangrijke punten van een grafiek met elkaar verbindt. Hier is voor gekozen vanwege de foutmarge in de meetapparatuur van de stralingsmeters en vanwege fluctuaties gedurende het meetinterval van de stralingsmeting.

2.10 Grenswaarden overleefbaarheid

De gehanteerde grenswaarden voor overleefbaarheid zijn gebaseerd op uitgebreid internationaal literatuuronderzoek in het kader van de projecten 'Het kan verkeren'²⁰ en 'Gebrand op inzicht'²¹. In bijlage E is opgenomen hoe de grenswaarden zijn bepaald.

²⁰ Hazebroek, J.C., Greven, F.E., Groenewegen-Ter Morsche, K., & Dikkenberg, R. van den (2015). "Het Kan Verkeren" Beschrijvend onderzoek naar overleefbaarheid. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.

²¹ Kobes, M. & Groenewegen-Ter Morsche, K. (2015). Gebrand op inzicht. Een onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.

Tabel 2-5. Gehanteerde grenswaarden voor overleefbaarheid

Parameter	Grenswaarde
Temperatuur	$\geq 120^{\circ}\text{C}$
Straling	$\geq 6 \text{ kW/m}^2$
CO	$\geq 8000 \text{ ppm}$
O ₂	$\leq 6,0\%$
NO _x	$> 150 \text{ ppm}$

De bovenstaande grenswaarden worden in dit onderzoek gehanteerd, om een inschatting te maken van de mate waarin aanwezigen nog kunnen overleven en/of een groot risico lopen op lange termijn gezondheidsschade. Hieraan zitten echter wel beperkingen. Deze beperkingen worden verder besproken in de discussie (zie hoofdstuk 6).

Niet alleen de overschrijding van de grenswaarde is van belang, ook de mate van overschrijding is van belang. Zo zal een overschrijding van de grenswaarde voor straling (6 kW/m²) erger zijn als dit langdurig 9 kW/m² is, dan wanneer de grenswaarde een seconde 10 kW/m² bereikt. Toch worden in dit rapport de overschrijding van grenswaarden strikt gehanteerd. De reden hiervoor is dat het afwijken hiervan automatisch tot een nieuwe, andere grenswaarde leidt en de discussie hierdoor slechts verschuift.

De grenswaarden zijn gebaseerd op wetenschappelijke onderzoeken en normen. Het overschrijden van de grenswaarde(n) wil niet per definitie zeggen dat iemand in de praktijk ook overlijdt, en dat als de grenswaarde net niet wordt overschreden, iemand het altijd overleeft. Dit kan een combinatie van factoren zijn, waarbij ook de persoonlijke gezondheid, leeftijd en dergelijke een rol spelen. Het is daarom slechts een indicatie voor de overleefbaarheid van de situatie. In dit rapport wordt daarom uitsluitend gesproken over de overschrijding van grenswaarden voor overleefbaarheid.

3 Resultaten per techniek

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de nulmeting en de resultaten van de experimenten besproken.

Om te bepalen of de gemeten effecten veroorzaakt werden door de verschillende inzettechnieken, is een nulmeting uitgevoerd (AV-1, zie paragraaf 3.2). De resultaten van de nulmeting kunnen worden gebruikt voor twee doelen. Enerzijds dienen deze resultaten voor het bepalen van het effect van de inzet ten opzichte van wat er zou gebeuren als er geen inzet werd gedaan. Anderzijds kunnen deze resultaten ook worden gezien als het toepassen van de antiventilatie tactiek. Dit is een tactiek die nog niet vaak wordt toegepast in Nederland en bestaat uit het dichthouden van het pand, in de hoop en verwachting dat de brand door O₂-gebrek zal afnemen of doven.

In paragraaf 3.3 en verder worden de resultaten van de experimenten per inzettechniek aan de hand van de onderzoeksvragen (zie paragraaf 1.3) besproken. Per paragraaf worden de resultaten van één inzettechniek weergegeven. Hierbij worden de resultaten op het gebied van blussing, koeling, overleefbaarheid en effect na de inzet beschreven.

Allereerst wordt op basis van de beelden van de warmtebeeldcamera's en reguliere camera's de blussing beschreven. Vervolgens wordt aan de hand van het temperatuurverloop op referentiethermokoppel 15 en in de gehele ruimte de koeling van de rookgassen onderzocht. In de daarop volgende subparagraaf wordt ingegaan op overleefbaarheid. In een tabel wordt overzichtelijk weergegeven of tijdens de opstartfase (voor de inzet) en de inzetfase de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn bereikt. De parameters waarvan de grenswaarden worden overschreden in de inzetfase worden vervolgens in een figuur weergegeven. In het figuur is de grenswaarde met een zwarte stippellijn aangegeven en de start van de inzetfase is gemarkeerd met een rode lijn. De overige grafieken zijn opgenomen in bijlage F.

Na iedere geslaagde inzet is vervolgens de deur 5 minuten opengezet, waarbij O₂ wordt toegevoerd. Dit wordt gedaan om te bepalen wat er zou gebeuren als er overgeschakeld zou worden naar een offensieve binneninzet. Daarbij gaat het vooral om de veiligheid van brandweerpersoneel. Daarom wordt van deze periode de temperatuur, straling en het CO en O₂-verloop beschreven²². Er is niet daadwerkelijk offensief binnen ingezet.

Bij de metingen van CO, O₂ en NO_x is er in de meetgegevens soms te zien dat de waarde ineens terugloopt naar nul. Dit heeft te maken met de gevoeligheid van de meetapparatuur, waarbij er een korte automatische reset is. Besloten is deze gegevens niet te corrigeren en in originele vorm op te nemen in het rapport. Bij de interpretatie van deze gegevens moeten deze waarden niet gezien worden als werkelijke waarde.

²² Temperatuur en straling zijn risicofactoren in verband met mogelijke warmtestuwing of verbranding, CO is een risicofactor vanwege mogelijke ontbranding van de rookgaslaag en O₂ is een indicatie voor een ventilatiegecontroleerde brand, waardoor er een grotere kans op rookgasontbranding is. In verband met het dragen van ademlucht is NO_x geen risicofactor van belang tijdens de binneninzet.

3.2 Nulmeting

Er is een nulmeting uitgevoerd om te bepalen wat er gebeurt, als er in dezelfde omstandigheden geen inzet plaatsvindt. Op deze wijze kan worden bepaald wat het effect van de technieken is. Bij deze nulmeting (AV-1) wordt de brand net als bij de andere experimenten volgens hetzelfde ventilatieregime opgestookt. Wanneer bij de andere experimenten de inzet zou starten, blijven in dit geval de deuren dicht en vindt er geen inzet van de brandweer plaats. In de grafieken is het moment waarop zou worden ingezet tijdens de andere experimenten, weergegeven als $t=0$.

De nulmeting is tevens gebruikt als een verkennend onderzoek naar een ander inzettechniek, namelijk antiventilatie. Deze in Nederland nog niet gebruikelijke methode bestaat uit het juist *niet* optreden, maar het dicht houden van het gebouw zodat de brand verstikt. De resultaten voor de antiventilatieproeven zijn opgenomen in bijlage G.

3.2.1 Brandverloop

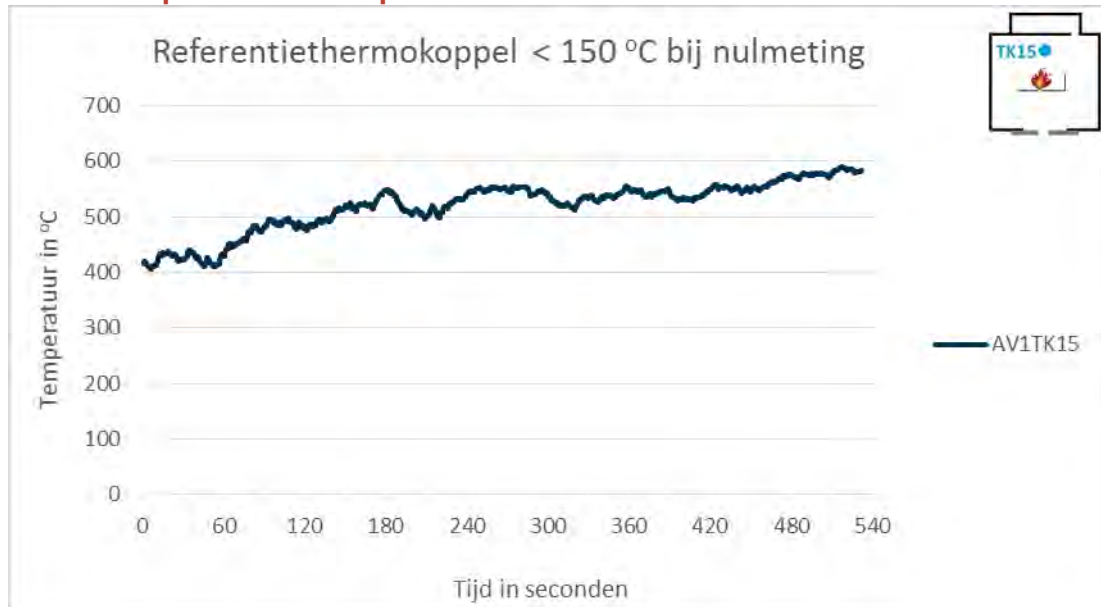
Te zien is dat in de opstartfase van de nulmeting de brand zich al heeft uitgebreid richting de spaanplaten aan de muur. Na het startmoment blijft de gehele vuurhaard branden. Er blijven vlammen zichtbaar en de vuurhaard blijft volledig branden.

Een kleine 3 minuten nadat normaal gesproken zou zijn ingezet, stort de eerste van de drie stapels in. In het verloop van het experiment is een wisselend effect te zien. Eerst breidt het vuur zich licht uit en na ongeveer 5 minuten lijkt de branduitbreiding haast te stoppen en blijft het vuur met een hoge, vrij gelijkmatige intensiteit doorbranden. Na ongeveer 480 seconden is er een vrij snelle ontbranding te zien, waarna ogenschijnlijk ook de pallets achter de spaanplaten weer gaan branden.

De bedoeling was om minimaal 20 minuten en eventueel langer te meten. Na 540 seconden is het experiment echter afgebroken, vanwege het bereiken van de kritische temperatuur voor meetapparatuur en experimentruimte. Het was vanwege risico op uitvallen van de meetapparatuur en beschadiging van de constructie niet verantwoord het experiment langer te laten duren. Bij de verschillende inzettechnieken is maximaal 20 minuten ingezet. Omdat de nulmeting na 9 minuten (540 seconden) is afgebroken, zijn voor de vergelijking van de resultaten alleen de metingen van het eerste ingezette voertuig (maximaal 10 minuten) gebruikt.

Tijdens de nulmeting heeft er geen blussing plaatsgevonden. De vuurhaard stond de gehele tijd in brand. De intensiteit nam met de tijd verder toe.

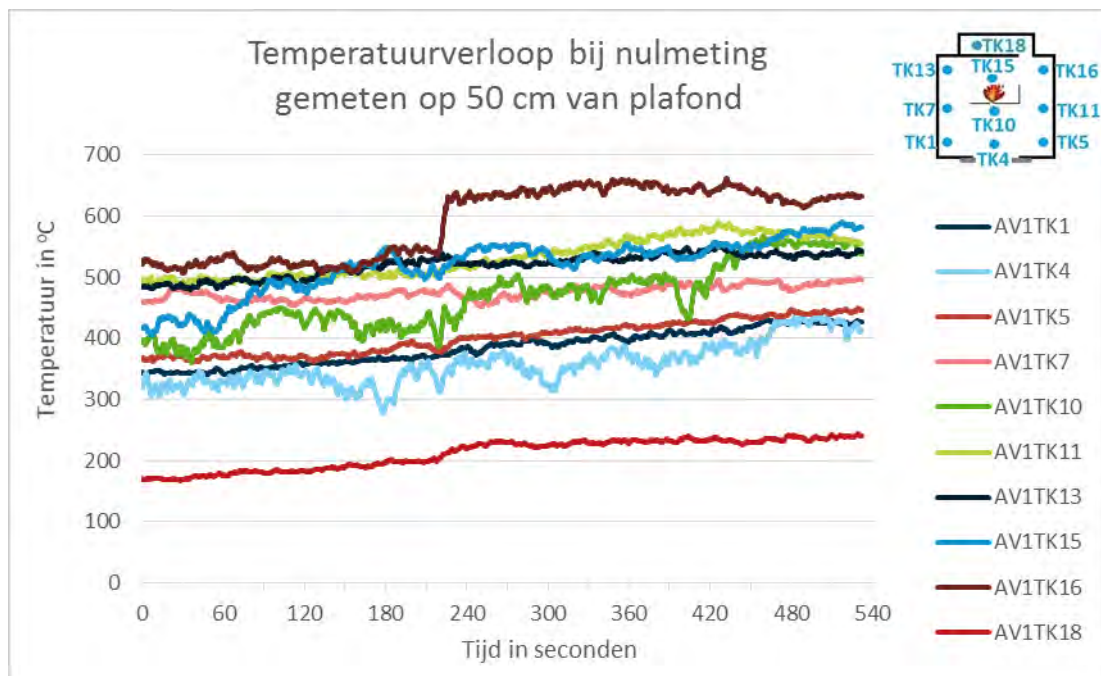
3.2.2 Temperatuurverloop



Figuur 3-1. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 15 tijdens de nulmeting

In figuur 3-1 is te zien wat er gebeurt als op het moment dat normaal de offensieve buiteninzet start, de deur gesloten blijft. Te zien is dat tijdens de nulmeting de temperatuur langzaam stijgt naar circa 600°C.

Hetzelfde beeld als in voorgaande figuur is te zien in figuur 3-2, waar alle thermokoppels zijn opgenomen. Op alle thermokoppels is een stijging van de temperatuur waargenomen. Thermokoppel 16 vertoont een iets andere verloop. Na ongeveer 210 seconden is namelijk een snelle stijging van de temperatuur zichtbaar. Vermoedelijk is hierbij materiaal in de omgeving van de thermokoppel gaan branden.



Figuur 3-2. Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond tijdens de nulmeting


Bij de nulmeting stijgt de temperatuur met een vrij lineair verloop gestaag naar circa 600°C.

3.2.3 Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-1 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase (O) of in de inzetfase (I) is. De inzetfase moet gelezen worden als de periode waarin normaal gesproken ingezet zou worden. In dit geval is er dus niet daadwerkelijk ingezet.

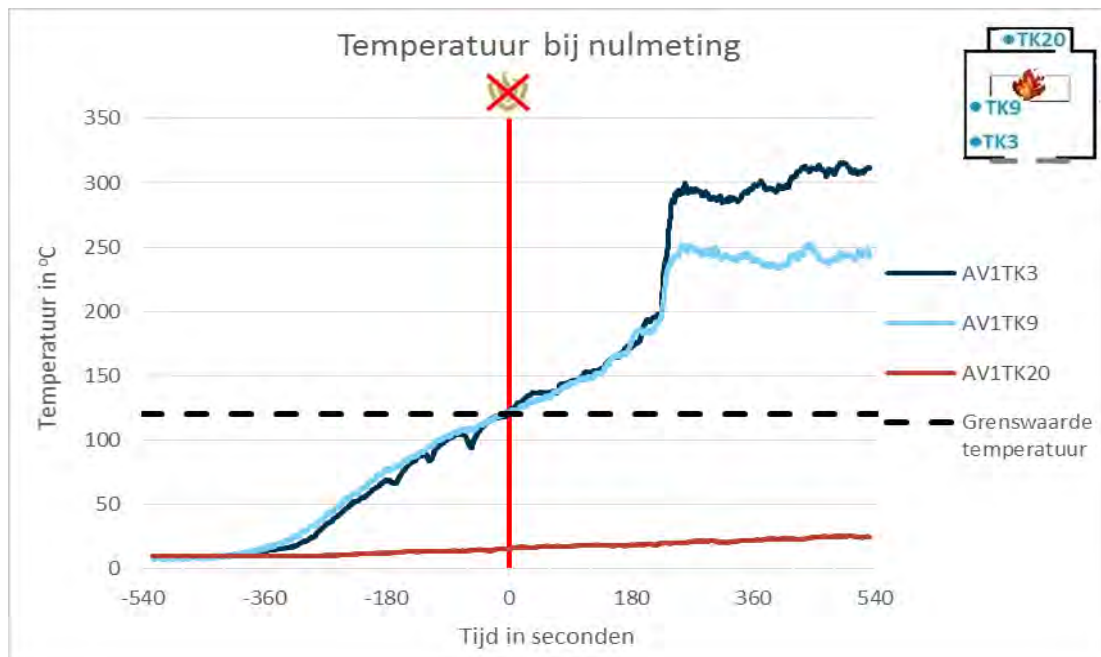
Uit de tabel blijkt dat de grenswaarden voor overleefbaarheid voor slachtoffer 3 (aangrenzend kantoor) tijdens het gehele experiment niet worden overschreden. Voor slachtoffer 1 en 2 worden de grenswaarden voor temperatuur (°C), straling en CO zowel in de opstartfase als tijdens het moment waarop normaal zou zijn ingezet overschreden. Daarnaast worden de O₂- en NO_x-grenswaarden overschreden gedurende de 'inzetfase'.

Tabel 3-1. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid tijdens nulmeting

		Temperatuur	Straling	CO	O ₂	NO _x
Slachtoffer 1	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Nee
Slachtoffer 2	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (I)
Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

Temperatuur

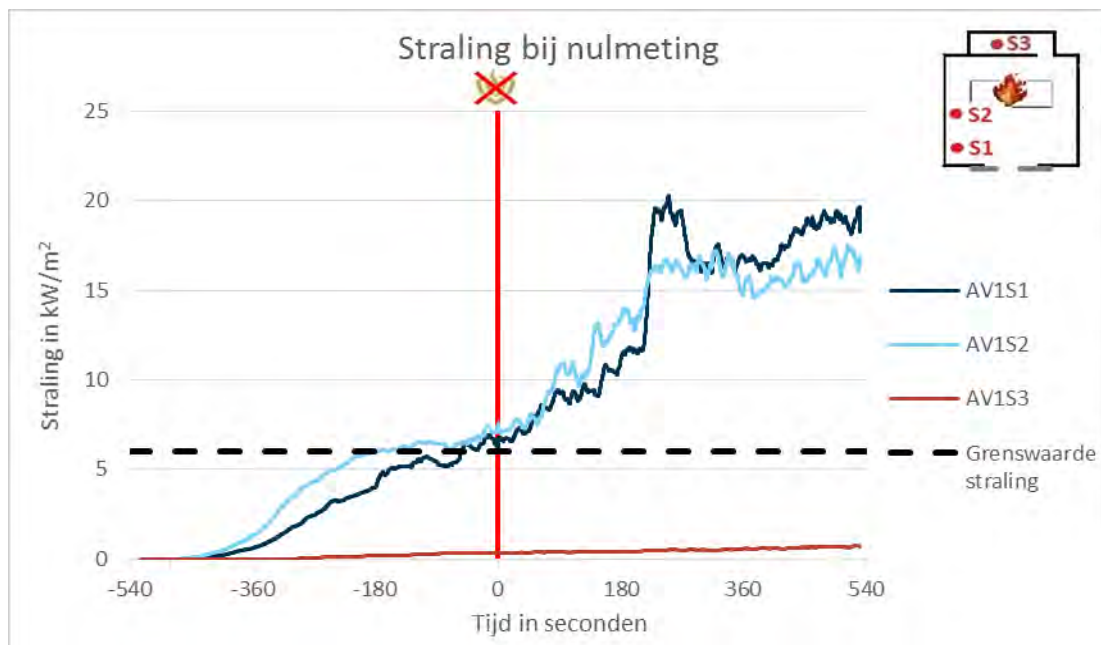
Wat betreft de temperatuur op slachtofferniveau, is in figuur 3-3 te zien dat de temperatuur al in de opstartfase de grenswaarde van 120°C heeft overschreden. Na de start van de nulmeting (verticale rode lijn) blijft de temperatuur stijgen. Na ongeveer 210 seconden is er een snelle toename zichtbaar, die ongeveer een minuut duurt. Na deze minuut vlakke de stijging af en stijgt de temperatuur nog nauwelijks. In de kantooruimte blijft de temperatuur ruim onder de grenswaarde.



Figuur 3-3. Temperatuur op slachtofferniveau tijdens de nulmeting

Straling

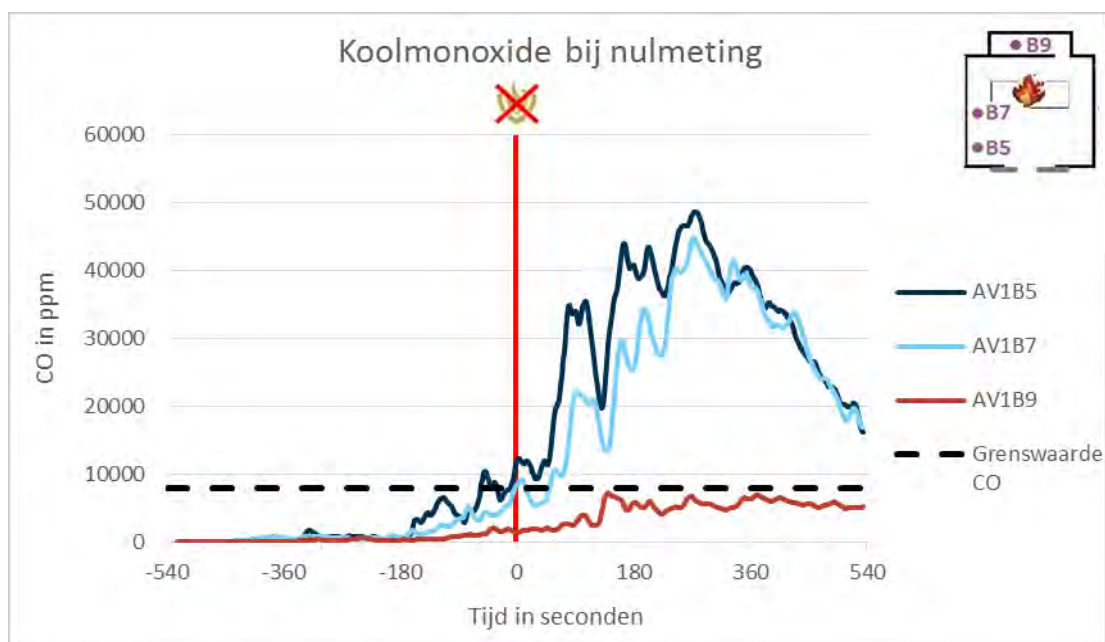
In figuur 3-4 is te zien dat het stralingsniveau hetzelfde patroon volgt als de temperatuur. De grenswaarde wordt in de opstartfase overschreden en de straling neemt alleen maar toe gedurende de nulmeting. Ook hier is na ongeveer 210 seconden een snelle stijging waargenomen die na ongeveer een minuut weer afvlakt. In de kantooruimte komt de straling niet boven 1,1 kW/m².



Figuur 3-4. Straling op slachtofferniveau tijdens de nulmeting

Koolmonoxide (CO)

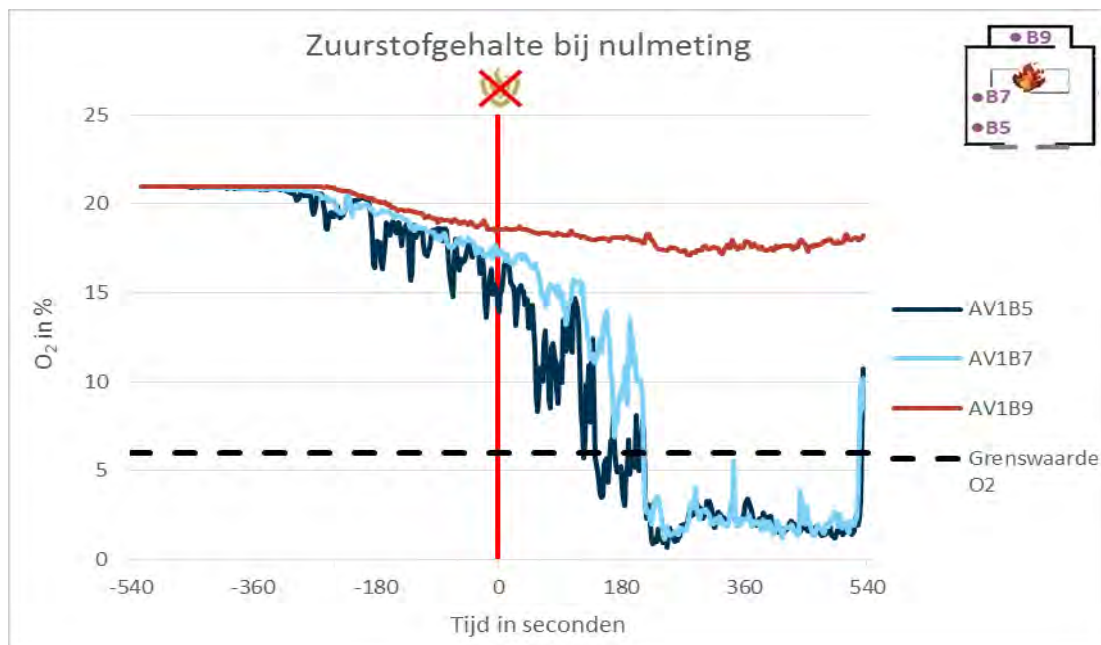
Als gekeken wordt naar het CO-gehalte in de ruimte (figuur 3-5), is te zien dat na de start van de nulmeting in de brandruimte er een lichte daling plaatsvindt gevolgd door een sterke stijging tot ruim boven de grenswaarde. Na ongeveer 300 seconden overschrijdt het CO-gehalte zijn piek met waarden boven de 40.000 ppm, waarna er een daling volgt tot ongeveer 16.000 ppm. De concentratie CO in de kantoorroimte blijft gedurende de nulmeting onder de grenswaarde.



Figuur 3-5. Concentratie CO op slachtofferniveau tijdens de nulmeting

Zuurstof (O₂)

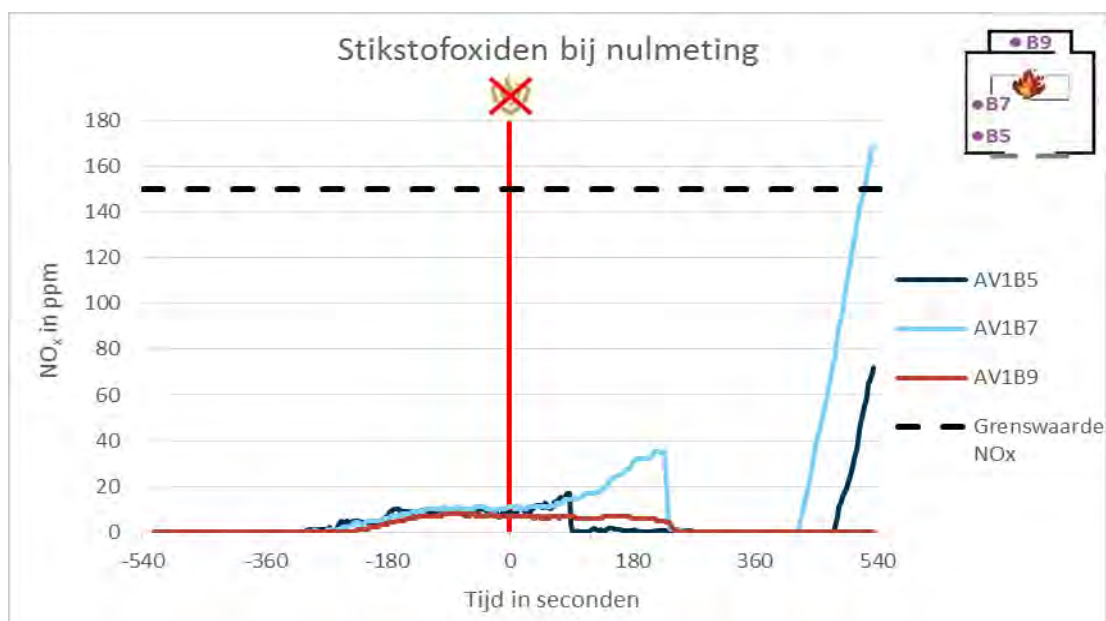
In figuur 3-6 is te zien dat op het moment dat het CO-gehalte stijgt, het O₂-percentage daalt tot circa 2%. Dat is ruim onder de grenswaarde van 6%. Door de branduitbreiding wordt O₂ verbruikt en wordt CO afgegeven door de brand als gevolg van onvolledige verbranding.



Figuur 3-6. O₂-gehalte op slachtofferniveau tijdens de nulmeting

Stikstofoxiden (NO_x)

In figuur 3-7 is te zien dat de concentratie NO_x vlak na de start van de nulmeting bij beide slachtoffers toeneemt²³. Op 2 minuten voor het einde van de nulmeting is bij slachtoffer 2 een zeer sterke stijging zichtbaar tot ruim boven de grenswaarde. Ook bij slachtoffer 1 is er een sterke stijging waarneembaar, maar dan vanaf één minuut voor het einde. Hierbij wordt de grenswaarde niet overschreden. Bij slachtoffer 3 in de kantoorruimte blijft de concentratie NO_x laag.



Figuur 3-7. Concentratie NO_x op slachtofferniveau tijdens de nulmeting

Samenvattend zijn de grenswaarden voor overleefbaarheid bij de nulmeting overschreden tijdens de inzetfase voor de slachtoffers in de brandruimte. Voor temperatuur, straling en CO was dit ook al tijdens de opstartfase het geval. In de kantoorruimte worden de grenswaarden voor overleefbaarheid niet overschreden gedurende het gehele experiment.

²³ Na ruim 200 seconden valt de apparatuur tijdelijk uit waardoor er geen lijnen zichtbaar zijn voor B5 en B7.

3.3 Coldcutter (CC)

3.3.1 Blussing

Met de warmtebeeldcamera is goed te zien wanneer het systeem wordt ingezet, omdat vanaf dat moment wervelingen te zien zijn en de weergegeven intensiteit van de vuurhaard sterk terugloopt. Ongeveer 20 seconden na start van de inzet in het eerste experiment (CC-1), zijn met de warmtebeeldcamera geen vlammen meer waar te nemen. In het tweede experiment (CC-2) zijn binnen enkele seconden de grootste vlammen neergeslagen. Hier zijn tot ongeveer 30 seconden na start van de inzet nog incidenteel kleinere vlammen te zien. Ook de reguliere camera laat bij beide inzetten een snelle knockdown van de vlammen zien. Ruim een minuut nadat met de inzet is gestart zijn met de warmtebeeldcamera alleen nog een paar kleine gloeibrands in het onderste deel van de stapel te zien, die gedurende de inzet zichtbaar blijven. In beide experimenten blijft de brand beperkt tot enkele gloeiende delen aan de onderkant van de vuurhaard.

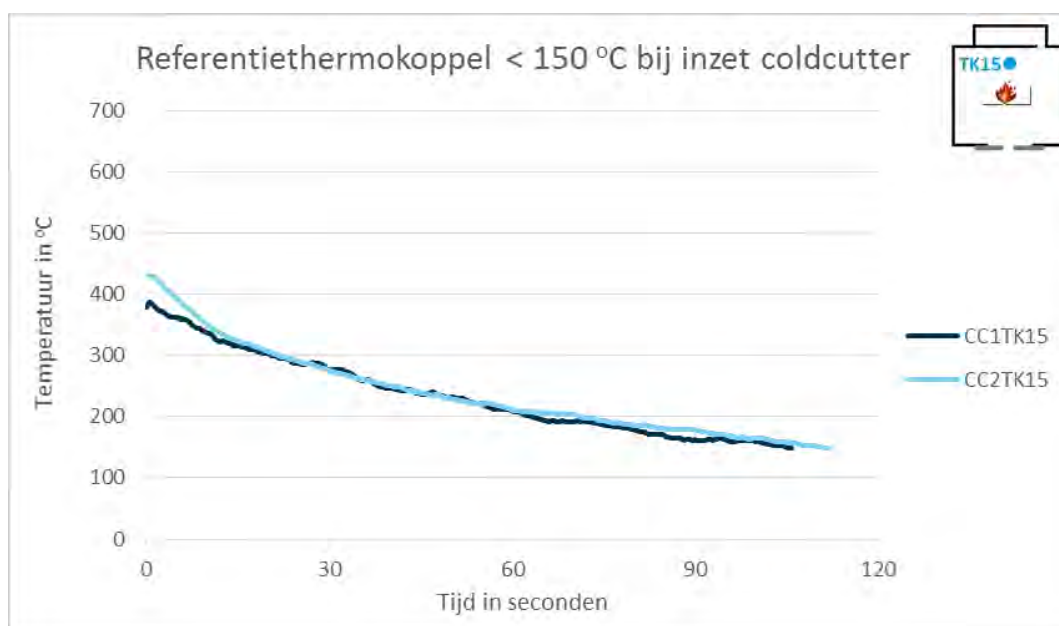
Tabel 3-2. Overzicht van effect CC op blussing vuurhaard

Knockdown vlammen		Knockdown blijft in stand gedurende de inzet		Gloeistadium na knockdown	
CC-1	CC-2	CC-1	CC-2	CC-1	CC-2
±20 sec.	±30 sec.	Ja	Ja	Ja	Ja

De CC is in de onderzochte omstandigheden in staat een snelle en blijvende knockdown te creëren. Er is tijdens de inzetfase geen herontsteking van de vuurhaard. Wel bleef er bij beide experimenten een brand in het gloeistadium achter.

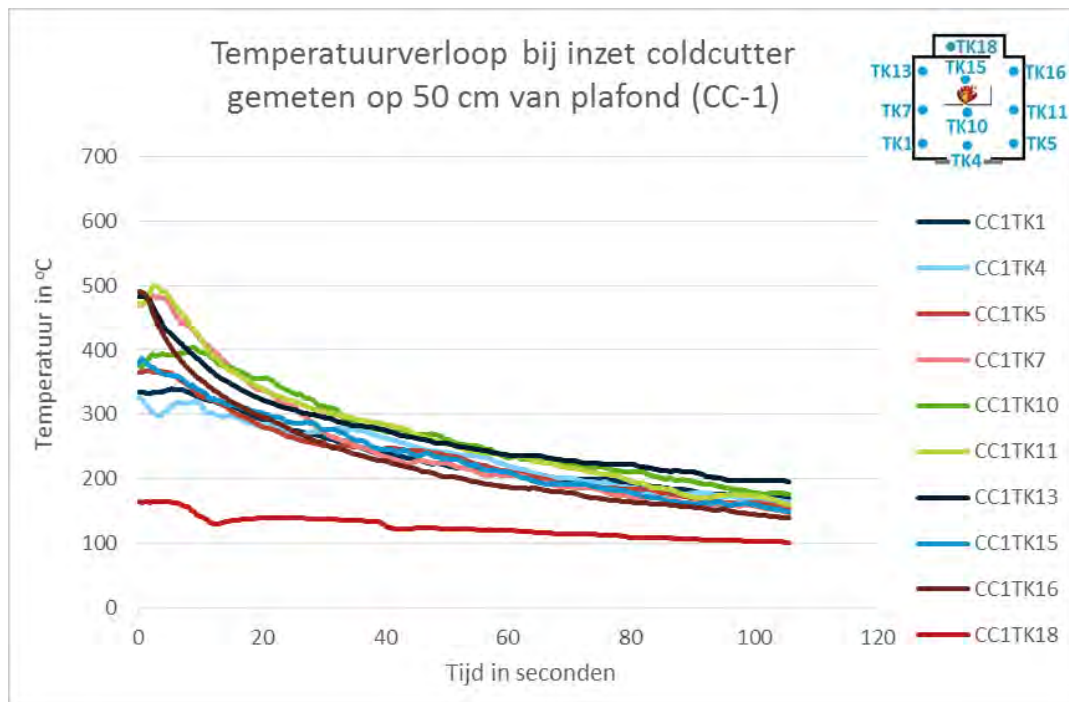
3.3.2 Koeling

Als de koeling van de rookgassen op referentiethermokoppel 15 wordt onderzocht, dan blijkt dat de CC bij de eerste inzet (CC-1) na 106 seconden en bij de tweede inzet (CC-2) na 112 seconden de temperatuur in de brandruimte onder de grens van 150°C bracht. Zie ook figuur 3-8.



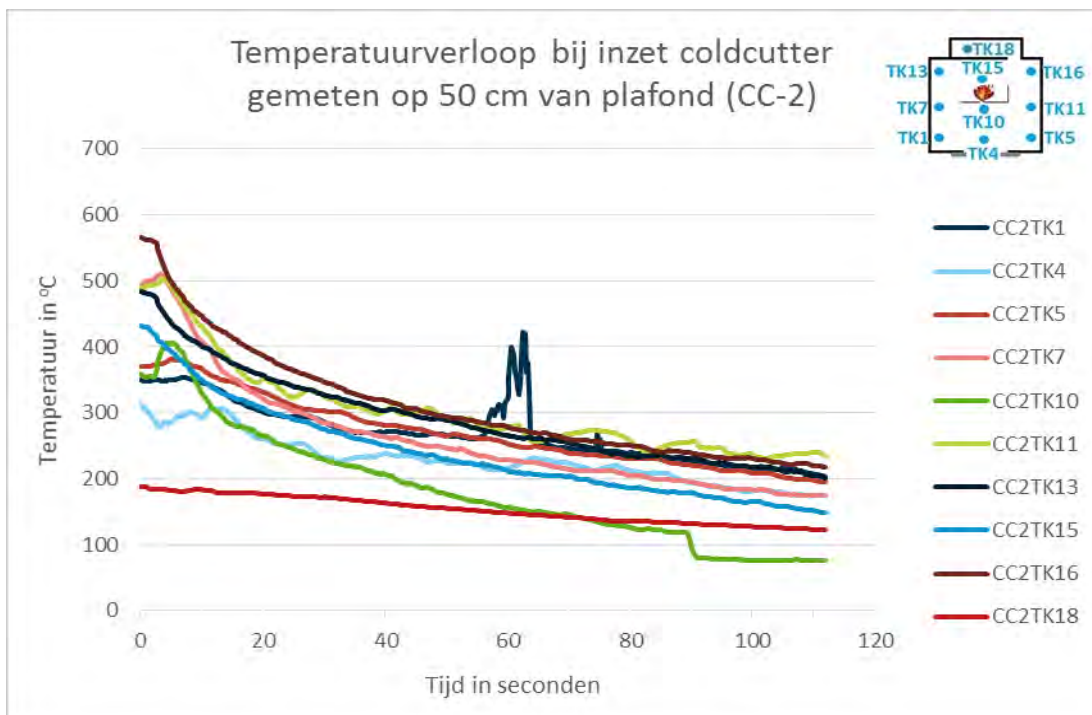
Figuur 3-8. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 15 bij inzet CC

Vervolgens is gekeken naar het temperatuurverloop in de gehele ruimte. Tijdens experiment CC-1 (figuur 3-9) is op alle thermokoppels een daling van de temperatuur te zien bij de inzet met de CC. Uiteindelijk komt de temperatuur overal onder de 200°C.



Figuur 3-9. Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond bij inzet CC (CC-1)

Bij het tweede experiment met de CC is te zien dat de temperatuur op de verschillende thermokoppels wat meer uit elkaar ligt. Over het algemeen is overal een dalende lijn zichtbaar, waarbij het verloop op TK1 en TK10 licht afwijkt van de rest. De temperatuur daalt sterker op TK10. Dit komt wellicht doordat thermokoppel 10 in het verlengde hangt van de inzetrichting van de CC. Thermokoppel 1 meet rond de 60 seconden een snelle, maar korte stijging van de temperatuur die bij geen andere inzet voorkomt. Het is mogelijk dat er brandend deeltjes van bijvoorbeeld het plafond (afgebladderd verf) de stijging hebben veroorzaakt. Zie figuur 3-10.



Figuur 3-10. Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond bij inzet CC (CC-2)

De CC is in staat binnen 2 minuten de temperatuur in de brandruimte onder de 150°C te brengen.

3.3.3 Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In onderstaande tabel is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid voor de drie slachtoffers in het gebouw zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase (O) of in de inzetfase (I) heeft plaatsgevonden.

Tabel 3-3. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid bij inzet CC

		Temperatuur		Straling		CO		O ₂		NO _x	
		CC-1	CC-2	CC-1	CC-2	CC-1	CC-2	CC-1	CC-2	CC-1	CC-2
Slachtoffer 1	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	²⁴	₂₇	₂₇	₂₇	₂₇	₂₇
Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O)	Nee	Nee	Nee	Nee

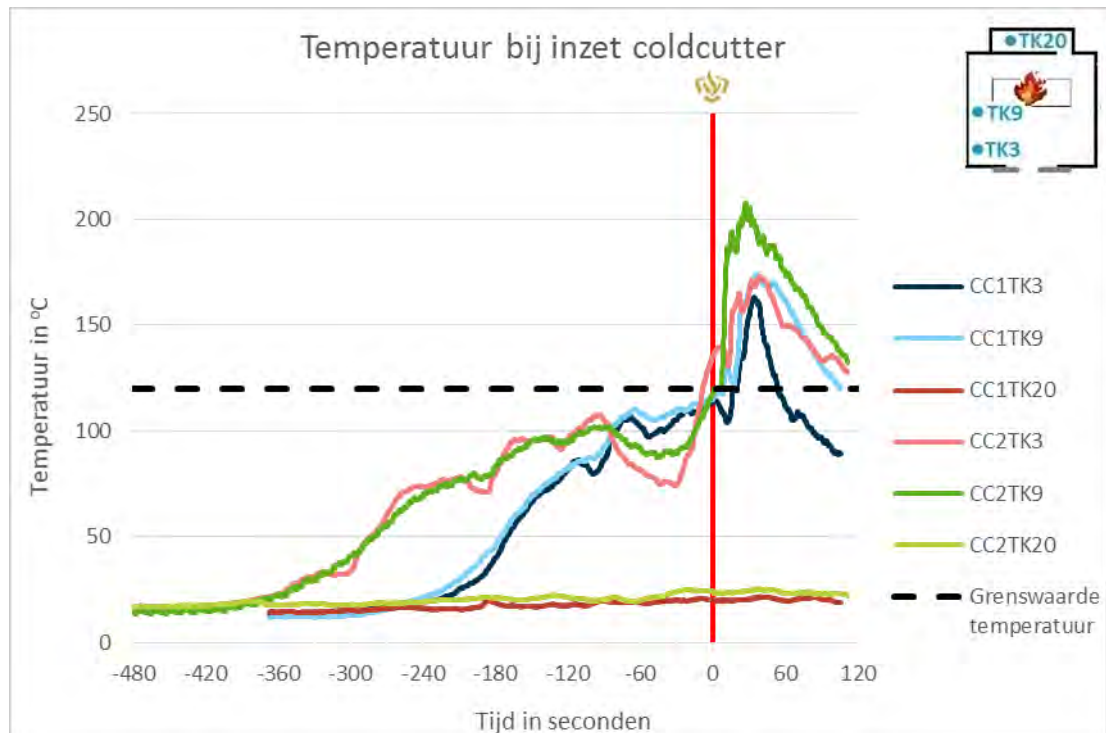
²⁴ Vanwege een fout in de meting bij de betreffende meetapparatuur zijn deze waarden niet bekend.

De grenswaarden voor O₂ en NO_x worden bij geen van de slachtoffers overschreden. Deze gegevens zijn daarom opgenomen in bijlage F.

De temperatuur-, straling- en CO-grenswaarden worden voor de twee slachtoffers in de brandruimte overschreden. Bij slachtoffer 3 wordt tijdens CC-2 de grenswaarde voor CO overschreden in de opstartfase.

Temperatuur

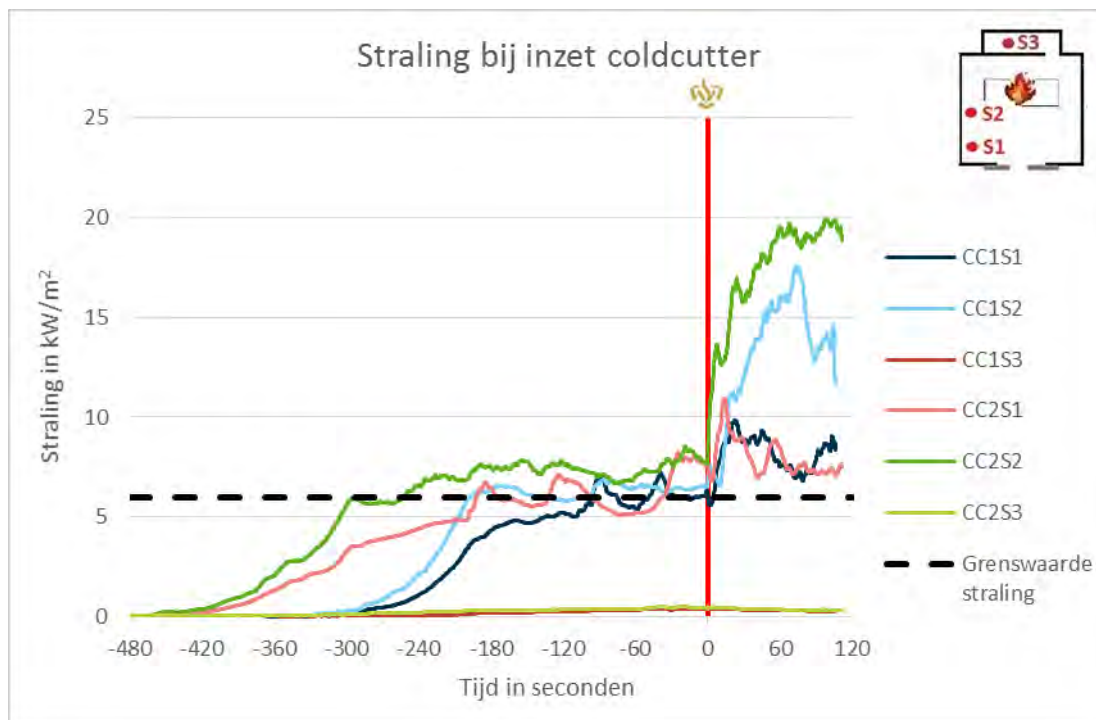
Voorafgaand aan de inzet is al een stijging van de temperatuur te zien op slachtofferniveau (figuur 3-11). Het is duidelijk te zien dat deze stijging vanaf de inzet sterk toeneemt. Ongeveer 30 seconden na de start van de inzet piekt de temperatuur bij de eerste inzet (CC-1) op ongeveer 170°C en bij de tweede inzet (CC-2) rond de 200°C. Dat is een forse overschrijding van de grenswaarde.



Figuur 3-11. Temperatuur op slachtofferniveau tijdens inzet CC

Straling

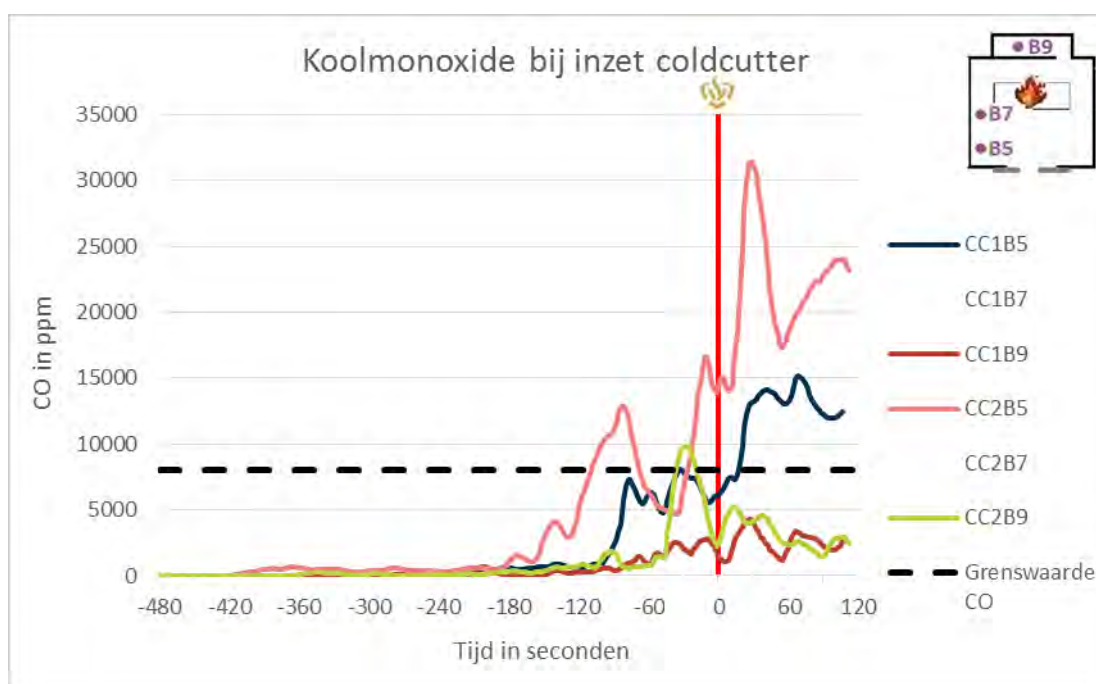
Bij straling is hetzelfde beeld te zien als bij temperatuur. De straling neemt toe vanaf het moment van inzet bij beide experimenten, tot boven de grenswaarde (zie figuur 3-12). Met name bij het tweede slachtoffer, het dichtst bij de vuurhaard, is een aanzienlijke overschrijding van de grenswaarde waargenomen tot rond 20 kW/m². Bij slachtoffer 3 blijft de straling ruim onder de grenswaarde.



Figuur 3-12. Straling op slachtofferniveau bij inzet CC

Koolmonoxide (CO)

Bij CO is ook een stijging te zien vanaf het moment van inzet, maar ook al voorafgaand aan de inzet als gevolg van het ventilatiegecontroleerd raken van de brand (figuur 3-13). De toename tijdens de inzet kan mogelijk verklaard worden, doordat enerzijds de brand wordt beïnvloed waardoor onvolledige verbranding ontstaat en anderzijds mogelijk door de werveling veroorzaakt door de inzet van de CC, waardoor rookgassen aan het plafond naar beneden worden verplaatst. Vanwege een fout in de meetapparatuur van bus 7, zijn er voor die locatie (B7) geen correcte meetgegevens beschikbaar. Daarom ontbreken voor deze locatie de grafieken in onderstaande figuur.



Figuur 3-13. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet CC

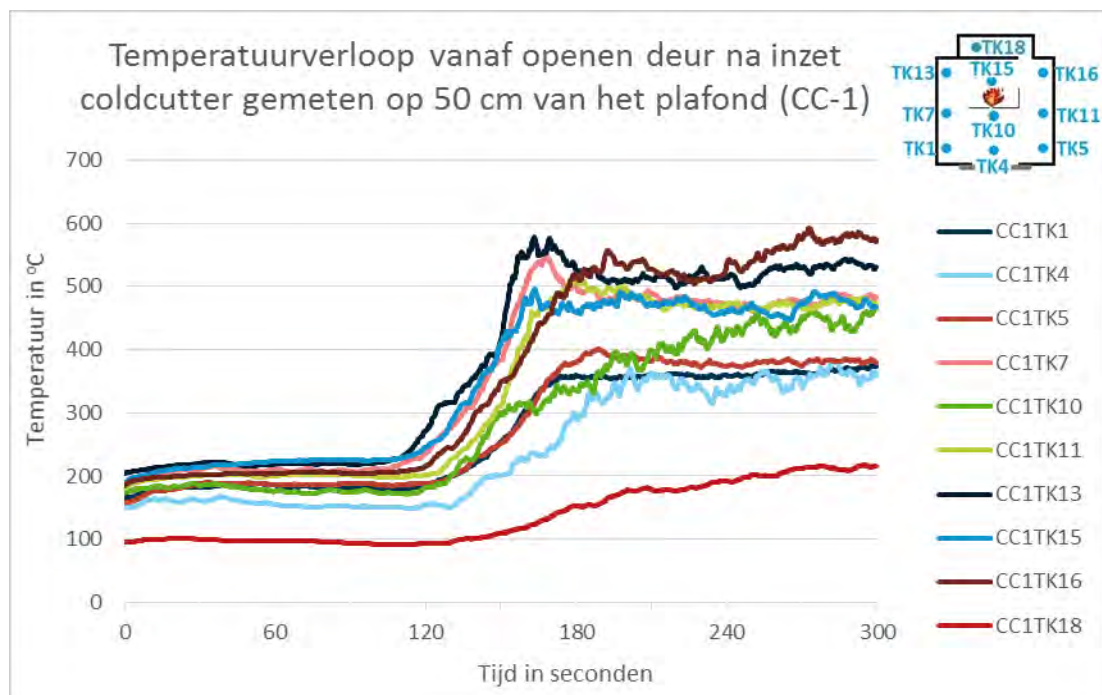
Wat betreft overleefbaarheid kan geconcludeerd worden dat bij inzet met de CC in deze opzet de grenswaarden voor straling, CO en temperatuur voor de slachtoffers in de brandruimte overschreden worden. De sterke toename van temperatuur en straling lijkt samen te hangen met de start van de inzet. Tijdens de inzet wordt geen enkele grenswaarde voor het slachtoffer in de kantoorruimte overschreden.

3.3.4 Effect na inzet

Er is onderzoek gedaan naar het effect van het stoppen van de offensieve buiteninzet en het openen van een deur voor de offensieve binneninzet. Op de beelden van de warmtebeeldcamera waren aan het einde van de eerste inzet (CC-1) nog een paar hotspots onder in de stapel pallets te zien. Na afloop van de inzet begint de stapel hierdoor steeds verder op te warmen en na iets meer dan 1,5 minuut zijn de eerste vlammen weer zichtbaar. Na 3 minuten en 35 seconden vindt er uitbreiding plaats richting de spaanplaten tegen de muur. Deze gaan uitgassen en vervolgens deelnemen aan de verbranding. Uiteindelijk brandt de vuurhaard weer volledig.

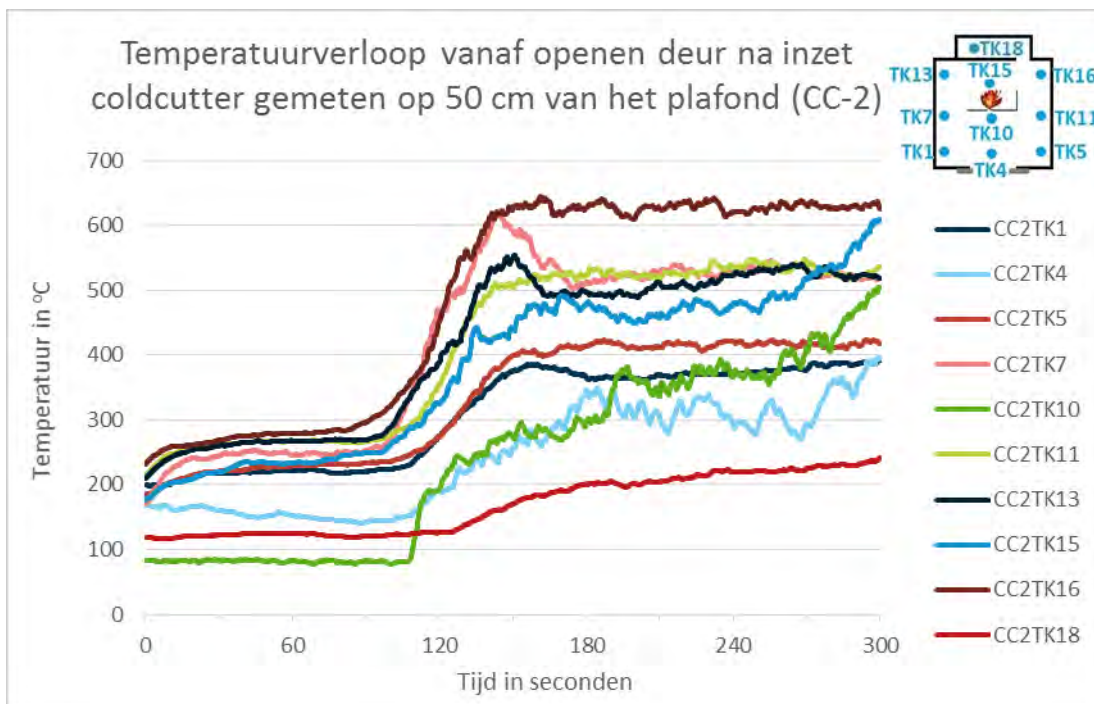
Ook in het tweede experiment (CC-2) zorgen resterende hotspots voor een herontsteking van de vuurhaard. Nu zijn ongeveer 1,5 minuut na het einde van de inzet weer kleine vlammen zichtbaar en warmt de vuurhaard zich steeds sneller op. Vergelijkbaar met het eerste experiment beginnen bij CC-2 na 3 minuten en 30 seconden de spaanplaten weer uit te gassen en kort daaropvolgend te ontbranden.

In figuur 3-14 is het verloop van de temperatuur te zien na het openen van de deur bij experiment CC-1. De temperatuur blijft in eerste instantie redelijk stabiel rond de 200°C. Maar na ongeveer 120 seconden na het openen van de deur, loopt de temperatuur weer snel op. Op de warmtebeelden is te zien dat er dan een herontsteking is, vlak voor het oplopen van de temperatuur, waarbij na de herontsteking de brand vrij snel volledig tot ontwikkeling komt.



Figuur 3-14. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet CC (CC-1)

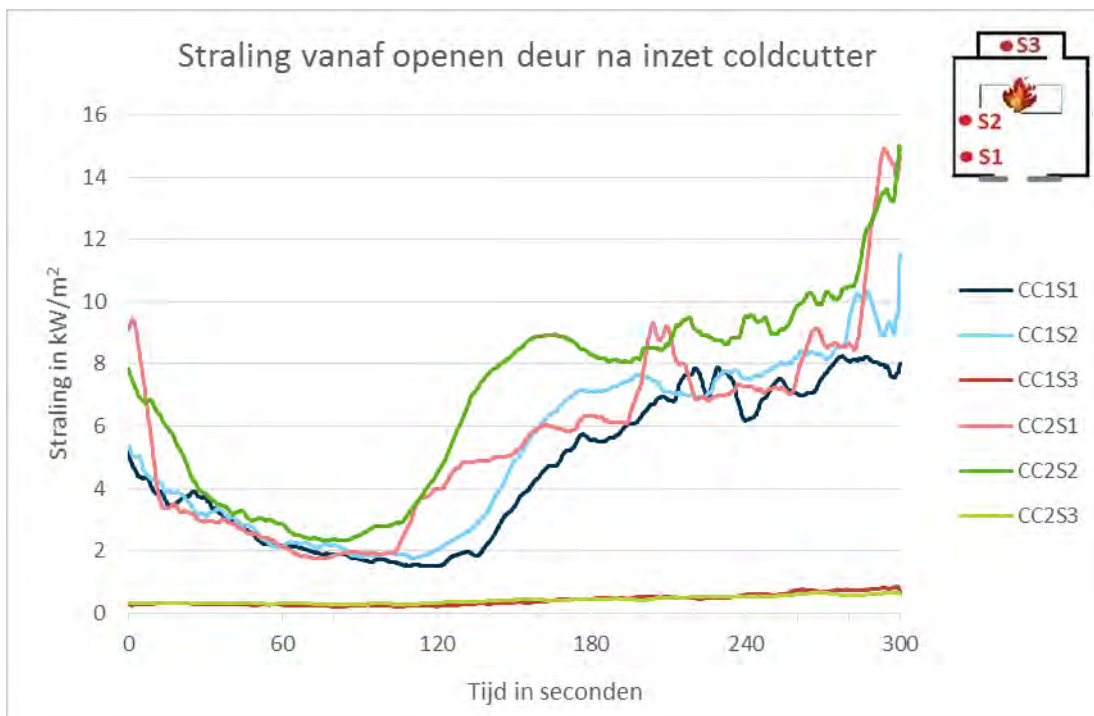
Een vergelijkbaar beeld is te zien bij CC-2. Wel start de temperatuurstijging (en de heroplaaiing) wat eerder, namelijk ongeveer 90 seconden na het openen van de deur. Op de warmtebeelden is te zien dat resterende hotspots zorgen voor herontsteking van de vuurhaard. Zie figuur 3-15.



Figuur 3-15. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet CC (CC-2)

Door het openen van de deur neemt de straling in eerste instantie af, zie figuur 3-16. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door het 'stijgen' van de rookgaslaag, waardoor de waarden op slachtofferniveau afnemen.

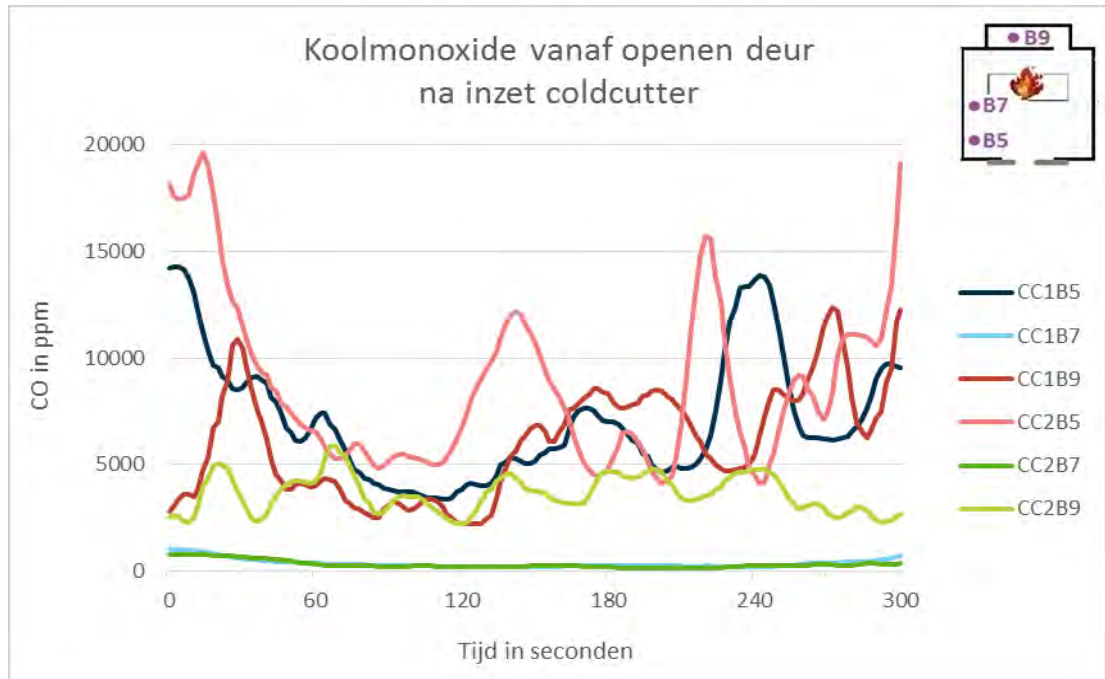
Zodra de herontsteking plaatsvindt, neemt ook de straling weer toe. De straling bij CC-2 neemt toe tot circa 15 kW/m², wat ruim boven de grens is wat brandweermensen in beschermende kleding aan kunnen (circa 8 kW/m²).



Figuur 3-16. Straling vanaf openen deur na inzet CC

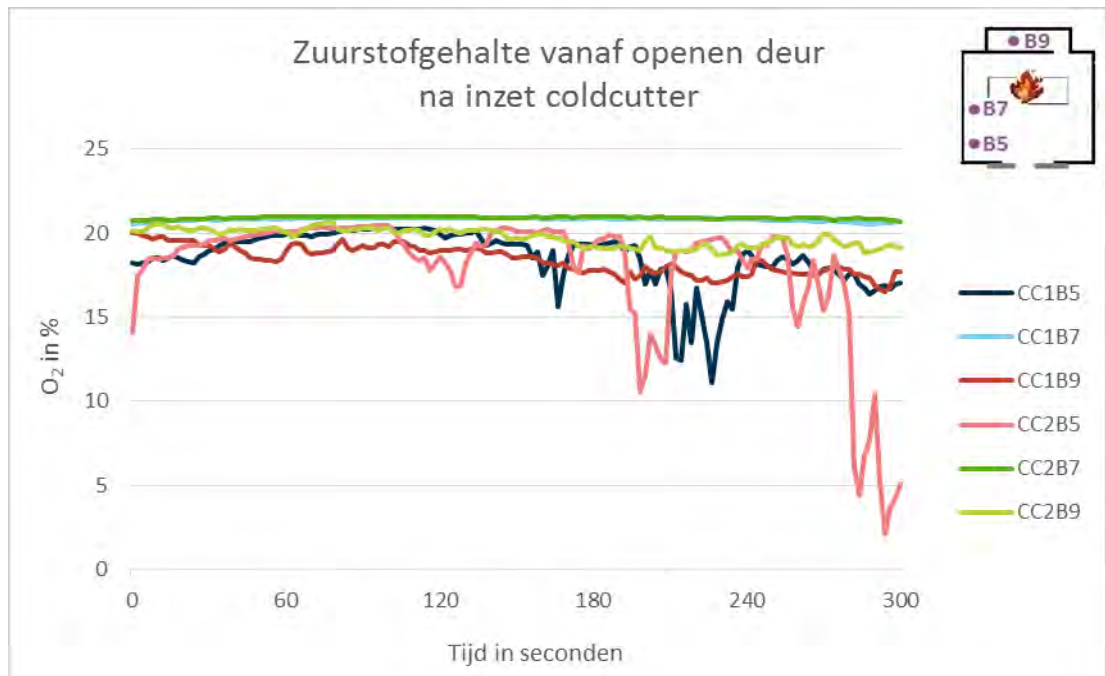
Vlak na het openen van de deur neemt het CO-gehalte sterk af, te zien in figuur 3-17. Ook hier is het effect van de herontsteking van de vuurhaard te zien. Er is een duidelijke toename

zichtbaar van het CO-gehalte na ongeveer 120 seconden. Vanaf dat moment gaan de waarden fluctueren.



Figuur 3-17. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet CC

Het O₂-gehalte neemt na het openen van de deur toe tot rond de 20%. Vanaf het moment dat de herontsteking van de vuurhaard plaatsvindt, zakt het percentage O₂ bij slachtoffer 1. Na circa 300 seconden is een snelle afname van het O₂-gehalte zichtbaar tot onder de grenswaarde van 6% bij slachtoffer 1 tijdens CC-2. Zie figuur 3-18.



Figuur 3-18. O₂-gehalte vanaf openen deur na inzet CC

Na de inzet met de CC en het openen van de deur, is er 90 tot 120 seconden de tijd voordat het vuur weer opblaait. Wel stijgt de temperatuur daarna snel naar circa 600°C. Met het opblaaien van het vuur neemt ook de straling toe en het O₂-percentage af in de brandruimte.

3.4 Nevelkogel (NK)

3.4.1 Blussing

Bij het eerste experiment (NK-1) is er op de beelden van de warmtebeeldcamera een knockdown van de vlammen te zien na ongeveer 25 seconden. In het tweede experiment (NK-2) laat de warmtebeeldcamera zien dat ongeveer 40 seconden na inzet van de NK de vlammen zijn neergeslagen. Er blijft wel een behoorlijk aantal gloeibranden zichtbaar, die zich niet alleen onderin de stapel concentreren maar ook meer in het midden van de stapel zichtbaar zijn. Met de reguliere camera zijn bij het eerste experiment (NK-1) een kleine 3 minuten na start van de inzet weer kleine vlammen te zien. In de daaropvolgende minuten groeit de vuurhaard verder. Een groot gedeelte van de stapel begint nog tijdens de inzet weer te branden. In het tweede experiment (NK-2) is te zien dat na ruim 6 minuten na start van de inzet, de brand weer oplaait.

Omdat bij beide experimenten na 10 minuten niet het eindcriterium is behaald (temperatuur < 150°C), is er op dat tijdstip een tweede NK ingezet. Er is geen effect op de brandhaard zichtbaar, wanneer de tweede NK wordt ingezet. Tot aan het einde van de inzet blijven er vlammen zichtbaar.

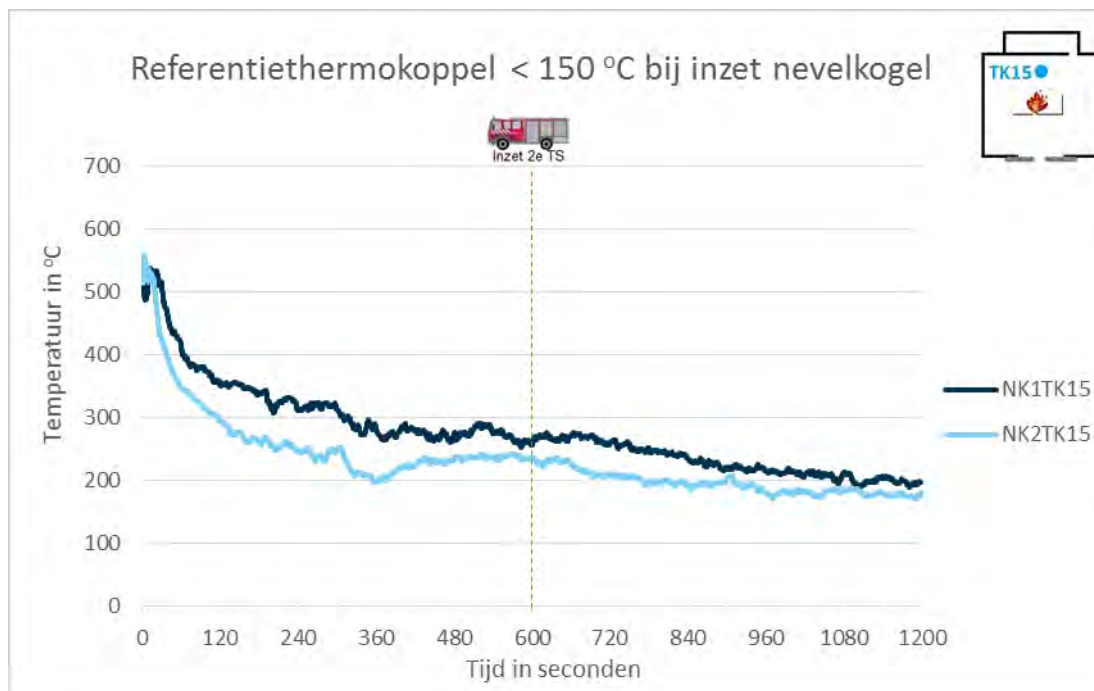
Tabel 3-4. Overzicht van effect NK op blussing vuurhaard

Knockdown vlammen		Knockdown blijft in stand gedurende de inzet		Gloeistadium na knockdown	
NK-1	NK-2	NK-1	NK-2	NK-1	NK-2
±25 sec.	±40 sec.	Ja	Ja	n.v.t.	n.v.t.

De NK geeft in deze omstandigheden in eerste instantie een knockdown. Er blijft echter een behoorlijke hoeveelheid materiaal gloeien. In beide experimenten laaien nog tijdens de eerste inzetfase van 10 minuten de branden weer op en zijn er weer vlammen zichtbaar.

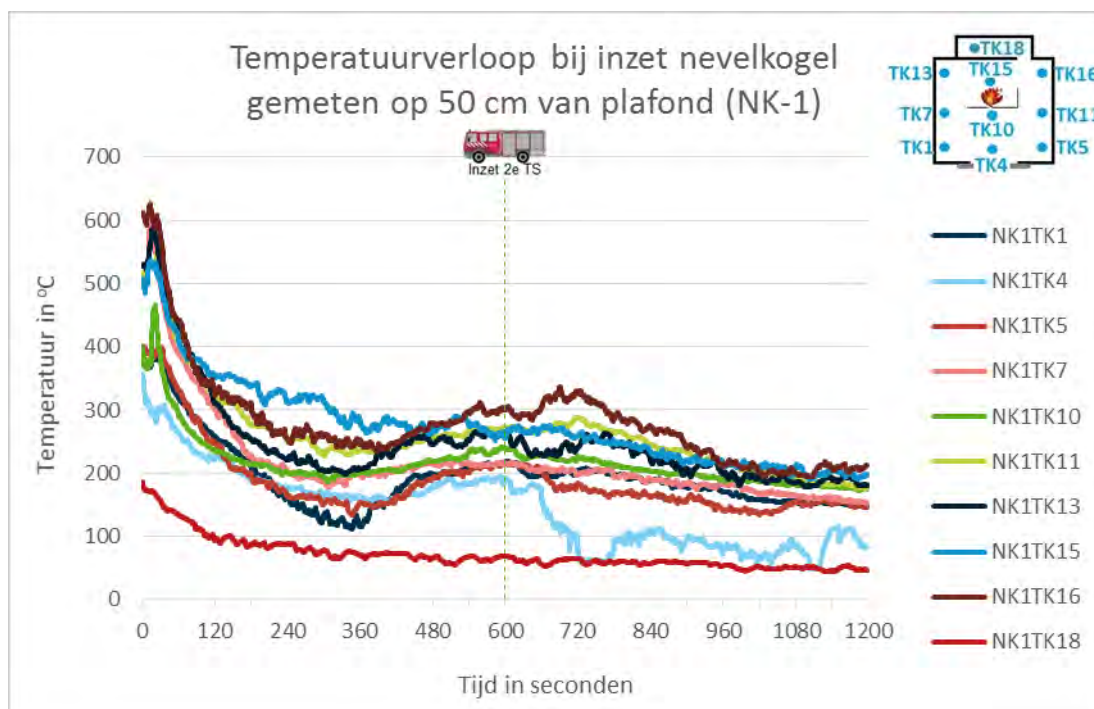
3.4.2 Koeling

Als gekeken wordt naar de koeling van de rookgassen op referentiethermokoppel 15, dan blijkt dat de temperatuur bij de inzet met NK in eerste instantie redelijk snel daalt tot ongeveer 200-300°C. Daarna blijft de temperatuur licht dalen, maar de NK krijgt de temperatuur niet binnen 600 seconden onder de 150°C. Daarom zijn er bij beide experimenten na 600 seconden een extra NK ingezet. Maar ook met de inzet van een extra NK lukt het niet om de temperatuur onder de 150°C te brengen (zie figuur 3-19).



Figuur 3-19. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 15 bij inzet NK

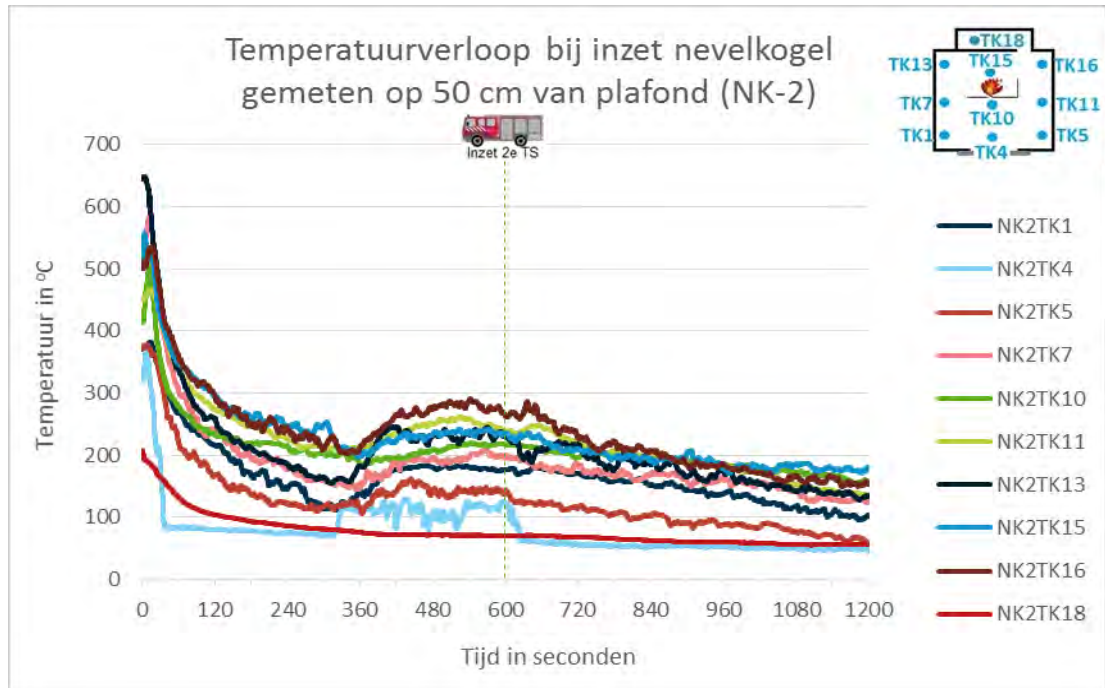
Vervolgens is gekeken naar het temperatuurverloop in de gehele ruimte. Tijdens experiment NK-1 (figuur 3-20) is op alle thermokoppels een daling van de temperatuur te zien. Tot ongeveer 360 seconden is er een daling zichtbaar, waarna de temperatuur weer stijgt. Op het moment dat de extra NK wordt ingezet na 600 seconden, is er wederom een daling zichtbaar.



Figuur 3-20. Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond bij inzet NK (NK-1)

Ook bij het tweede experiment (NK-2) is een snelle daling van de temperatuur te zien in de eerste 120 seconden. Uitschieter hierbij is thermokoppel 4. Deze lijkt geraakt te zijn door het water, waardoor een snelle daling te zien is die na ongeveer 30 seconden afvlakt en daarna stabiel blijft. Na ruim 300 seconden is ook bij deze inzet een stijging van de temperatuur

zichtbaar. Als na 600 seconden een extra NK wordt ingezet, is er een daling te zien. Dit is weergegeven in figuur 3-21.



Figuur 3-21. Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond bij inzet NK (NK-2)

De NK is niet in staat om binnen 10 minuten de temperatuur onder de 150°C te brengen. Dit lukt ook niet in de daaropvolgende 10 minuten wanneer er twee NK's tegelijk worden ingezet.

3.4.3 Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-5 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase (O) of in de inzetfase (I) is gebeurd.

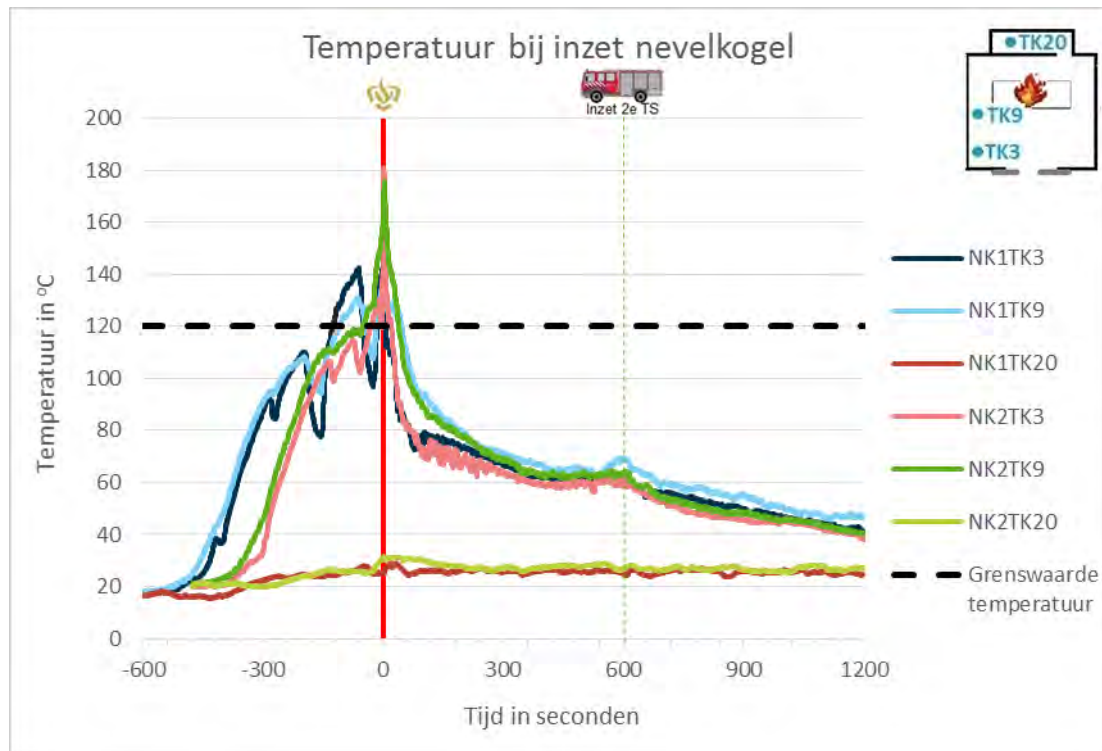
Tabel 3-5. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid bij inzet NK

		Temperatuur		Straling		CO		O ₂		NO _x	
		NK-1	NK-2	NK-1	NK-2	NK-1	NK-2	NK-1	NK-2	NK-1	NK-2
Slachtoffer 1	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (O)	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

Bij slachtoffer 1 en 2 worden de grenswaarden voor temperatuur, straling en CO overschreden, zowel in de opstart- als de inzetfase. De grenswaarden voor O₂ en NO_x worden niet overschreden. Behalve bij NK-2, hier wordt de grenswaarde van O₂ overschreden in de opstartfase. Bij slachtoffer 3 worden de grenswaarden voor overleefbaarheid niet overschreden.

Temperatuur

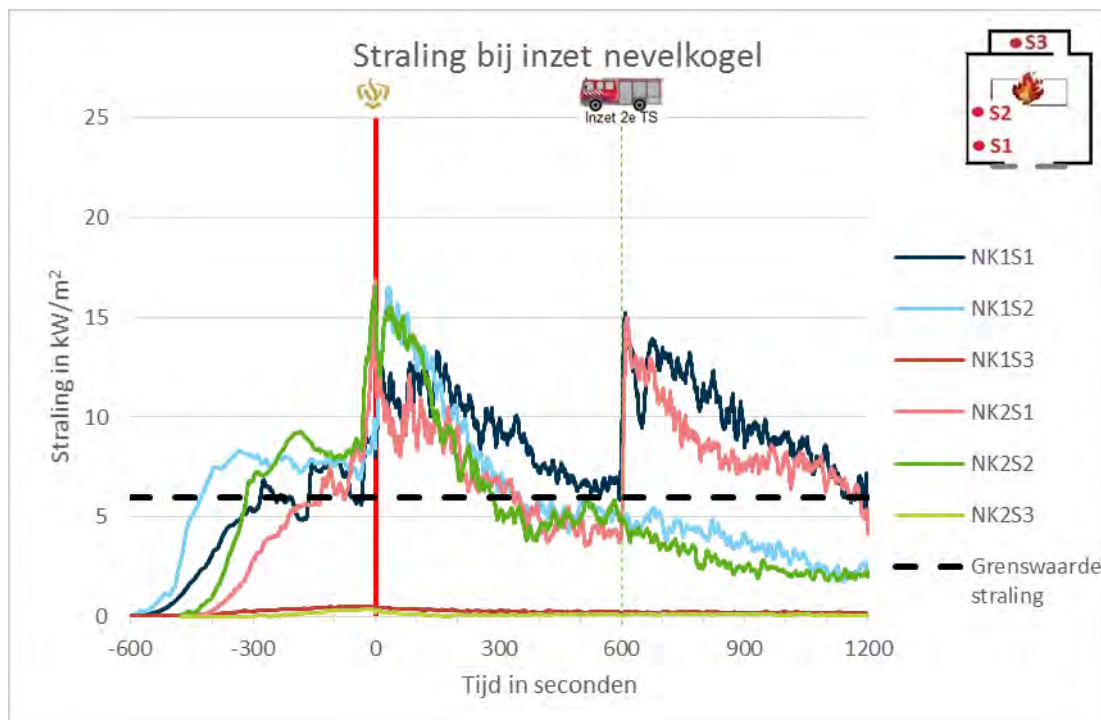
De grenswaarde voor temperatuur wordt tijdens beide experimenten in de opstartfase al overschreden. Op het moment dat er wordt ingezet met de NK, daalt de temperatuur tot ruim onder de grenswaarde van 120°C. In de kantoormuimte blijft de temperatuur laag, met een maximum van 32°C. Dit is weergegeven in figuur 3-22.



Figuur 3-22. Temperatuur op slachtofferniveau tijdens inzet NK

Straling

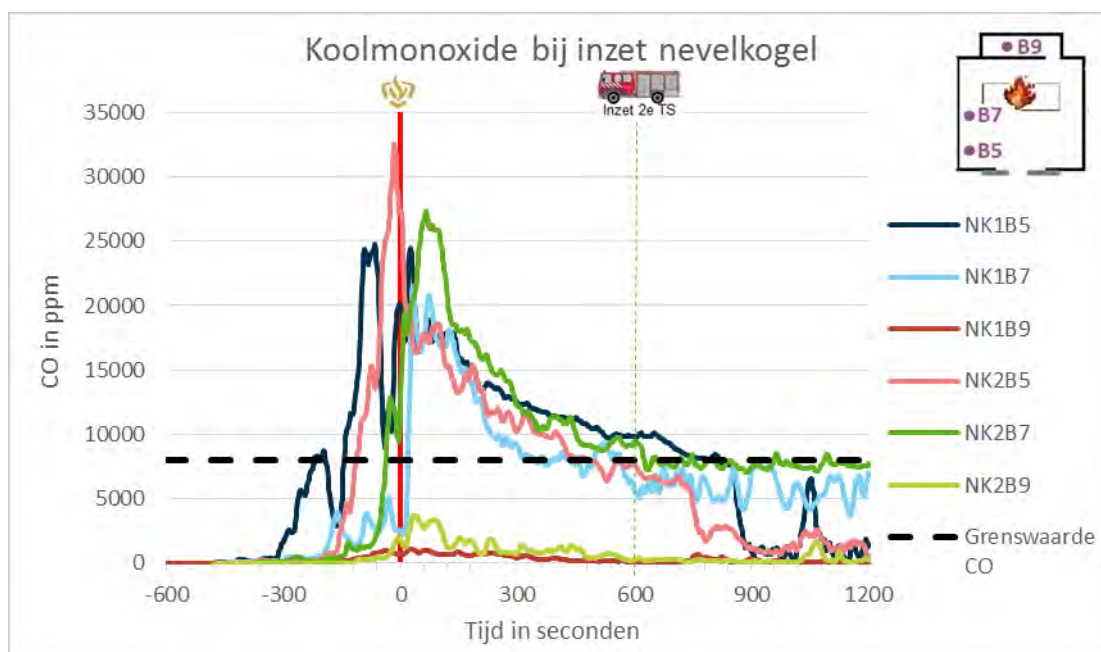
Ook de straling heeft tijdens beide experimenten in de opstartfase de grenswaarde al overschreden, zie figuur 3-23. Na de start van de inzet is er een duidelijke toename in straling zichtbaar, die geleidelijk weer afneemt tot rond de grenswaarde. Bij slachtoffer 2 blijft de straling afnemen, terwijl bij slachtoffer 1 tijdens beide experimenten na 600 seconden opnieuw een forse stijging zichtbaar is. Deze stijging is zeer waarschijnlijk het gevolg van de inzet van de extra NK. Bij slachtoffer 3 in de kantoormuimte blijft de gemeten straling ruim onder de grenswaarde.



Figuur 3-23. Straling op slachtofferniveau tijdens inzet NK

Koolmonoxide (CO)

Voorafgaand aan de inzet is een stijging van de concentratie CO te zien tot ruim boven de grenswaarde, als gevolg van het ventilatiegecontroleerd raken van de brand (figuur 3-24). Ook na de start van de inzet met de NK blijft de concentratie in eerste instantie hoog. Na ongeveer 780 seconden zakt de concentratie CO onder de grenswaarde van 8000 ppm.



Figuur 3-24. Concentratie CO op slachtofferniveau tijdens inzet NK

Bij inzet met een NK in deze omstandigheden worden de grenswaarden voor temperatuur, straling en CO in de brandruimte overschreden. Met name de straling neemt sterk toe tijdens de inzetfase en lijkt het direct gevolg te zijn van de inzet van de NK. In de kantoorruimte worden de grenswaarden voor overleefbaarheid het gehele experiment niet overschreden.

3.4.4 Effect na inzet

Bij beide inzetten met de NK is het niet gelukt om de rookgassen in de brandruimte dusdanig te koelen dat er een offensieve binneninzet mogelijk is. Daarom zijn hier geen resultaten opgenomen. Hoewel het criterium van 150°C niet is bereikt, is de loopdeur aan de zijkant van het pand nog wel 5 minuten geopend om het effect op de brand- en rookontwikkeling en parameters voor overleefbaarheid te monitoren. De resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlage E.

3.5 Fognails (FN)

3.5.1 Blussing

Na de start van het experiment is te zien dat de vuurhaard in intensiteit terugloopt. Na 25 (FN-2) of 45 (FN-1) seconden zijn de meeste vlammen neergeslagen²⁵. De knockdown is echter niet van blijvende aard. Nog tijdens de experimenten worden na circa 3 minuten weer kleine vlammen zichtbaar. Deze vlammen groeien binnen 1 minuut weer uit tot een behoorlijke vuurhaard. Tijdens beide experimenten wordt 10 minuten na start van de inzet een derde en vierde FN ingezet. Beide keren is op de warmtebeeldcamera geen effect van de twee extra FN zichtbaar.

Tabel 3-6. Overzicht van effect FN op blussing vuurhaard

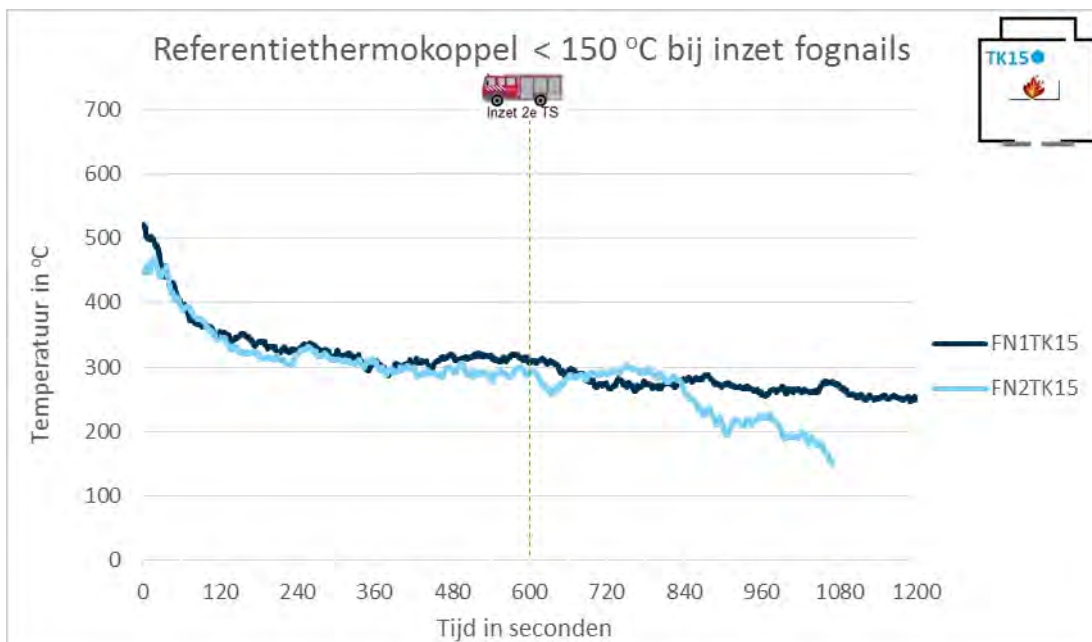
Knockdown vlammen		Knockdown blijft in stand gedurende de inzet		Gloeistadium na knockdown	
FN-1	FN-2	FN-1	FN-2	FN-1	FN-2
±45 sec.	±25 sec.	Nee	Nee	Ja	Ja

De FN zijn onder de onderzochte omstandigheden in staat om in eerste instantie de vlammen van de vuurhaard neer te slaan. Wel blijven er enkele kleine vlammen zichtbaar. Nog gedurende de inzet neemt de vuurhaard weer toe tot volledige ontbranding tijdens de inzetfase van de FN.

3.5.2 Koeling

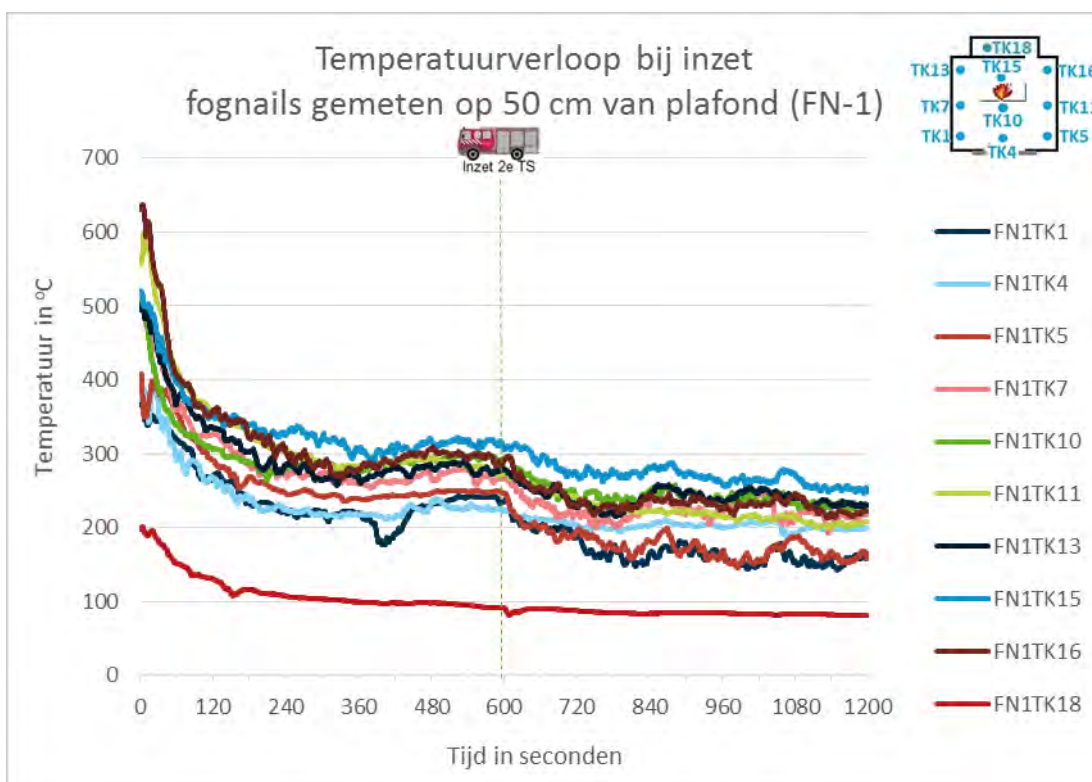
Voor het koelend effect van FN is gekeken naar het temperatuurverloop van thermokoppel 15 in de brandruimte. Hieruit blijkt dat de FN wel zorgen voor een verlaging van de temperatuur, maar zowel bij het eerste als bij het tweede experiment niet in staat zijn geweest om binnen 600 seconden de temperatuur onder 150°C te krijgen. Daarom zijn beide keren na 600 seconden twee extra FN ingezet. Tijdens het eerste experiment (FN1) kwam de temperatuur ook binnen de tijdslimiet van 20 minuten niet onder de gestelde grens van 150°C. Bij het tweede experiment (FN2) gebeurde dit wel. Hier is 17 minuten en 51 seconden (1071 seconden) na start van de inzet de temperatuur van het referentiethermokoppel onder de 150°C gekomen.

²⁵ Hierbij moet opgemerkt worden dat vlak voor de inzet bij FN-1 de linker stapel is ingestort, wat aan dit beeld kan hebben bijgedragen.



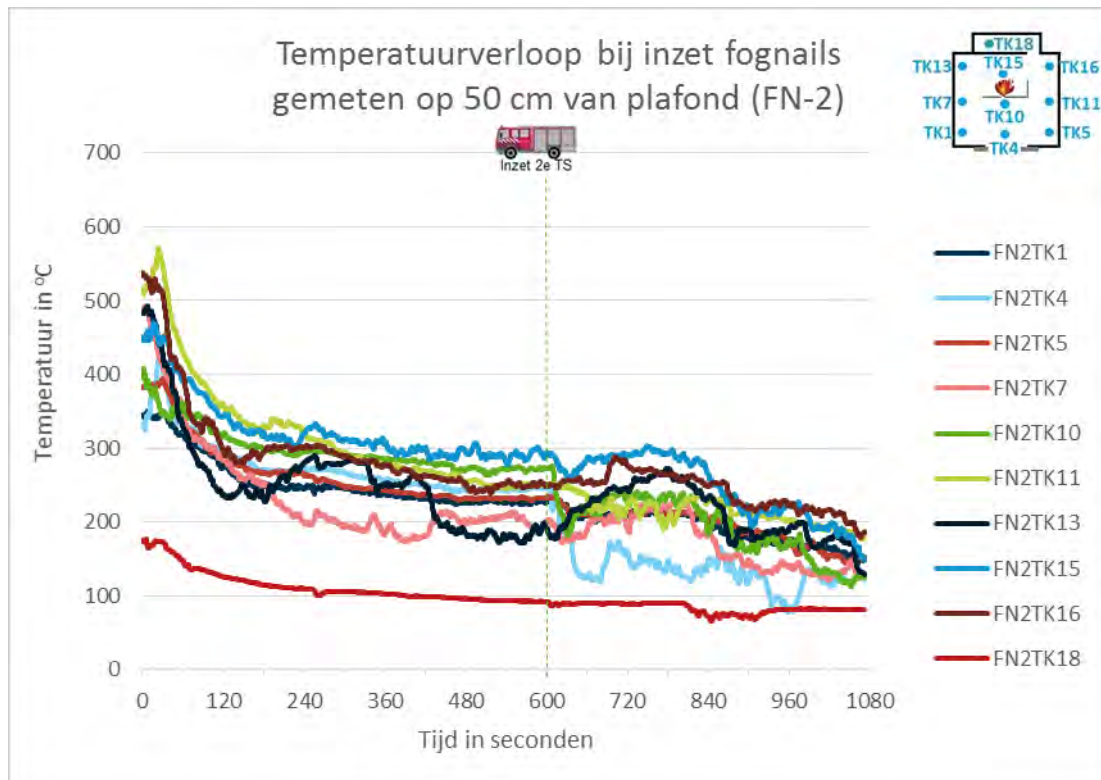
Figuur 3-25 Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 15 bij inzet FN

Bij het temperatuurverloop in de hele ruimte is over de totale periode bezien op alle thermokoppels een daling in temperatuur te zien. In de eerste 60 seconden gaat de temperatuur snel naar beneden, maar daarna vlakt de daling af. Wanneer na 600 seconden twee extra FN in worden gezet, is hier een nieuwe daling van de temperatuur zichtbaar. De temperatuur in de kantoorruimte (thermokoppel 18) is aanzienlijk lager dan de temperatuur in de naastliggende ruimte.



Figuur 3-26 Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond bij inzet FN (FN-1)

Ook tijdens het tweede experiment loopt de temperatuur bij de meeste thermokoppels snel terug na start van de inzet. Na ongeveer 150 seconden vlakt de temperatuurdaling af, totdat na 600 seconden twee extra FN worden ingezet. Daarna is een sterkere daling te zien.




Figuur 3-27 Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond bij inzet FN (FN-2)

De inzet van twee FN blijkt niet voldoende om binnen 600 seconden een koeling te creëren tot onder de grenswaarde van 150°C. Vervolgens zijn nog twee extra FN ingezet (conform procedure middelbrand). Hierbij is een wisselend beeld te zien: eenmaal lukt het wel (bijna 18 minuten na de start van de eerste inzet) en eenmaal niet.

3.5.3 Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

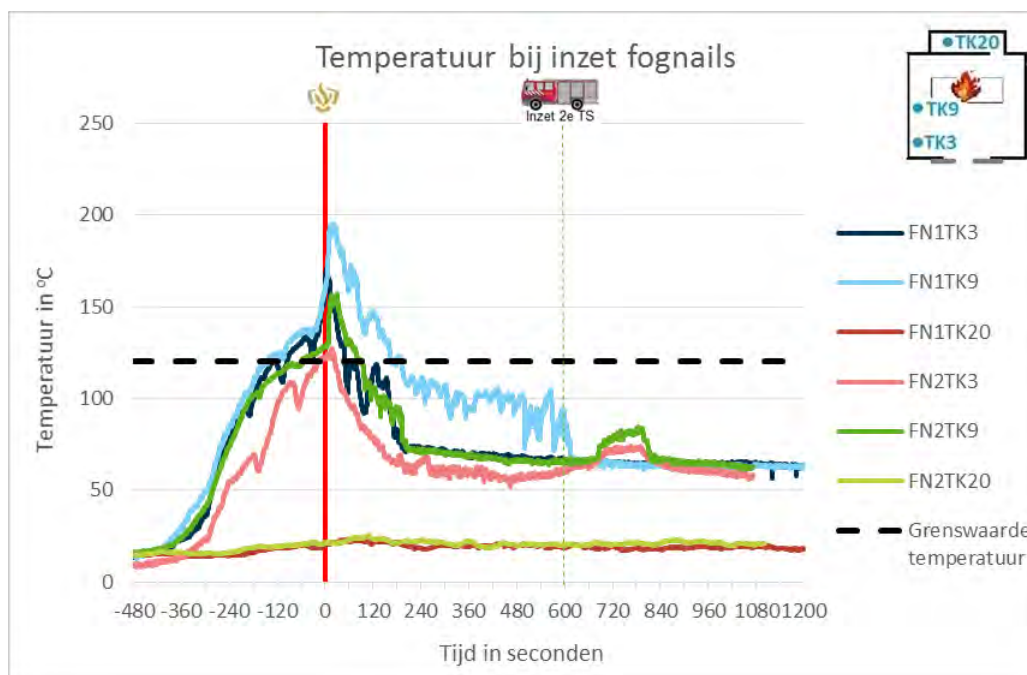
In tabel 3-7 is aangegeven of tijdens de experimenten de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase (O) of in de inzetfase (I) is gebeurd. Uit de resultaten blijkt dat voor slachtoffer 1 en 2 de grenswaarden voor temperatuur, straling en CO in beide experimenten worden overschreden. Alleen de grenswaarden voor het O₂-percentage en concentratie van NO_x worden in één of beide experimenten niet overschreden. Bij slachtoffer 3 wordt geen enkele keer de grenswaarde overschreden.

Tabel 3-7. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid bij inzet FN

		Temperatuur		Straling		CO		O ₂		NO _x	
		FN-1	FN-2	FN-1	FN-2	FN-1	FN-2	FN-1	FN-2	FN-1	FN-2
Slachtoffer 1	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (I)	Nee
Slachtoffer 2	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

Temperatuur

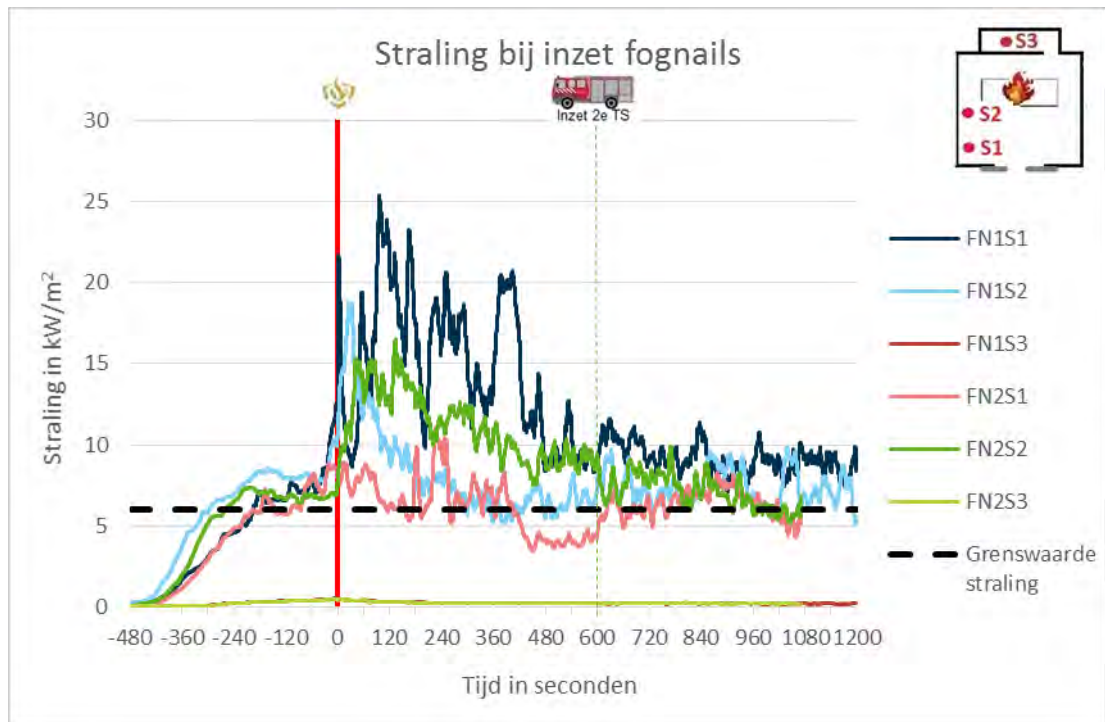
Bij beide experimenten wordt de grenswaarde voor temperatuur al in de opstartfase overschreden. In de grafieken is te zien dat de temperatuur bij het tweede slachtoffer (TK9) tijdens beide experimenten kort na de start van de inzet snel stijgt, om na ongeveer 20 seconden te dalen. In het eerste experiment (FN1) zijn zowel in de opstart- als in de inzetfase hogere temperaturen bereikt dan in het tweede experiment het geval was (FN2). Bij het derde slachtoffer blijft de temperatuur gedurende de inzet ruim beneden de grenswaarde voor overleefbaarheid.



Figuur 3-28. Temperatuur op slachtofferniveau tijdens inzet FN

Straling

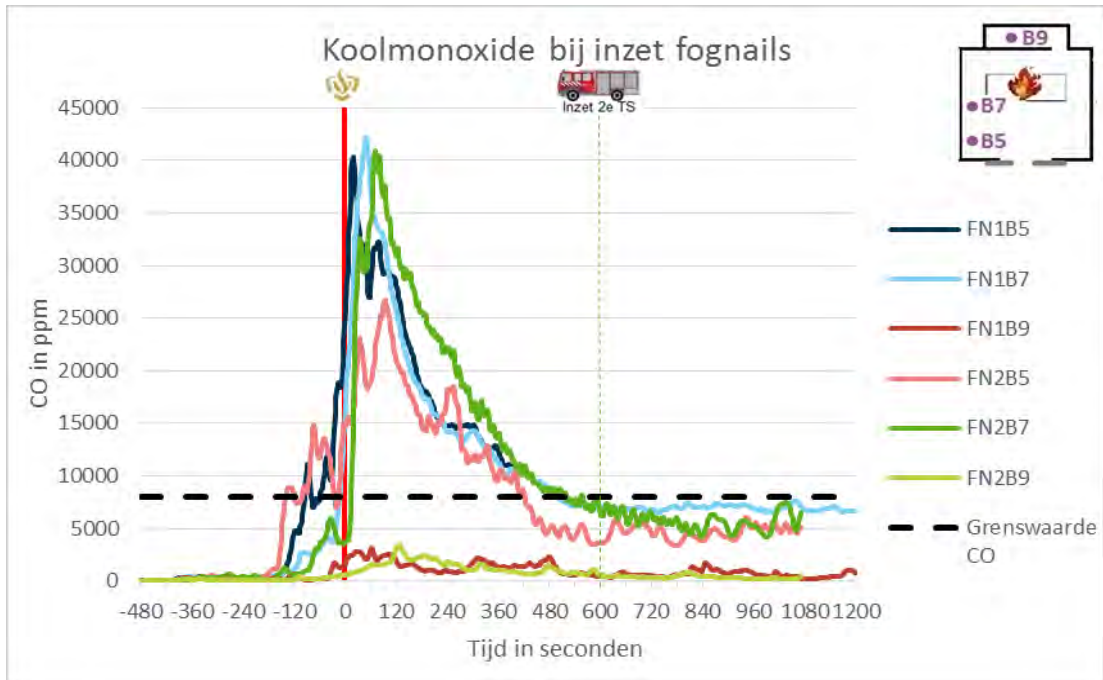
In figuur 3-29 wordt weergegeven dat tijdens beide experimenten de grenswaarde van 6 kW/m² al in de opstartfase voor slachtoffers 1 en 2 wordt overschreden. Wat opvalt, is dat de straling vanaf de inzet met de FN snel stijgt en tijdens de inzetfase een piek vertoont. Richting het einde van het experiment nemen de waarden wel iets af. De waarden voor het slachtoffer op de derde locatie (S3) blijven ruim beneden de gestelde grenswaarde.



Figuur 3-29. Straling op slachtofferniveau tijdens inzet FN

Koolmonoxide (CO)

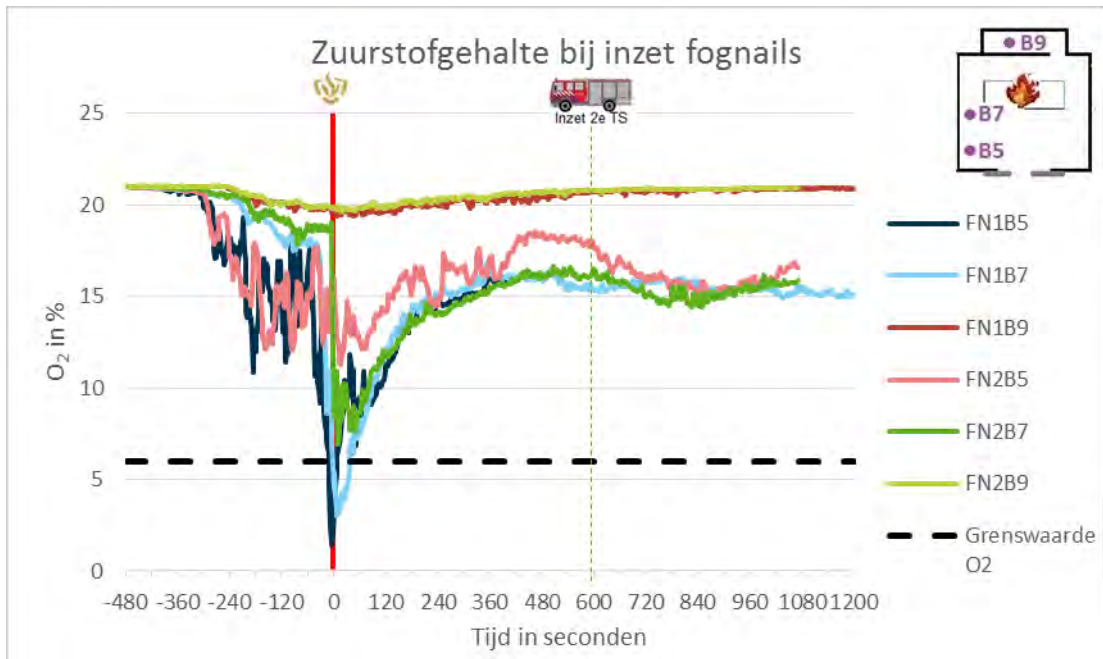
Bij de concentratie CO is kort voor de inzet al een stijging zichtbaar. De stijging gaat na start van de inzet door en piekt in alle gevallen ver boven de grenswaarde. Op de locatie van het derde slachtoffer wordt de grenswaarde niet overschreden.



Figuur 3-30. Concentratie CO op slachtofferniveau tijdens inzet FN²⁶

Zuurstof (O₂)

Voor slachtoffer 3 (B9) blijft het O₂-gehalte zodanig, dat de grenswaarde niet wordt overschreden. Voor de andere twee locaties is te zien dat, met uitzondering van FN2B5, het O₂-gehalte vlak voor start van de inzet sterk daalt tot onder de grenswaarde van 6 procent. Vanaf de inzet stijgt het O₂-gehalte weer.

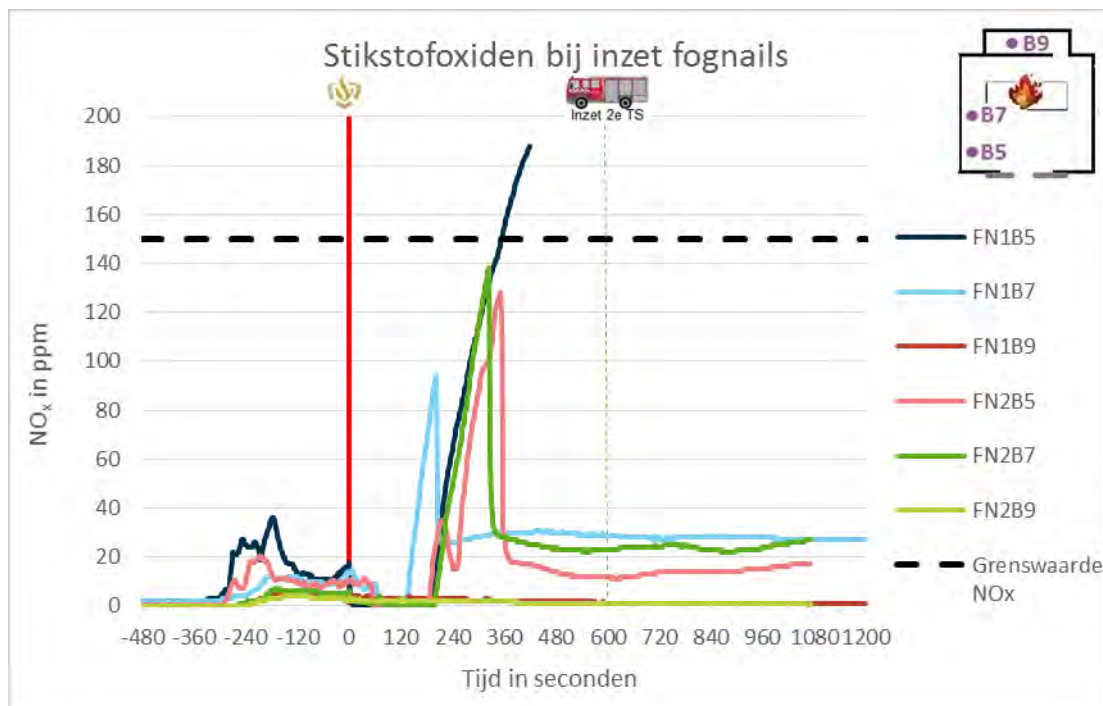


Figuur 3-31. O₂-gehalte op slachtofferniveau bij inzet FN²⁶

²⁶ Tijdens het eerste experiment is bus 5 (FN1B5) na 7 minuten uitgevallen. Daarna zijn er geen meetgegevens beschikbaar.

Stikstofoxiden (NO_x)

Er worden tijdens de inzettfase verschillende pieken bereikt. Alleen bij FN1B5 ligt deze piek met 188 ppm boven de instantane grenswaarde van 150 ppm. Opmerkelijk is dat een piek relatief snel behaald wordt en daarna de waarden ook weer snel terugzakken.



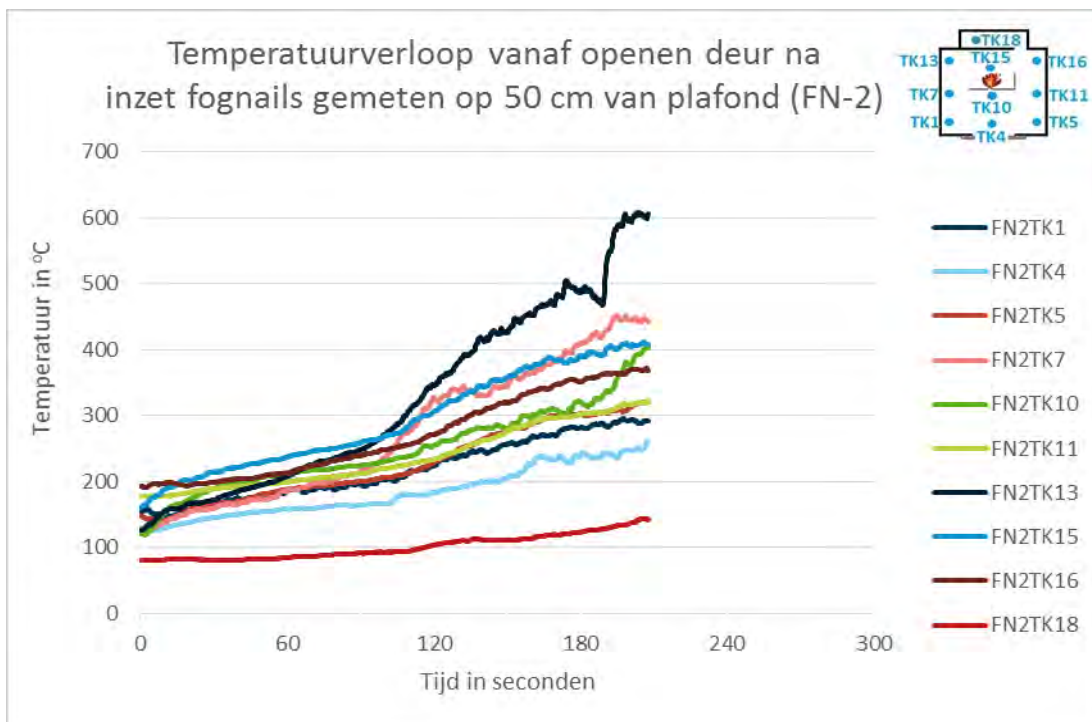
Figuur 3-32. Concentratie NO_x bij inzet FN²⁶

Bij inzet met FN in de onderzochte omstandigheden, worden de grenswaarden voor temperatuur, straling en CO in de brandruimte overschreden. Na start van de inzet zijn steeds (korte) sterke toenames te zien. Bij O₂ en NO_x is een wisselend beeld te zien. In de kantoormuimte worden de grenswaarden voor overleefbaarheid niet overschreden.

3.5.4 Effect na inzet

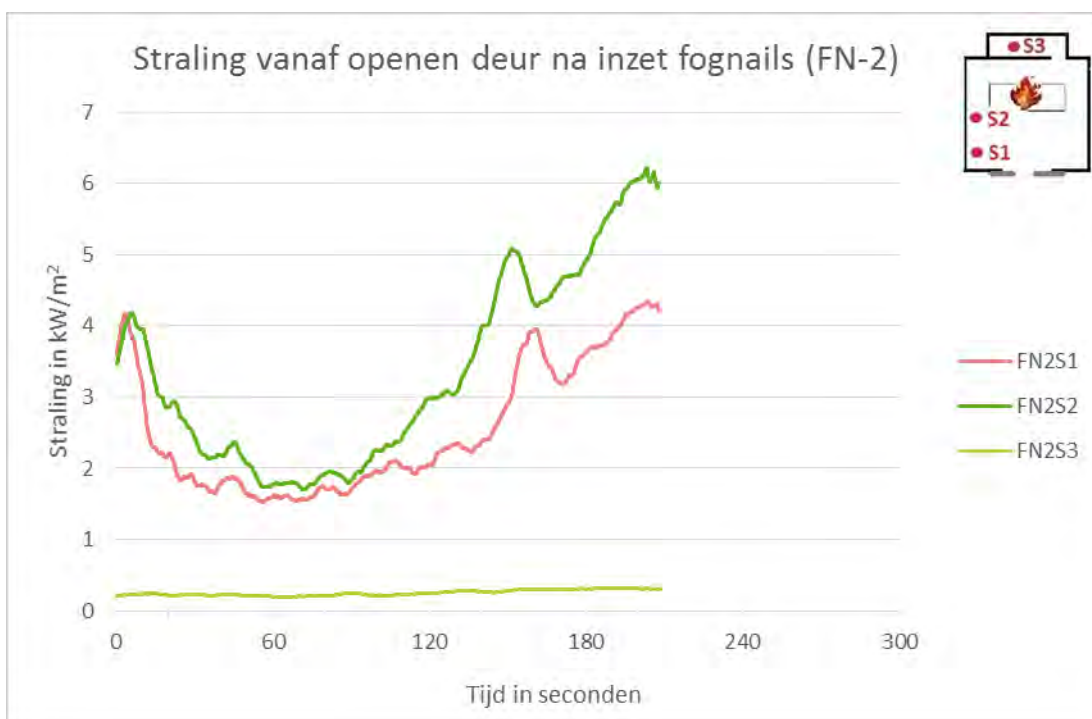
Bij de eerste inzet met de FN (FN-1) is het niet gelukt om de rookgassen in de brandruimte dusdanig te koelen dat er een offensieve binneninzet mogelijk is. Hoewel het criterium van 150°C niet is bereikt, is de loopdeur aan de zijkant van het pand 5 minuten geopend om het effect op de brand- en rookontwikkeling en parameters voor overleefbaarheid te monitoren. De resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlage E.

Bij de tweede inzet met de FN (FN-2) is er wel een succesvolle offensieve buiteninzet gedaan. Er is gekeken naar het effect van het stoppen van de inzet en het openen van een deur om het binnentreden van een brandweerploeg te simuleren. Bij het stoppen van de inzet met de FN brandde de vuurhaard nog. Nadat de deur was geopend, nam de intensiteit van de vuurhaard en de temperatuur geleidelijk verder toe. Dit is weergegeven in figuur 3-33. De metingen moesten voortijdig afgebroken worden omdat de kritische interne temperatuur van de camera's werd bereikt. Daardoor is het experiment 90 seconden eerder afgebroken.



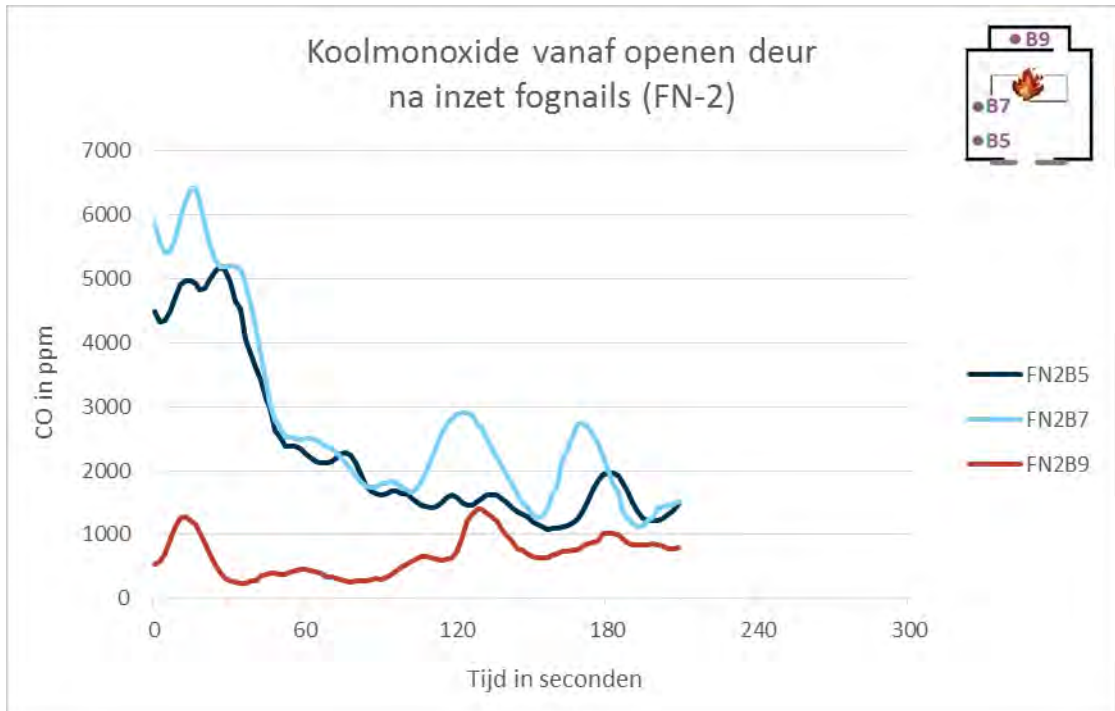
Figuur 3-33. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet na inzet FN (FN-2)

Door het openen van de deur neemt de straling in eerste instantie af, zie figuur 3-34. Maar naar mate de intensiteit van de vuurhaard toeneemt, neemt ook de straling in de brandruimte weer toe tot circa 6 kW/m². In de kantooruimte blijft het stralingsniveau laag.



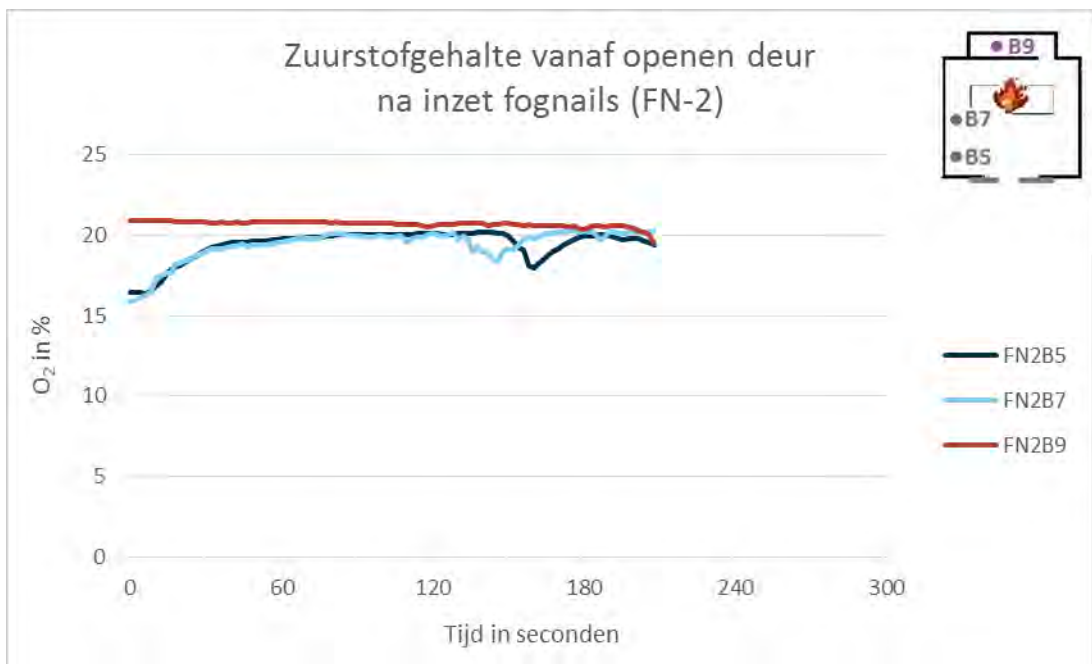
Figuur 3-34. Straling vanaf openen deur na inzet FN (FN-2)

Het CO-gehalte stijgt nog even door nadat de inzet is beëindigd en de deur is opengezet. Dit duurt 15 tot 30 seconden, waarna er een sterke daling wordt ingezet. Rond de 90 seconden stopt deze daling en gaan de waarden meer fluctueren. Ook in de kantooruimte lopen de waarden op dat moment weer op.



Figuur 3-35. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet FN (FN-2)

Het O₂-percentage blijft voor het derde slachtoffer relatief stabiel. Op de andere twee locaties stijgt het O₂-percentage nadat de deur open is gezet. Na bijna 1 minuut schommelen alle waarden rond de 20 procent.



Figuur 3-36. O₂-gehalte vanaf openen deur na inzet FN (FN-2)

Als na het beëindigen van de inzet met de FN waarbij de brandhaard niet gedoofd is, er een deur wordt geopend, blijkt dat de brand gestaag toeneemt. Hierbij wordt na ongeveer 3 minuten een temperatuur bereikt van ongeveer 300-400°C.

3.6 Drukluchtschuim (DLS)

3.6.1 Blussing

In het eerste experiment (DLS-1) is aan de werveling in de rook goed te zien wanneer het DLS-systeem wordt ingezet. In ongeveer 25 seconden is er een knockdown van de vlammen. Wel blijven onderin de stapels enkele gloeibranden zichtbaar.

In het tweede experiment (DLS-2) wordt het zicht met de warmtebeeldcamera beperkt door een stuk vuil op de lens. Hierdoor zijn de beelden onscherp en is het lastig een conclusie te trekken. Het lijkt erop dat hier 30 seconden na start van de inzet een knockdown is van de vlammen. Ook nu blijven onderin de vuurhaard meerdere gloeibranden zichtbaar.

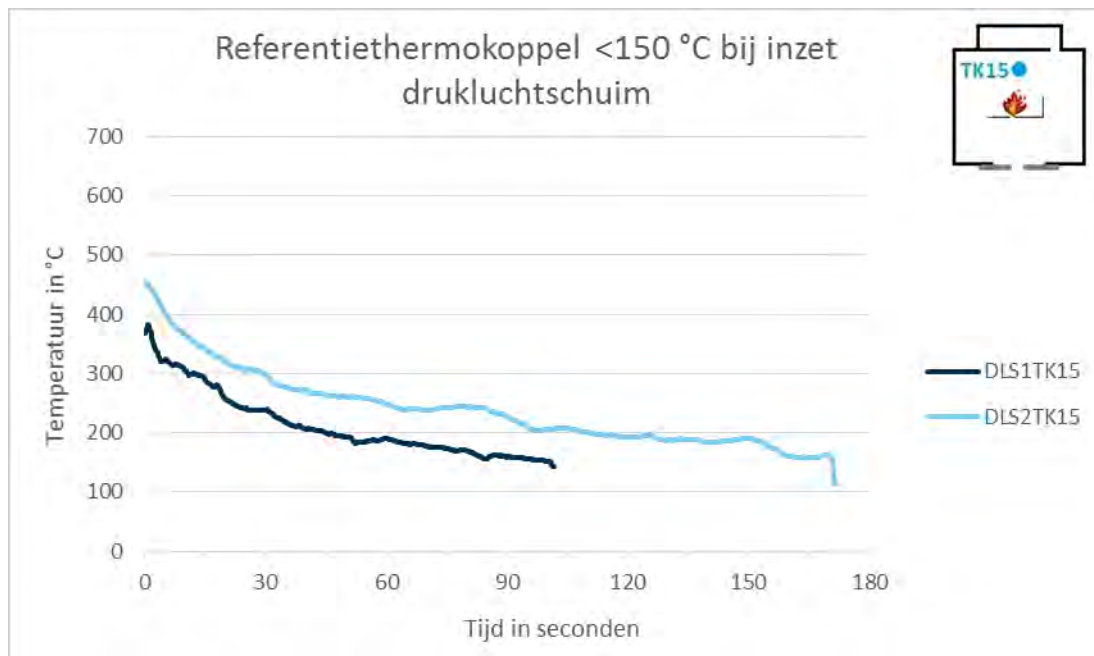
Tabel 3-8. Overzicht van effect DLS op blussing vuurhaard

Knockdown vlammen		Knockdown blijft in stand gedurende de inzet		Gloeistadium na knockdown	
DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2
±25 sec.	±30 sec.	Ja	Ja	Ja	Ja

DLS is in de onderzochte omstandigheden in staat een blijvende knockdown te creëren, tijdens de inzetfase vindt geen herontsteking plaats. Wel bleef er brand in een gloeistadium achter.

3.6.2 Koeling

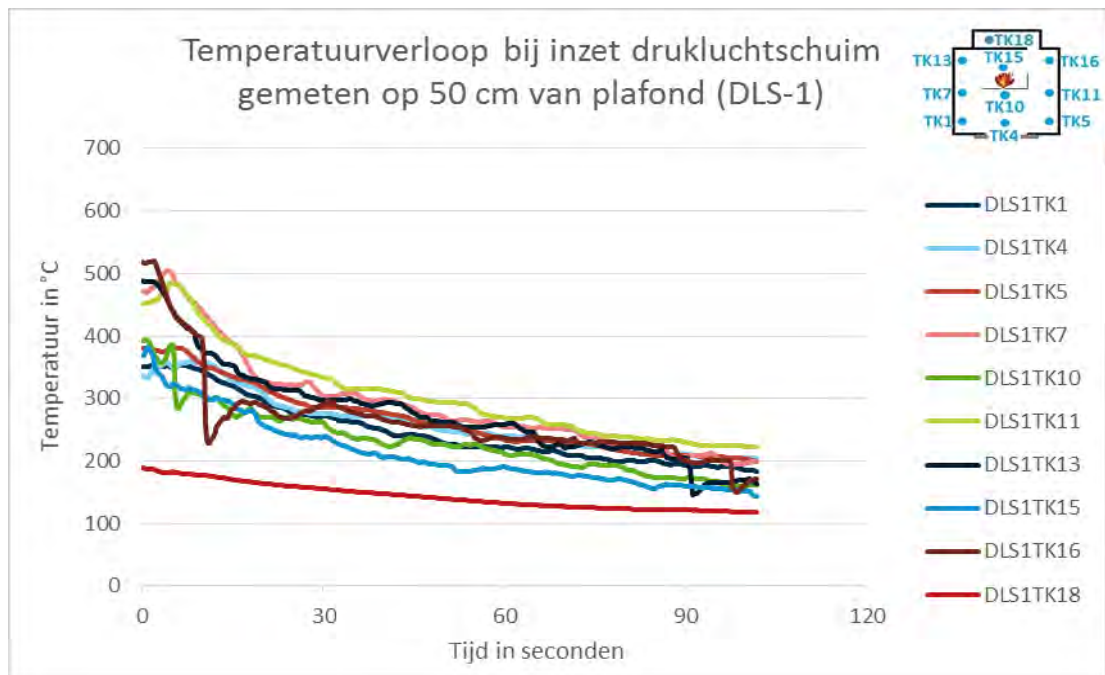
Om te onderzoeken wanneer de temperatuur onder de 150°C komt, is thermokoppel 15 gebruikt als referentiethermokoppel. Tijdens het eerste experiment duurde het 1 minuut en 41 seconden voordat de temperatuur onder de 150°C kwam. In het tweede experiment was dit 2 minuut en 52 seconden.



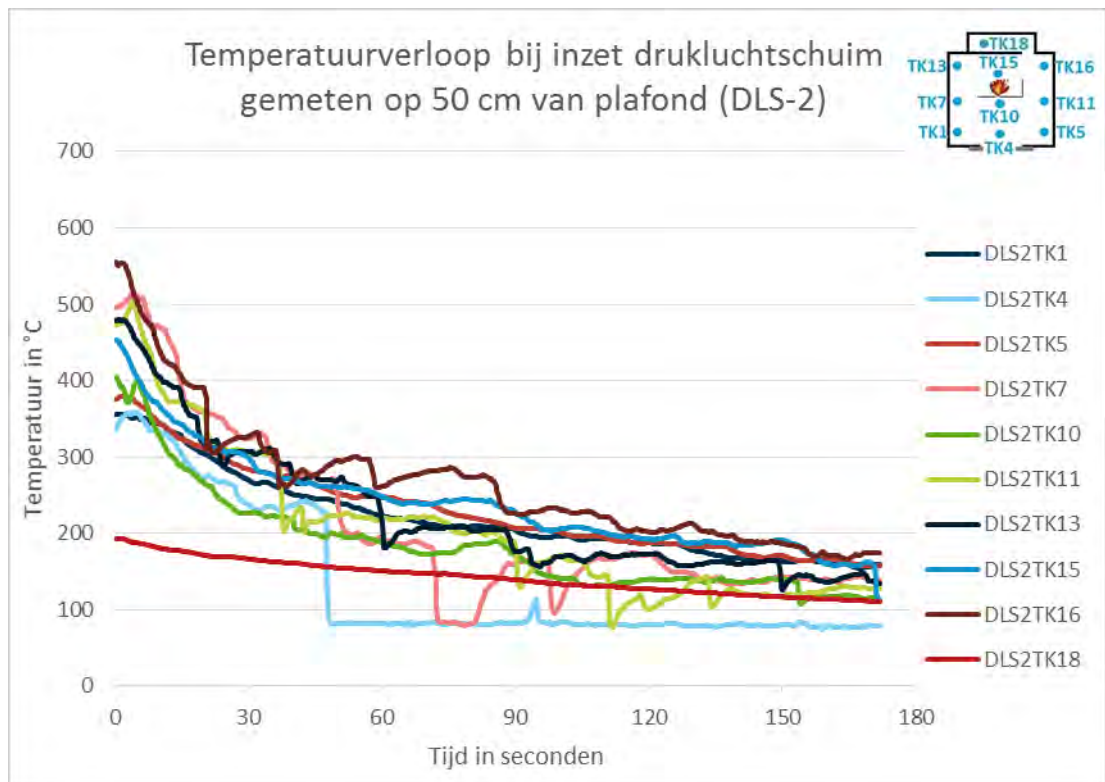
Figuur 3-37. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 15 bij inzet DLS

Wat betreft het temperatuurverloop in de gehele ruimte is tijdens beide experimenten te zien dat de temperatuur vrij geleidelijk omlaag (zie figuur 3-38) gaat. In de eerste 30 seconden is de temperatuurdaling het grootst, waarna deze meer afvlakt. Bij 10 seconden laat thermokoppel 16 bij DLS-1 een zeer grote daling zien van 155°C. Een verklaring hiervoor

kan zijn dat deze thermokoppel door druppels van de DLS-straal is geraakt. Eenzelfde fenomeen wordt aan het eind van het experiment gezien op thermokoppel 13 en 16, zij het in mindere mate. De temperatuur in de kantoorroimte daalt ook gestaag.



Figuur 3-38. Temperatuurverloop op 50 cm van plafond bij inzet DLS (DLS-1)




Figuur 3-39. Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond bij inzet DLS (DLS-2)

DLS was tijdens beide experimenten in staat om de temperatuur op het referentiethermokoppel onder de 150°C te brengen. Dat lukte tijdens het eerste experiment na ruim 1,5 minuut en de tweede keer een kleine 3 minuten na start van de inzet.

3.6.3 Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-9 is aangegeven of tijdens de experimenten de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase (O) of in de inzetfase (I) is gebeurd. Uit de tabel blijkt dat op de locatie slachtoffer 1 en 2 de grenswaarden voor temperatuur, straling en CO in beide experimenten worden overschreden. Bij de twee experimenten worden de grenswaarden voor het O₂-percentage en concentratie NO_x niet overschreden. Bij het slachtoffer in de kantoorruimte wordt alleen tijdens het tweede experiment de grenswaarde voor CO overschreden. In de overige gevallen blijven de waarden onder de grenswaarden voor overleefbaarheid.

Tabel 3-9. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid bij inzet DLS

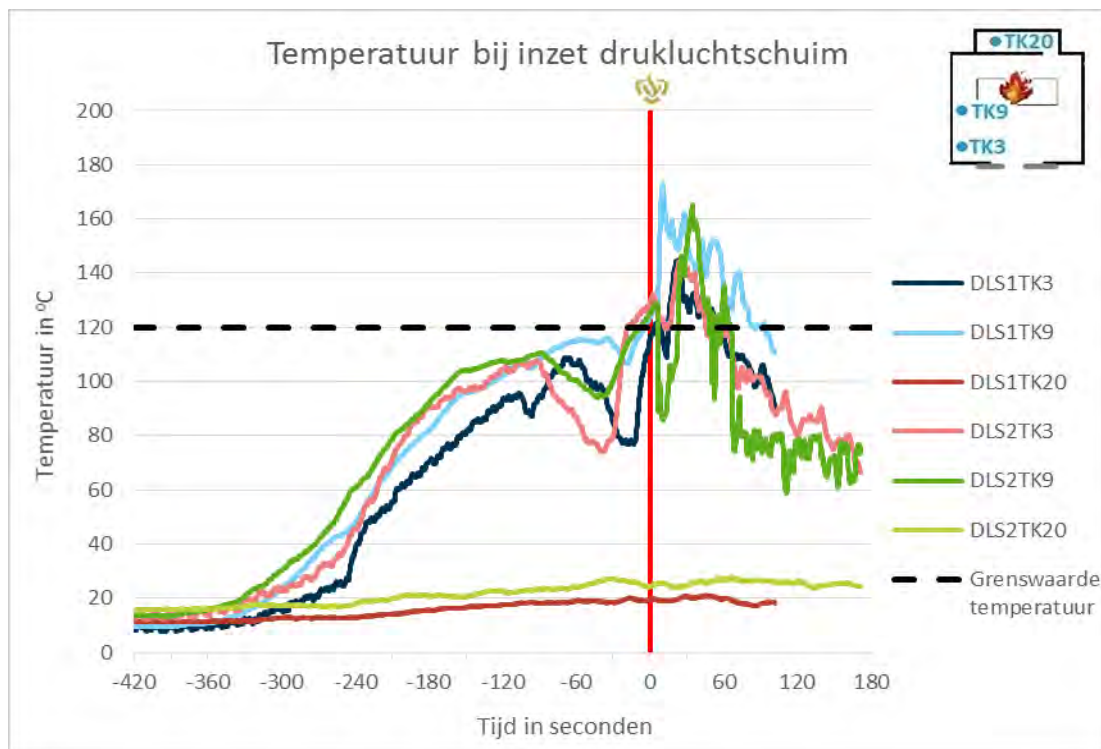
		Temperatuur		Straling		CO		O ₂		NO _x	
		DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2
Slachtoffer 1	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee

Temperatuur

Het eerste slachtoffer (bij TK3) krijgt te maken met een overschrijding van de grenswaarde voor temperatuur. In beide experimenten laat de grafiek (figuur 3-40) vrijwel eenzelfde beeld zien. Na de start van de inzet is een piek te zien. De maximum gemeten temperatuur bij het eerste slachtoffer is bijna 145°C.

Het tweede slachtoffer (bij TK9) krijgt bij beide experimenten te maken met een overschrijding. Bij het eerste experiment stijgt nadat de inzet is gestart de temperatuur zeer snel enkele seconden. Nadat een piek is bereikt van 173°C, daalt de temperatuur weer. Bij het tweede experiment stijgt de temperatuur na een eerste daling redelijk snel tot boven de grenswaarde.

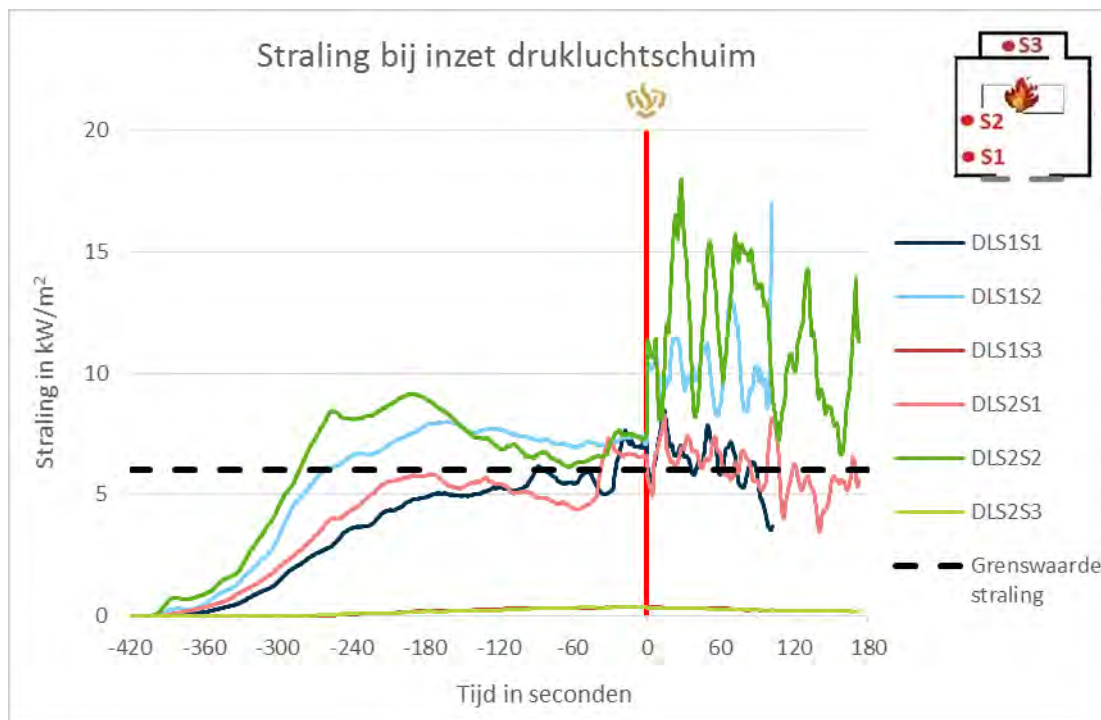
Op de locatie van slachtoffer 3 (bij TK20) treedt niet veel verandering op nadat de inzet is gestart. De temperatuur blijft daar redelijk gelijk.



Figuur 3-40. Temperatuurverloop op slachtofferniveau bij inzet DLS

Straling

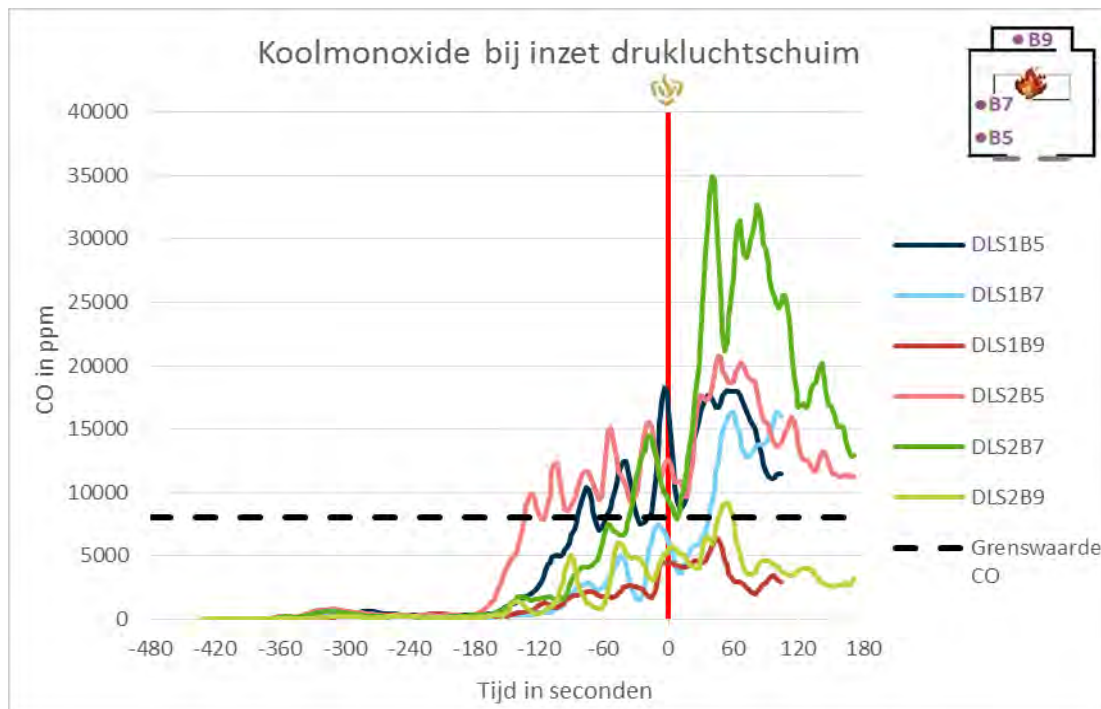
Op locatie van het eerste en tweede slachtoffer (S1 en S2) wordt tijdens beide experimenten met DLS de stralingsgrenswaarde al in de opstartfase overschreden. Er is goed te zien dat op deze slachtofferlocaties na de start van het experiment hogere pieken worden behaald en waarden meer fluctueren dan voor aanvang van de inzet. Dit geldt vooral voor het tweede slachtoffer, welke zich het dichtst bij de vuurhaard bevindt. De gemeten straling in de kantooruimte (S3) blijft tijdens beide experimenten beperkt.



Figuur 3-41. Straling op slachtofferniveau bij inzet DLS

Koolmonoxide (CO)

In figuur 3-42 is te zien dat de concentratie CO al voor de start van de inzet begint te stijgen. Bij het eerste slachtoffer (B5) wordt in beide keren reeds tijdens de opstartfase de grenswaarde overschreden. Bij het tweede slachtoffer (B7) gebeurt dat alleen tijdens het tweede experiment. Wanneer met de inzet wordt gestart gaat de stijging verder en is er vooral bij B7 een sterkere toename te zien dan voor aanvang van de inzet. Op de locatie van het derde slachtoffer (B9) komt de concentratie CO alleen tijdens het tweede experiment gedurende de inzet net boven de grenswaarde.



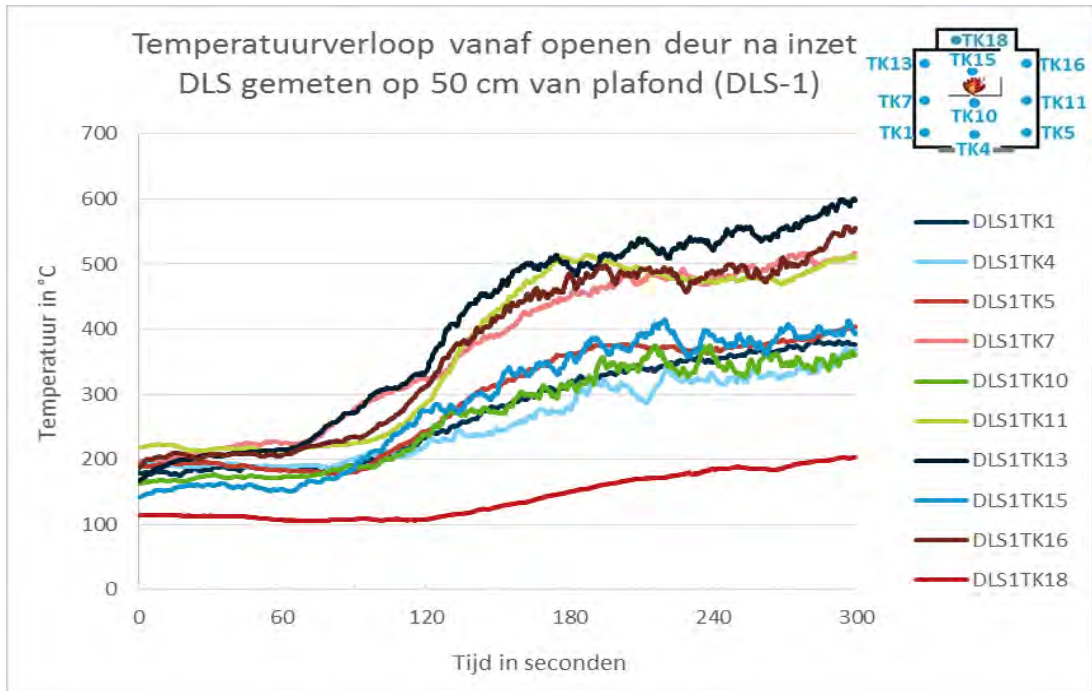
Figuur 3-42. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet DLS

Bij inzet met DLS zijn de grenswaarden voor temperatuur, straling en CO in de brandruimte overschreden. Na de start van de inzet zijn steeds sterke toenames te zien. Behoudens de concentratie CO tijdens het tweede experiment, worden in de kantoormuimte de grenswaarden voor overleefbaarheid niet overschreden.

3.6.4 Effect na inzet

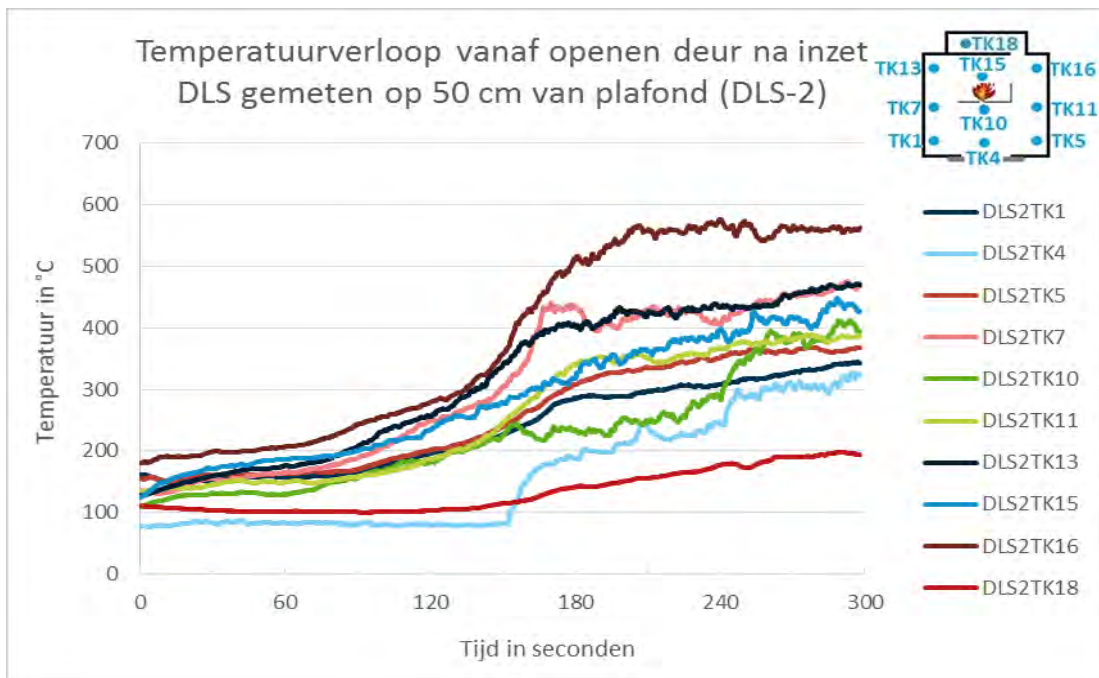
Er is onderzocht wat het effect is van het stoppen van de offensieve buiteninzet en het openen van een deur voor de offensieve binneninzet. Nadat de inzet DLS-1 is beëindigd, wordt vanuit de nog aanwezige gloeibranden een gestage toename gezien. Ongeveer 1 minuut en 10 seconden na het einde van de inzet laait de brand weer verder op en zijn er vlammen zichtbaar.

Bij het tweede experiment (DLS-2) lijkt het erop dat 35 seconden nadat de inzet is beëindigd, de brand weer oplaait en de eerste (kleine) vlammen weer zichtbaar zijn op de warmtebeeldcamera. De bruikbaarheid van de beelden die gemaakt zijn met de reguliere camera's is beperkt vanwege de rookvorming. Wanneer het experiment wordt beëindigd, staat in beide experimenten weer de gehele vuurhaard in brand.



Figuur 3-43. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet DLS (DLS-1)

Na afloop van de inzet blijft de temperatuur in eerste instantie redelijk stabiel. Tussen 70 en 90 seconden is bij de meeste thermokoppels een omslagpunt te zien, waarbij de temperatuur sneller begint te stijgen. Dit valt samen met de observatie dat rond dat tijdstip weer de eerste vlammen zichtbaar zijn en de vuurhaard groeit. Daarbij behalen de thermokoppels die aan de zijkanten van de vuurhaard zijn gepositioneerd, duidelijk een hogere temperatuur richting het einde van het experiment dan de andere thermokoppels. De temperatuur in de kantoornruimte ligt lager dan in de andere ruimte, maar neemt wel (na circa 2 minuten) toe. Ook bij het tweede experiment is een stijging in temperatuur waar te nemen nadat de inzet is beëindigd.

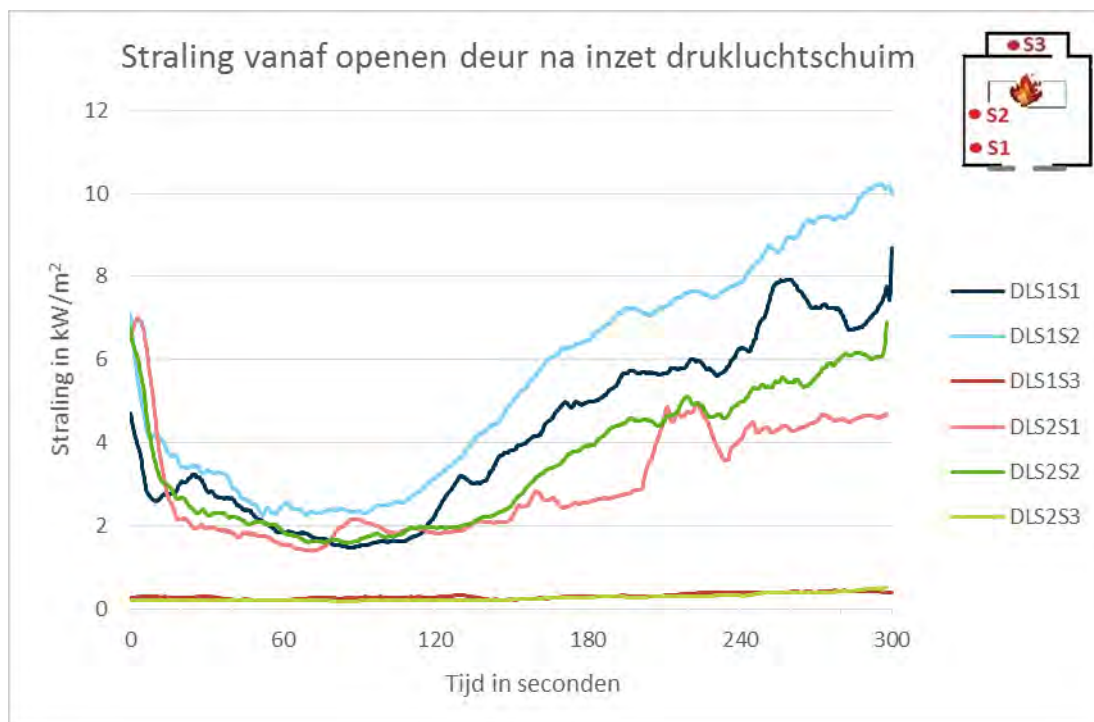


Figuur 3-44. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet DLS (DLS-2)

Aanvankelijk loopt de straling bij slachtoffer 1 en 2 snel terug. Pas na ongeveer 90 seconden wordt daar de daling weer omgezet in een stijging. De straling volgt daarmee het patroon

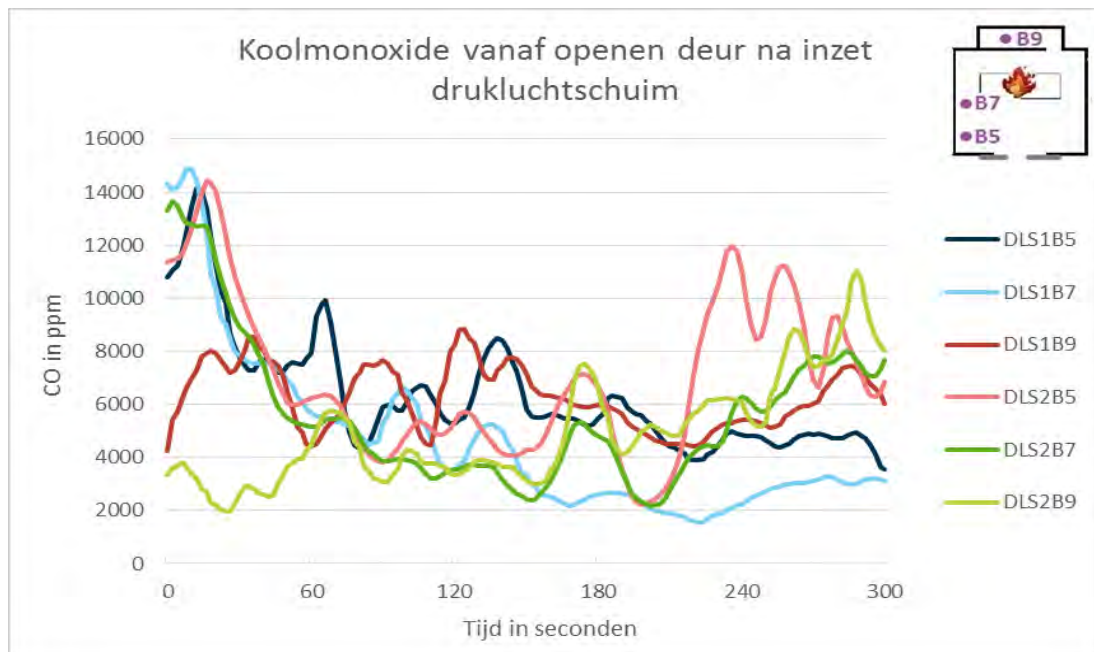
van het oplaaien en intensiveren van de vuurhaard. Bij het eerste experiment komt de gemiddelde temperatuur in de brandruimte hoger uit dan bij het tweede experiment. Dat is ook terug te zien bij straling, waar in het eerste experiment op beide slachtofferlocaties hogere waarden worden behaald.

Op de locatie van slachtoffer 3 (S3) treedt weinig verandering op na het einde van de inzet en openen van de deur.



Figuur 3-45. Straling vanaf openen deur na inzet DLS

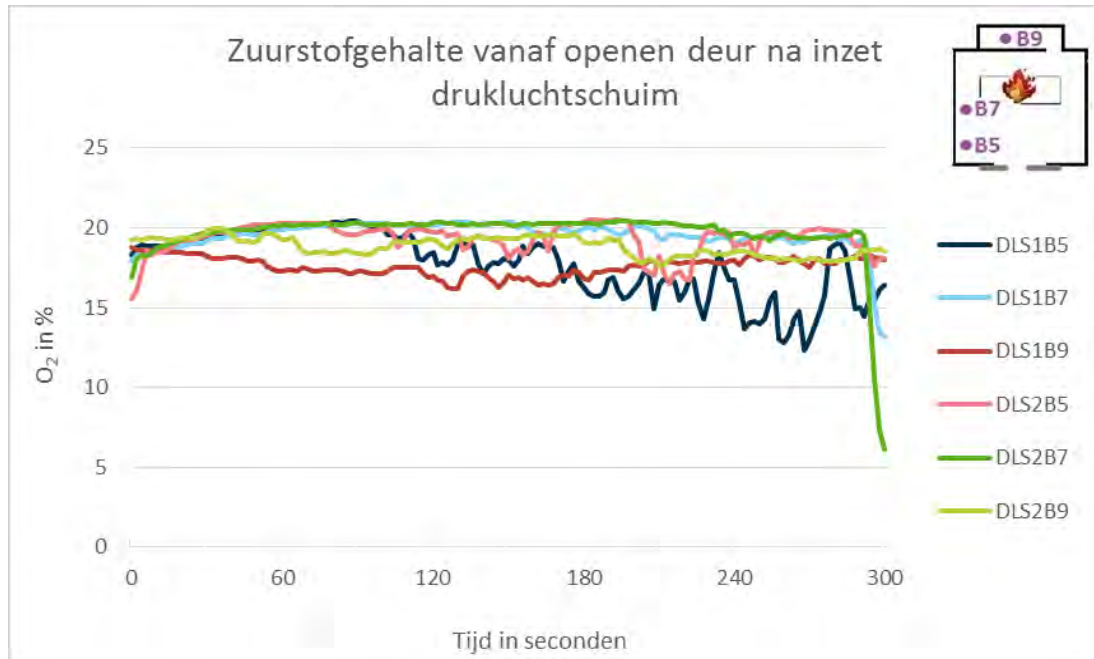
In figuur 3-46 is te zien dat de waarden van CO behoorlijk fluctueren tijdens de fase waarin de deur wordt geopend.



Figuur 3-46. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet DLS

In figuur 3-47 is het verloop van het O₂-gehalte te zien. Het O₂-gehalte stijgt in eerste instantie naar rond de 20% en blijft daarna redelijk stabiel. Richting het einde van de periode

ontstaat er meer fluctuatie, met een daling tot gevolg (DLS1B5 en DLS2B7). Bij het slachtoffer in de kantoorruimte blijft het O₂-gehalte redelijk stabiel.



Figuur 3-47. O₂-gehalte vanaf openen deur na inzet DLS

Na inzet met het DLS en het openen van de deur blijkt dat onder de onderzochte omstandigheden de vuurhaard weer oplaait. Na ongeveer 4 minuten is een temperatuur bereikt van ongeveer 400°C op de referentiethermokoppel.

3.7 Lage druk (LD)

3.7.1 Blussing

Wanneer er LD wordt ingezet, is op de reguliere camera te zien dat er een snelle knockdown van de vlammen is na circa 8-10 seconden. Wel blijven er tijdens de inzetfase onderin de vuurhaard nog enkele gloeibranden zichtbaar. In beide experimenten zijn er echter geen vlammen meer zichtbaar gedurende de inzet van LD na de knockdown.

Tabel 3-10. Overzicht van effect LD op blussing vuurhaard

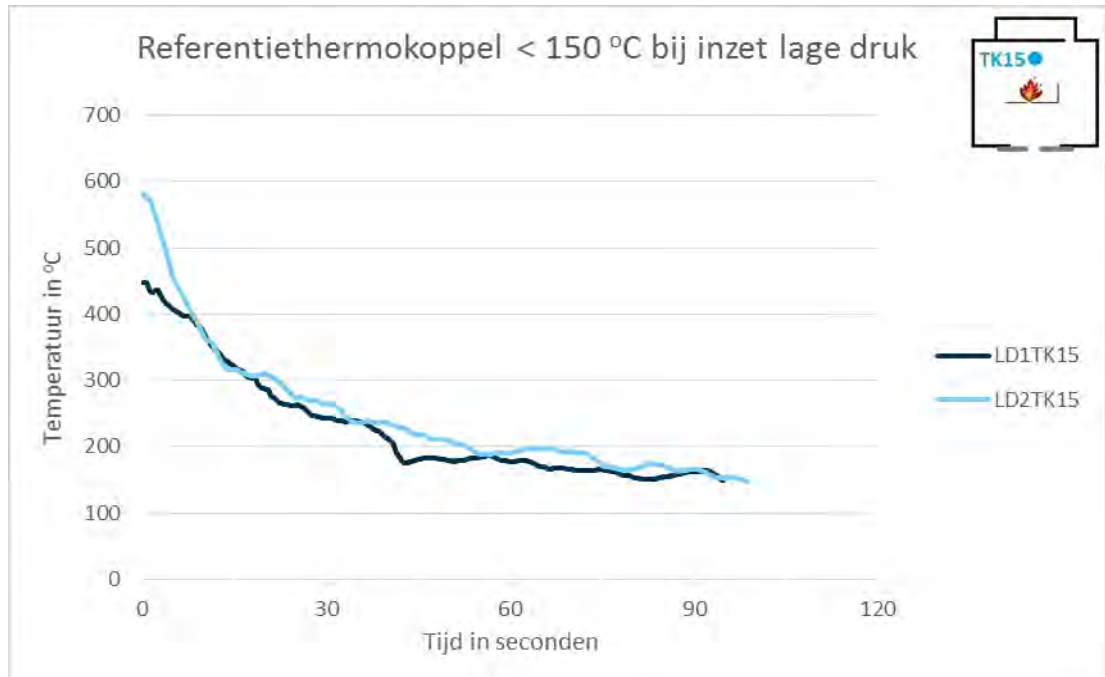
Knockdown vlammen		Knockdown blijft in stand gedurende de inzet		Gloeistadium na knockdown	
LD-1	LD-2	LD-1	LD-2	LD-1	LD-2
±10 sec.	±8 sec.	Ja	Ja	Ja	Ja

LD is in de onderzochte omstandigheden in staat een snelle en blijvende knockdown te creëren. Ook laait de brand niet meer op tijdens de inzetfase. Wel bleef er in beide experimenten een brand in het gloeistadium achter.

3.7.2 Koeling

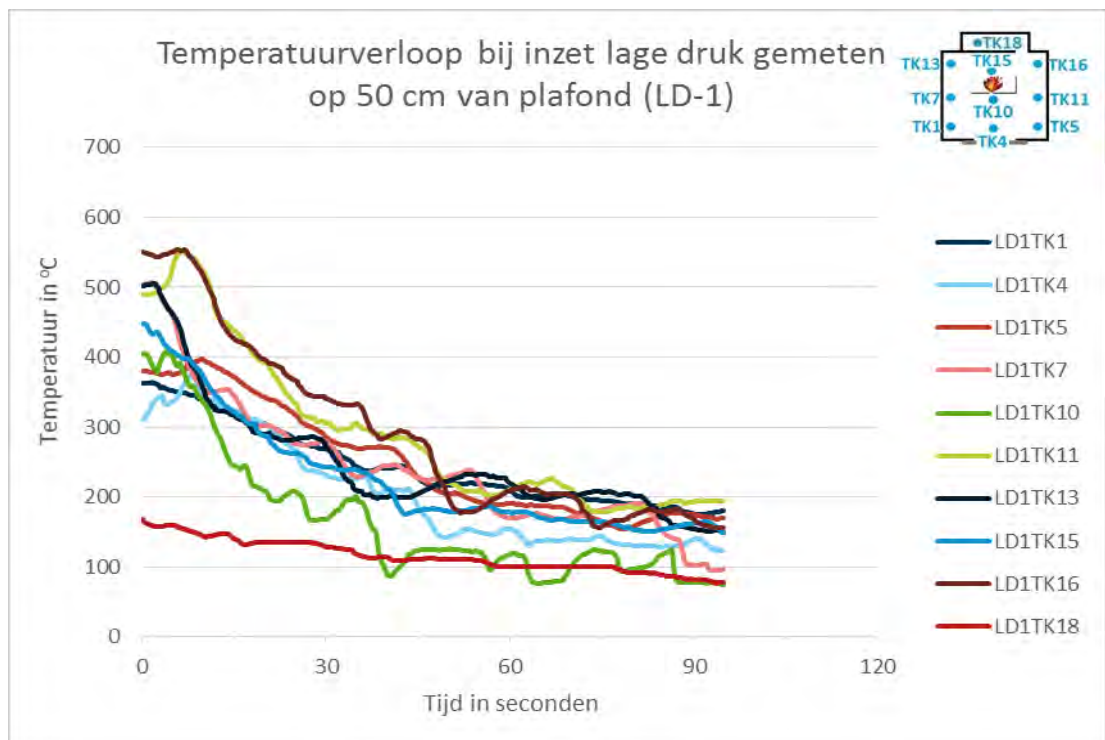
Tijdens het eerste experiment (LD1) duurde het na start van de inzet met LD 94 seconden voordat referentiethermokoppel 15 een temperatuur onder 150°C aangaf. Ondanks dat bij het tweede experiment de starttemperatuur 133°C hoger lag, duurde het ook hier ongeveer

even lang, namelijk 98 seconden. Bij het tweede experiment daalde vooral in de eerste 15 seconden de temperatuur sterk. De grootste daling doet zich voor in de eerste 30 seconden.



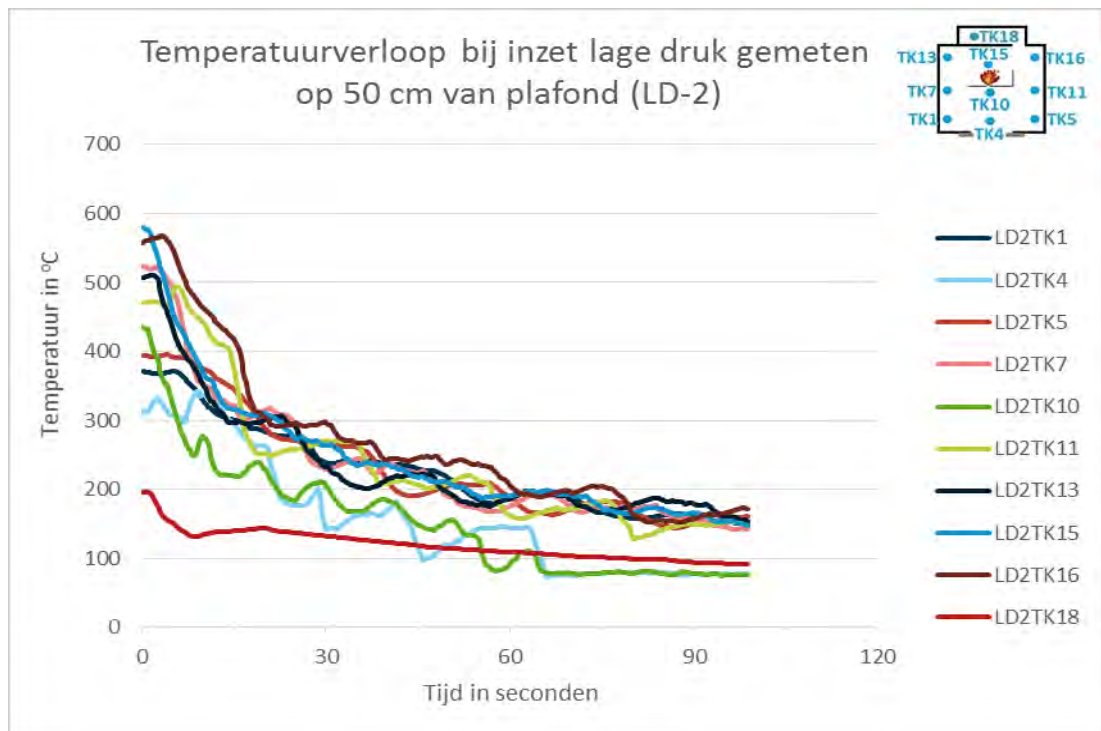
Figuur 3-48. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 15 bij inzet LD

Bij het eerste experiment is door de LD inzet in de gehele brandruimte een daling in temperatuur te zien. Hoewel soms met korte pieken, is bij de meeste thermokoppels in de eerste 45 tot 55 seconden de daling het sterkst. Richting het einde van de inzet wordt het temperatuurverloop meer stabiel. Ook in de kantooruimte daalt de temperatuur door de inzet van LD iets.



Figuur 3-49. Temperatuurverloop tijdens inzet LD gemeten door thermokoppels op 50 cm van het plafond (LD-1)

Het tweede experiment laat eenzelfde beeld zien. Ook nu zet bij bijna alle thermokoppels snel een daling in temperatuur in na start van de inzet en vlak de temperatuurdaling richting het einde van de inzet verder af.



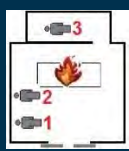
Figuur 3-50. Temperatuurverloop tijdens inzet LD gemeten door thermokoppels op 50 cm van het plafond (LD-2)

Tijdens beide experimenten weet het LD-systeem de temperatuur binnen 1 minuut en 40 seconden onder 150°C te brengen.

3.7.3 Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

In tabel 3-11 is aangegeven of tijdens de experimenten de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase (O) of in de inzetfase (I) is gebeurd. Voor het slachtoffer op locatie 3 wordt geen enkele keer de grenswaarden voor overleefbaarheid overschreden. Voor de andere twee slachtoffers blijkt dat de grenswaarden voor temperatuur, straling en CO in bijna alle experimenten worden overschreden. Alleen in het tweede experiment wordt bij slachtoffer 2 de grenswaarde voor CO niet overschreden. Bij de twee experimenten worden de grenswaarden voor het O₂-percentage en concentratie NO_x niet overschreden.

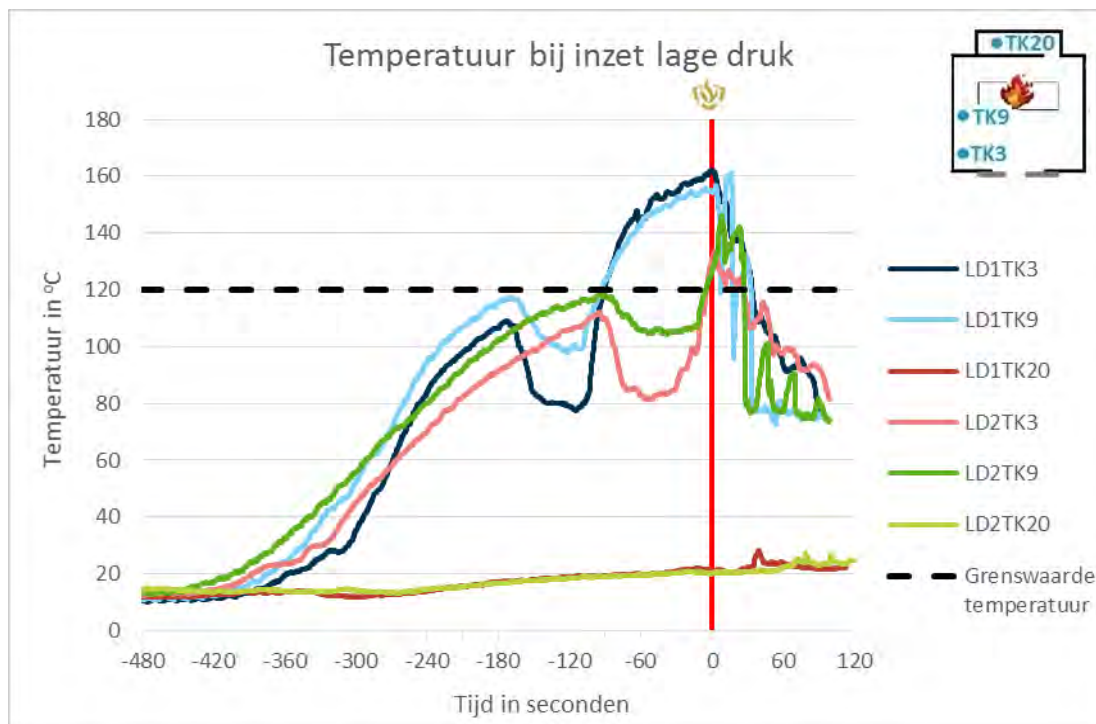
Tabel 3-11. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid bij inzet LD

		Temperatuur		Straling		CO		O ₂		NO _x	
		LD-1	LD-2	LD-1	LD-2	LD-1	LD-2	LD-1	LD-2	LD-1	LD-2
Slachtoffer 1	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	- ²⁷	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

Temperatuur

Bij het eerste experiment (LD-1) wordt de grenswaarde van 120°C al ruim voor start van de inzet op slachtofferlocatie 1 en 2 overschreden (TK3 en TK 9, zie figuur 3-51). Tijdens het tweede experiment gebeurt dit pas vlak voor start van de inzet. Nadat met de inzet is gestart, is te zien dat er een daling van de temperatuur is, vrijwel direct (TK3), of na een korte piek (TK9). Op de locatie van het derde slachtoffer stijgt de temperatuur nog licht na start van de inzet, maar blijft deze ver onder de grenswaarde voor overleefbaarheid.

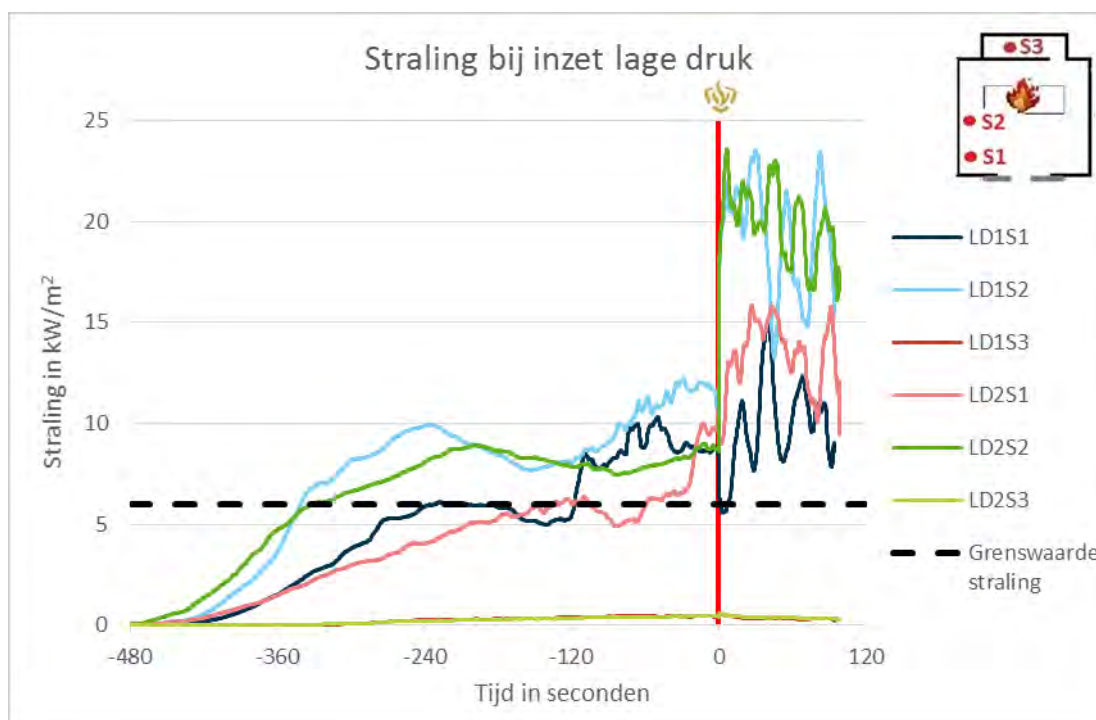
²⁷ Vanwege een fout in de meting bij de betreffende meetapparatuur zijn deze waarden niet bekend.



Figuur 3-51. Temperatuur op slachtofferniveau bij inzet LD

Straling

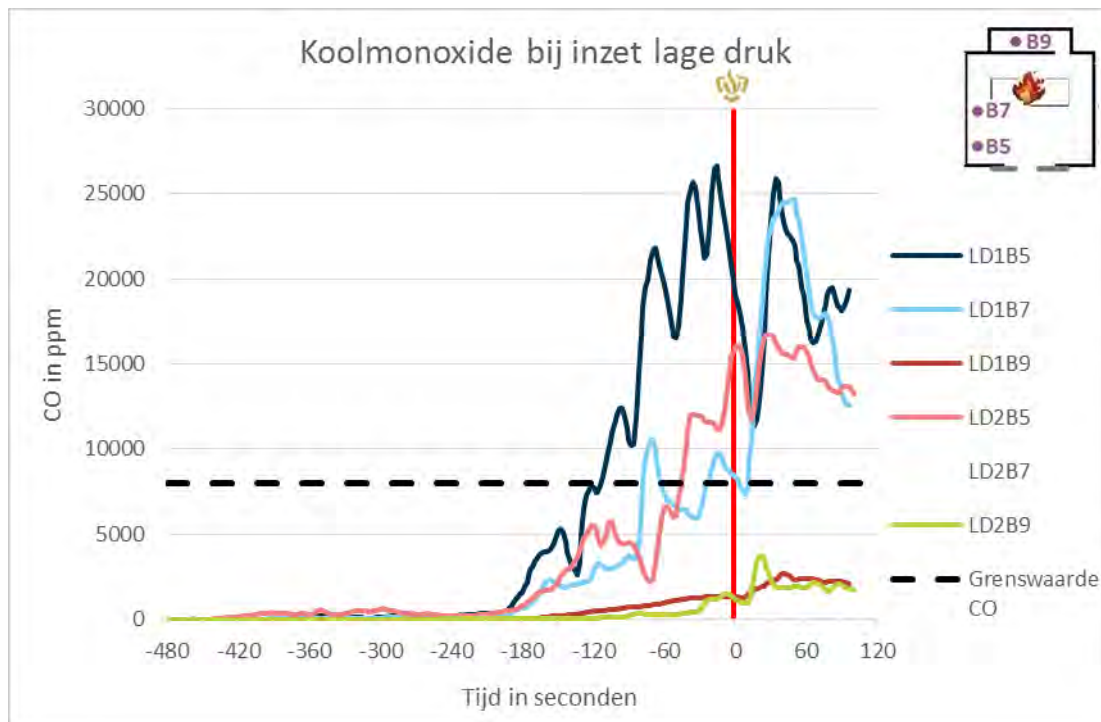
Bij beide experimenten wordt op slachtofferlocatie 1 en 2 de grenswaarde voor straling al in de opstartfase overschreden. Wat in de grafiek goed is te zien, is dat na start van de inzet er op deze twee locaties hogere pieken in straling bereikt worden. De gemiddelde waarden liggen op slachtofferlocatie 2 hoger dan op -locatie 1. Bij het tweede slachtoffer zijn pieken te zien ruim boven de 20 kW/m². Bij slachtoffer nummer 3 worden alleen waarden gemeten die ver beneden de grenswaarde blijven.



Figuur 3-52. Straling op slachtofferniveau bij inzet LD

Koolmonoxide (CO)

Tijdens beide experimenten loopt de concentratie CO bij het eerste slachtoffer (B5) al in de opstartfase op tot boven de grenswaarde van 8.000 ppm. Ook tijdens de inzet is een grillig verloop te zien. Vanwege een fout in de meetapparatuur van bus 7 tijdens de tweede inzet met LD, zijn er voor die locatie (LD2B7) geen correcte meetgegevens beschikbaar.



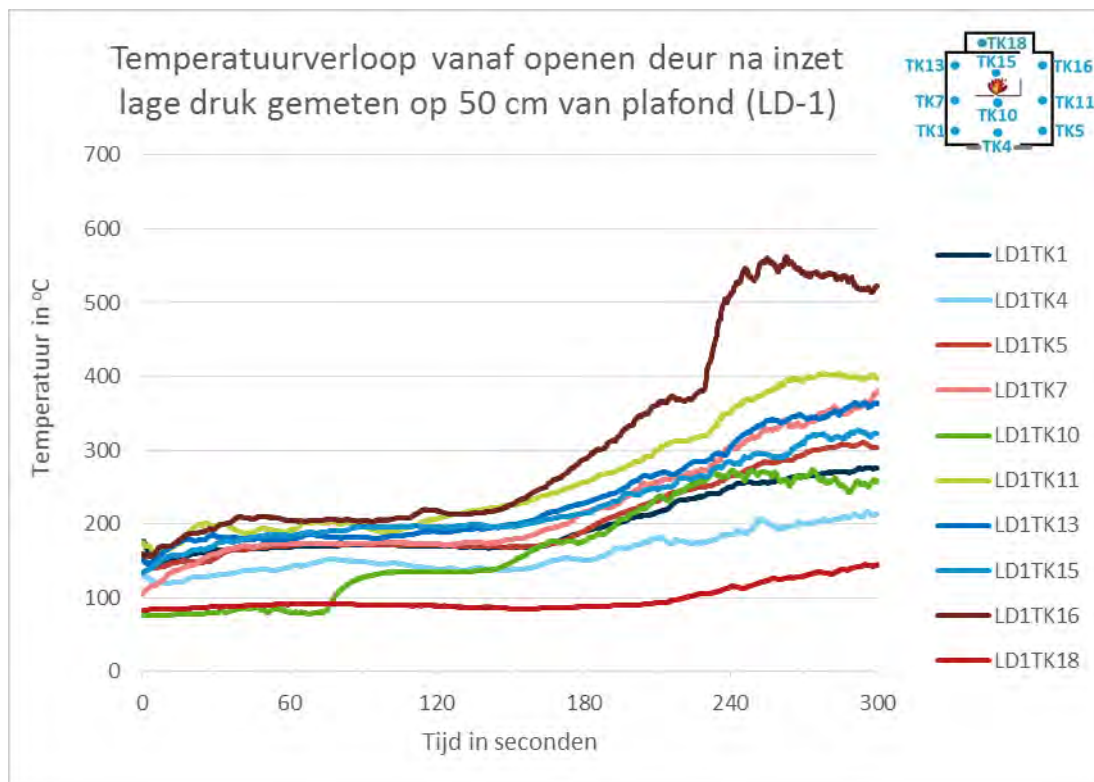
Figuur 3-53. Concentratie CO op slachtofferniveau bij inzet LD

Bij inzet met LD zijn de grenswaarden voor temperatuur, straling en CO in de brandruimte overschreden. Na de start van de inzet is vooral bij straling een sterke toename te zien. De temperatuur daalt sterk na de start van de inzet. In de kantoorruimte worden de grenswaarden voor overleefbaarheid niet overschreden gedurende het gehele experiment.

3.7.4 Effect na inzet

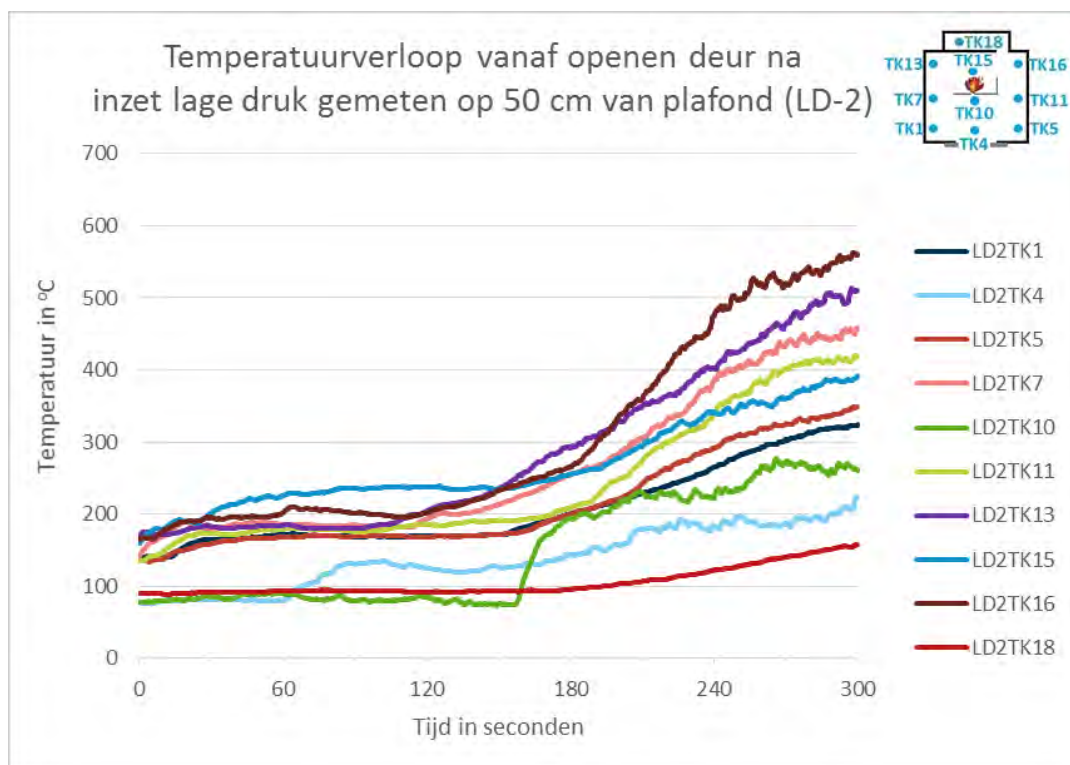
Er is gekeken naar het effect van het stoppen van de offensieve buiteninzet en het openen van een deur voor de offensieve binneninzet. Tijdens beide experimenten waren er aan het einde van de inzet nog enkele gloeibranden zichtbaar. 1,5 minuut na het openen van de deur, zijn weer kleine vlammen zichtbaar. Daarna breidt de brand zich in de resterende minuten verder uit, totdat weer een behoorlijk gedeelte van de vuurhaard in brand staat.

Te zien is in figuur 3-54 dat de temperatuur na afloop van de inzet weer langzaam begint te stijgen. Op thermokoppel 10 is na ongeveer 75 seconden een snelle stijging te zien. Bij de andere thermokoppels begint de temperatuur rond de 150 seconden sneller te stijgen. De temperatuur in de kantoorruimte (TK18) blijft lager liggen dan op de andere plaatsen, maar stijgt ook licht mee.



Figuur 3-54. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet LD (LD-1)

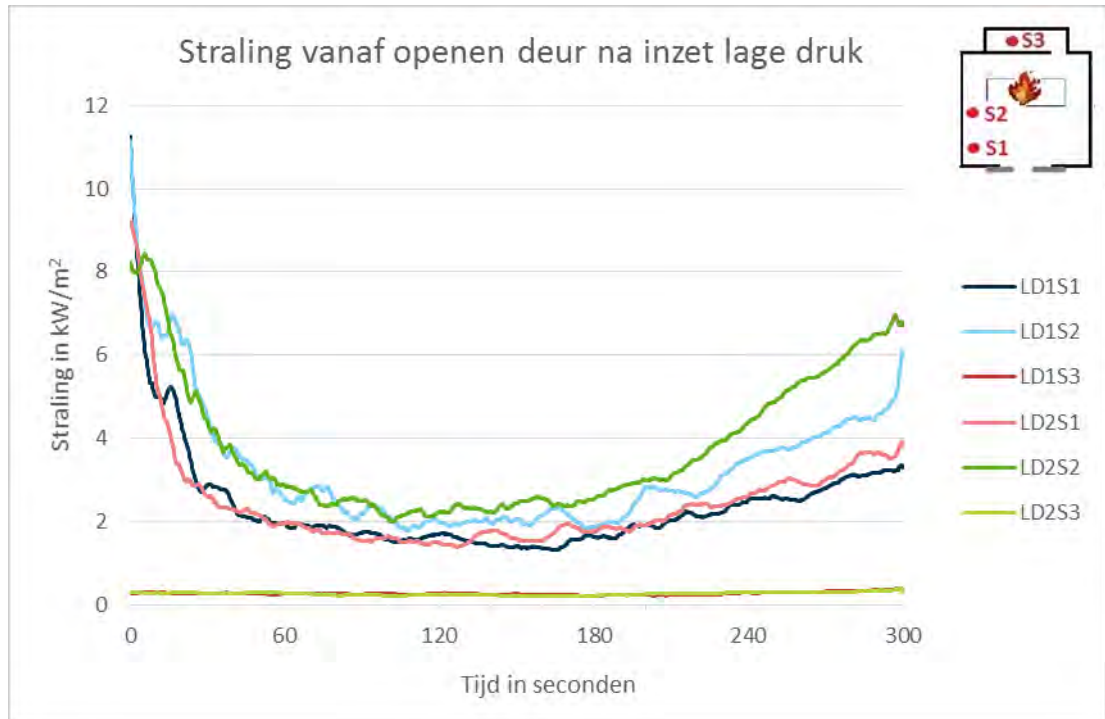
Het tweede experiment laat een vergelijkbaar beeld zien. Ook nu loopt de temperatuur na afloop van de inzet vrij gestaag op en vindt er bij de meeste thermokoppels tussen de 120 en 160 seconden een relatief snellere temperatuurstijging plaats. Opnieuw laat thermokoppel 10 een snelle stijging zien, al treedt dit nu later op.



Figuur 3-55. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet LD (LD-2)

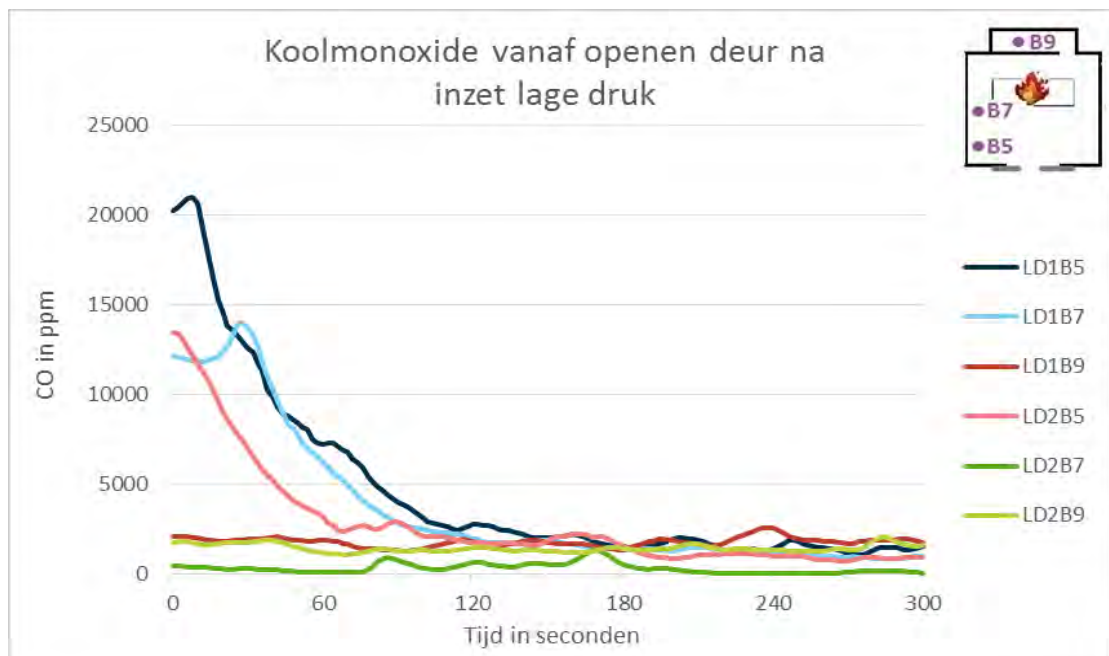
De straling neemt in beide experimenten snel af nadat de inzet is beëindigd. Deze daling zet in de eerste paar minuten door en na ongeveer 180 seconden zie je op locaties van

slachtoffer 1 en 2 weer een stijging. Dit is verklaarbaar, omdat richting het einde van deze 'deur open fase' de vuurhaard steeds harder begint te branden.



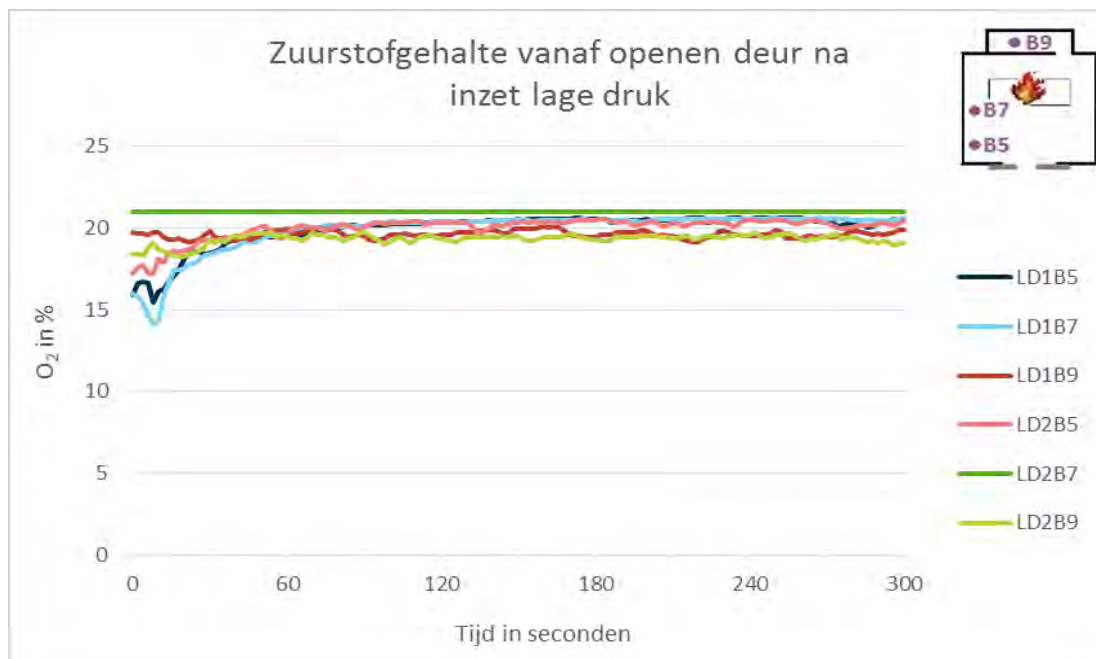
Figuur 3-56. Straling vanaf openen deur na inzet LD

Ook in de concentratie van CO is, met uitzondering van soms een kleine piek, een daling te zien nadat de inzet is beëindigd en de deur is opengezet. In de concentratie CO is niet direct terug te zien wanneer het vuur weer harder begint te branden; de concentratie loopt vrij 'kabbelend' door richting het einde van de inzet, zonder een overduidelijke toename.



Figuur 3-57. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet LD

Het O₂-gehalte in de brandruimte neemt vanaf het openen van de deur weer toe. Ook nu is er niet een duidelijk effect te zien van het oplaaierende vuur richting het einde van het experiment. Het O₂-gehalte blijft op de slachtofferlocaties namelijk vrij gelijk.



Figuur 3-58. O₂-gehalte vanaf openen deur na inzet LD

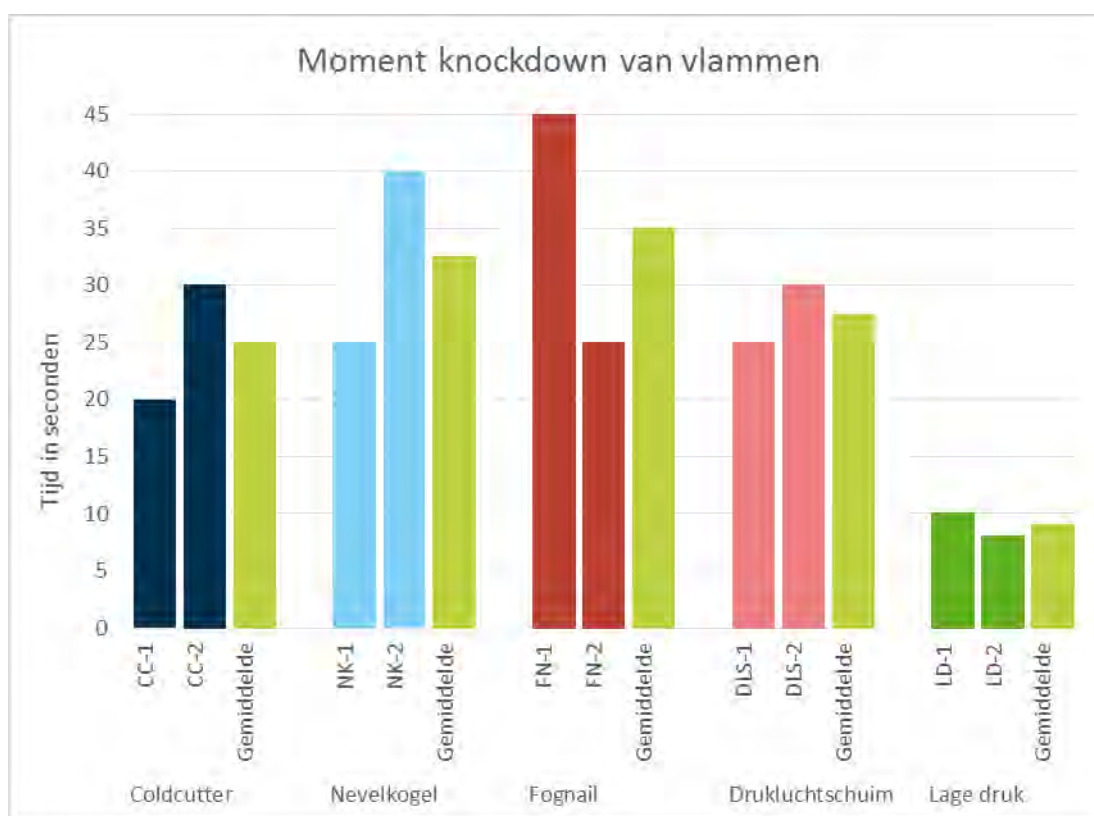
Na inzet met LD en het openen van de deur, blijkt dat onder de onderzochte omstandigheden na circa 1,5 minuut de vuurhaard weer langzaam begint te branden. De temperatuur op het referentiethermokoppel ligt na de volledige 5 minuten tussen 300 en 400°C. De straling neemt sterk af en loopt richting het einde licht toe in intensiteit. De concentratie CO daalt behoorlijk en ook het O₂-gehalte stijgt naar rond 20 procent.

4 Vergelijking tussen de inzettechnieken

In dit hoofdstuk wordt een vergelijking gemaakt tussen de inzettechnieken.

4.1 Blussing

In figuur 4-1 is te zien na hoeveel seconden er een (eerste) knockdown van vlammen was. Uit de vergelijking blijkt dat de LD inzettechniek bij beide experimenten de snelste knockdown van vlammen wist te bewerkstelligen. De verschillen tussen de technieken zijn klein en beperken zich tot enkele tientallen seconden.



Figuur 4-1. Tijd tot knockdown van vlammen bij verschillende inzettechnieken

Niet in alle gevallen wist het systeem te voorkomen dat nog tijdens de inzet het vuur weer oplaaide. In onderstaande tabel (tabel 4-1) is aangegeven of tijdens de inzetfase de knockdown van de vlammen gehandhaafd bleef of dat het vuur oplaaide. Daarnaast is aangegeven of er na de knockdown van de vlammen nog gloeibranden in de vuurhaard zichtbaar bleven.

Tabel 4-1. Overzicht resultaten blussing bij de verschillende technieken

Techniek	Knockdown bereikt?	Knockdown blijft in stand gedurende de inzet	Volledige blussing? (geen brand in gloeistadium)
CC	✓	✓	✗
NK	✓	✗	✗
FN	✓ ²⁸	✗	✗
DLS	✓	✓	✗
LD	✓	✓	✗

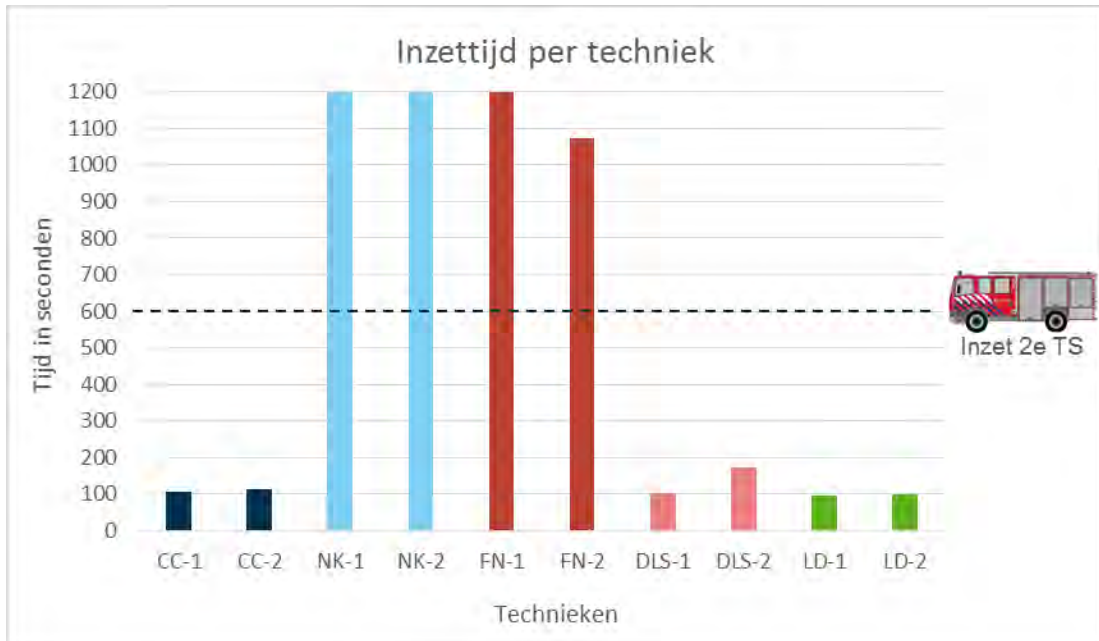
Alle technieken wisten in de onderzochte proefopstelling binnen 45 seconden een knockdown van de vlammen te creëren. Als enige twee inzettechnieken slaagden de NK en FN er gedurende de eerste 10 minuten niet in om hun knockdown van de vlammen in stand te houden. De andere drie inzettechnieken bereiken als resultaat dat de brand tijdens de inzet niet meer oplaait. Bij alle technieken blijven er branden in het gloeistadium zichtbaar. Deze bevinden zich meestal onder en wat dieper in de vuurstacks. Vanuit deze gloeibranden heeft de vuurhaard na het einde van de inzet weer kans om zich te ontwikkelen.

4.2 Koeling

Drie van de vijf onderzochte technieken (CC, DLS en LD) zijn in staat om de temperatuur binnen de gestelde tijd (600 seconden) onder de 150°C te brengen op thermokoppel 15. Alle genoemde technieken doen dit binnen 180 seconden.

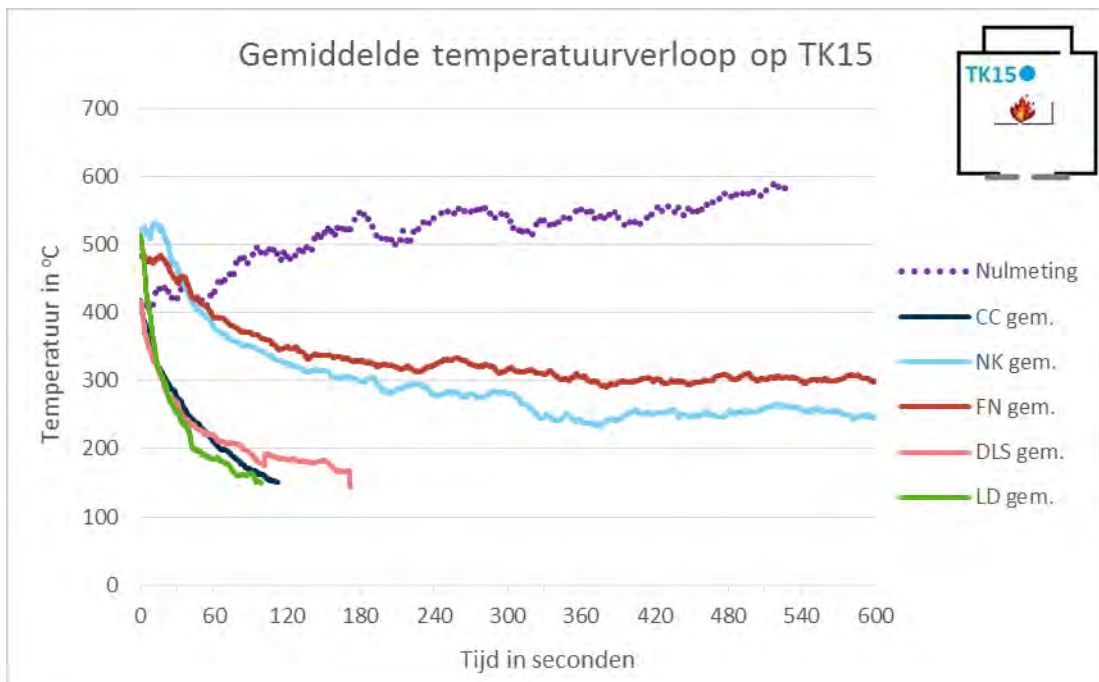
In figuur 4-2 is te zien dat bij de technieken met een relatief korte worplengte (NK en FN) dit niet binnen 600 seconden lukt. Daarom is een tweede tankautospuit ingezet. Bij beide inzetten met de NK en één inzet met FN is het uiteindelijk ook met twee tankautospuiten niet gelukt om de temperatuur binnen de maximale experimenttijd van 1200 seconden (20 minuten continue inzetten) onder 150°C te krijgen.

²⁸ Uit de beelden van de warmtebeeldcamera blijkt dat er nog enkele kleine vlammen zichtbaar blijven. De (grote) vlammen worden echter na het inzetten van de FN neergeslagen.



Figuur 4-2. Inzettijden per techniek

Met elke inzettechniek zijn twee experimenten uitgevoerd. Als gekeken wordt naar het gemiddelde temperatuurverloop op thermokoppel 15, dan is een vergelijkbaar beeld te zien. Ook in de steilheid van de lijn scoren respectievelijk LD, CC en DLS het best en vergelijkbaar. Dit is weergegeven in figuur 4-3. Verder is te zien dat waargenomen temperaturdalingen daadwerkelijk het gevolg zijn van de inzet: in de nulmeting is uitsluitend een licht stijgende lijn te zien.

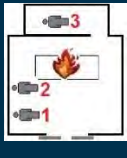
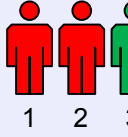
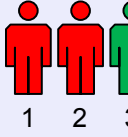
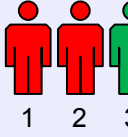
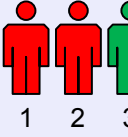
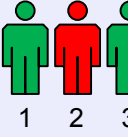
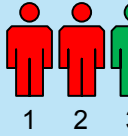
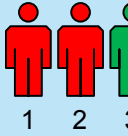
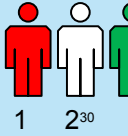
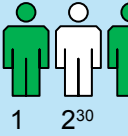
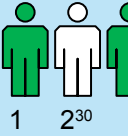
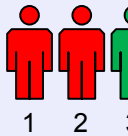
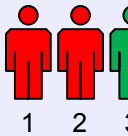
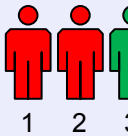
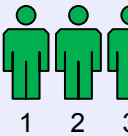
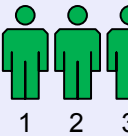
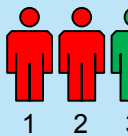
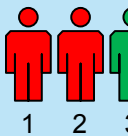
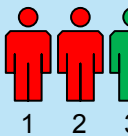
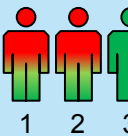
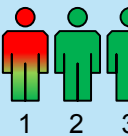
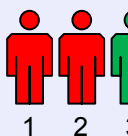
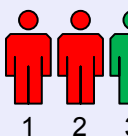
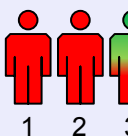
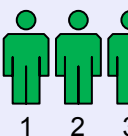
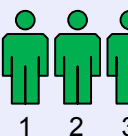
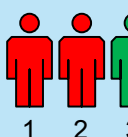
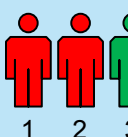
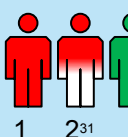
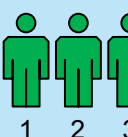
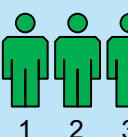


Figuur 4-3. Gemiddelde temperatuurverloop op referentiethermokoppel per inzettechniek

4.3 Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

Om een vergelijking te kunnen maken op het gebied van parameters voor overleefbaarheid, zijn in tabel 4-2 de uitkomsten op hoofdlijnen weergegeven meegenomen. Hierin wordt aangegeven of de grenswaarde in de inzetfase is overschreden. Een groen figuurtje betekent dat bij beide inzetten de grenswaarde voor overleefbaarheid niet is overschreden. Een rood figuurtje betekent dat in beide inzetten de grenswaarden wel is overschreden. Een groen/rood figuurtje betekent dat in één van de twee inzetten de grenswaarde is overschreden. De drie figuurtjes geven de drie slachtoffers aan die in het gebouw lagen.

Tabel 4-2. Overschrijden grenswaarde voor verschillende parameters per techniek

	Temperatuur	Straling	CO	O ₂	NO _x
Nulmeting ²⁹	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3
CC	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 ³⁰ 3	 1 2 ³⁰ 3	 1 2 ³⁰ 3
NK	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3
FN	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3
DLS	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 3
LD	 1 2 3	 1 2 3	 1 2 ³¹ 3	 1 2 3	 1 2 3

Te zien is dat bij alle technieken én de nulmeting de grenswaarden voor temperatuur en straling worden overschreden bij slachtoffer 1 en 2, evenals de grenswaarde voor CO bij slachtoffer 1. Bij slachtoffer 2 is dit in de meeste inzetten het geval.

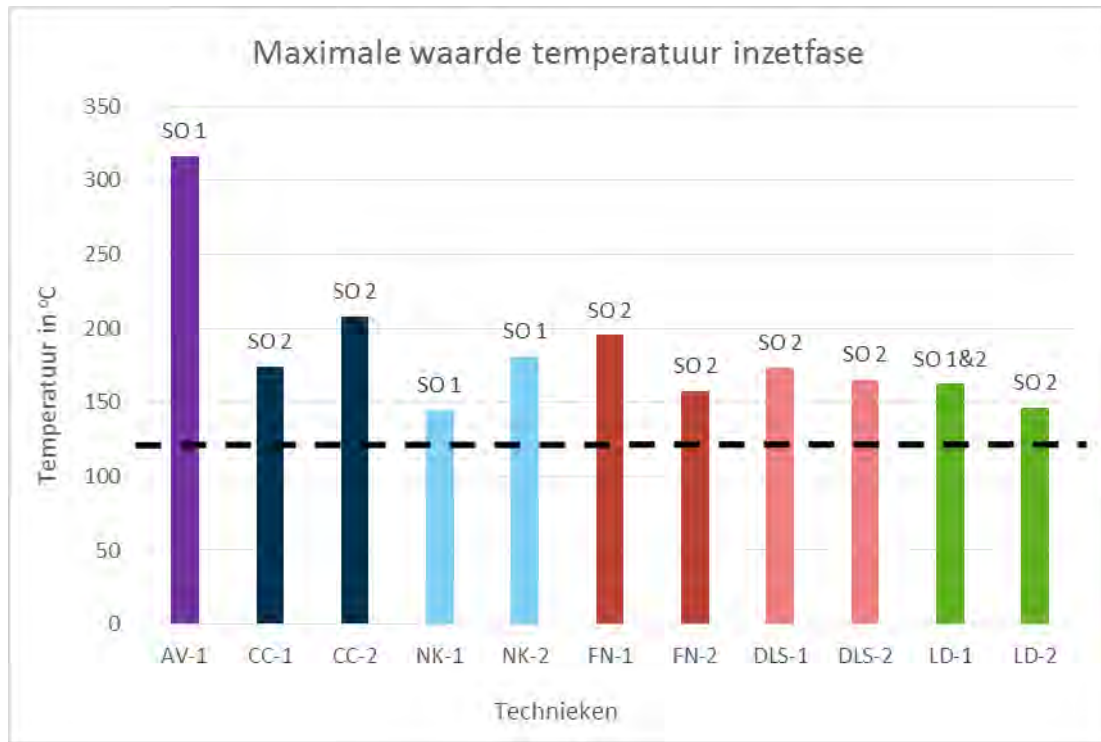
²⁹ De nulmeting betreft één experiment, de ingezette technieken zijn in tweevoud uitgevoerd.

³⁰ De CO, O₂ en NO_x-meting bij slachtoffer 2 bij CC is niet betrouwbaar wegens storing in verdunningsfactor meetapparatuur.

³¹ De CO-meting bij slachtoffer 2 bij LD2 is niet betrouwbaar wegens storing in meetapparatuur.

Wat opvalt, is dat bij slachtoffer 3 de grenswaarden voor overleefbaarheid niet worden overschreden (op één inzet met DLS na) gedurende het gehele experiment. Dit geldt zowel bij de nulmeting (zonder inzet) als bij de offensieve buiteninzettechnieken.

Om inzicht te geven in de mate van overschrijding, zijn de maximale waarden in de inzetfase opgenomen in figuur 4-4 tot en met 4-8. In de figuren is aangegeven bij welk slachtoffer de maximale waarde is gemeten.



Figuur 4-4. Maximale waarde van de temperatuur tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV)

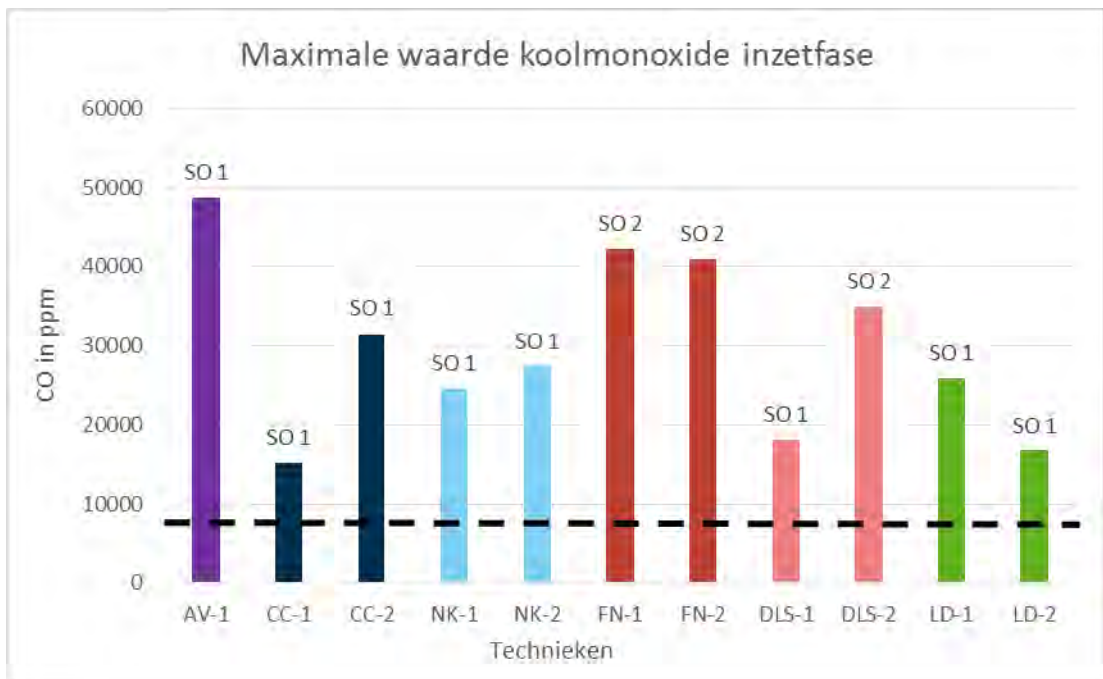
In figuur 4-4 is te zien dat de grenswaarde voor temperatuur tijdens de inzetfase bij alle technieken en de nulmeting wordt overschreden. De overschrijding is bij de nulmeting het hoogst. Bij de meeste technieken wordt de hoogste waarde gemeten bij slachtoffer 2. Uitzonderingen hierop zijn de nulmeting en de NK, waar slachtoffer 1 aan de hoogste waarden wordt blootgesteld.

Als gekeken wordt naar de maximale waarde van de straling in de inzetfase (figuur 4-5), is te zien dat bij alle technieken en de nulmeting de waarden boven de 15 kW/m² liggen. Dit is ruim boven de stralingsgrenswaarde van 6 kW/m². Opvallend is dat bij de technieken met een grote worplengte (CC, LD, DLS) slachtoffer 2 aan de hoogste waarden wordt blootgesteld, terwijl dit bij de technieken met een kortere worplengte (NK, FN) en de nulmeting veelal slachtoffer 1 is.



Figuur 4-5. Maximale waarde van de straling tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV)

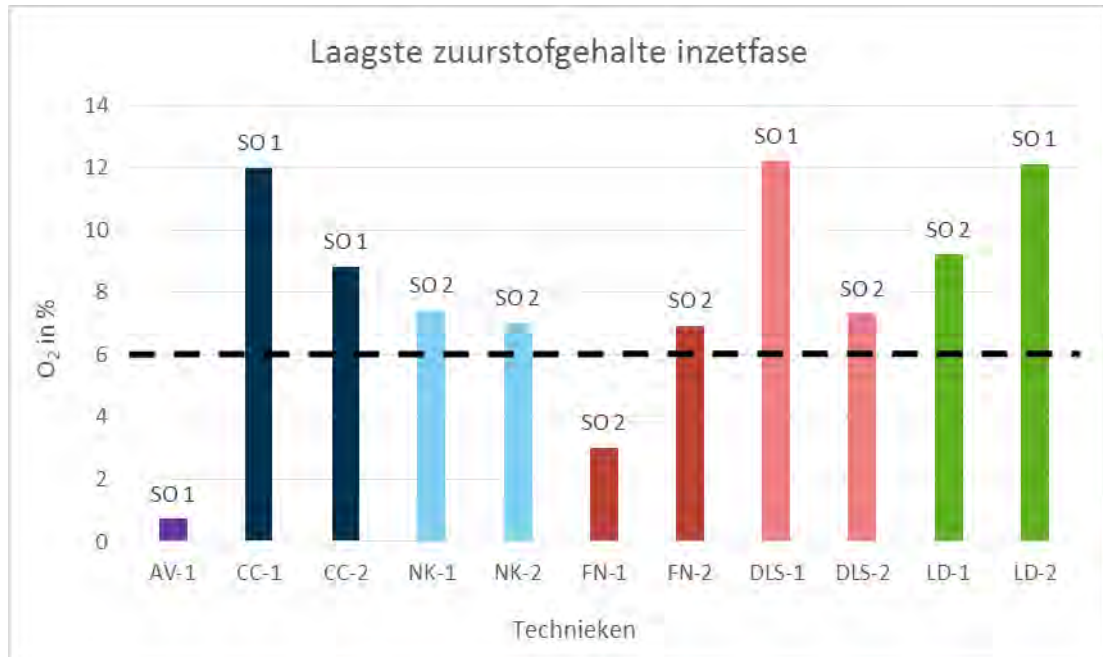
In figuur 4-6 is te zien dat de maximale waarden van de inzetten en de nulmeting voor CO ruim boven de grenswaarde van 8000 ppm komen. De mate van overschrijding van de grenswaarde laat zien, dat bij de nulmeting de gemeten waarden van CO aanmerkelijk hoger liggen dan bij de onderzochte technieken. Hierbij is een wisselend beeld te zien of het slachtoffer 1 of slachtoffer 2 betreft.



Figuur 4-6. Maximale waarde CO tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV)

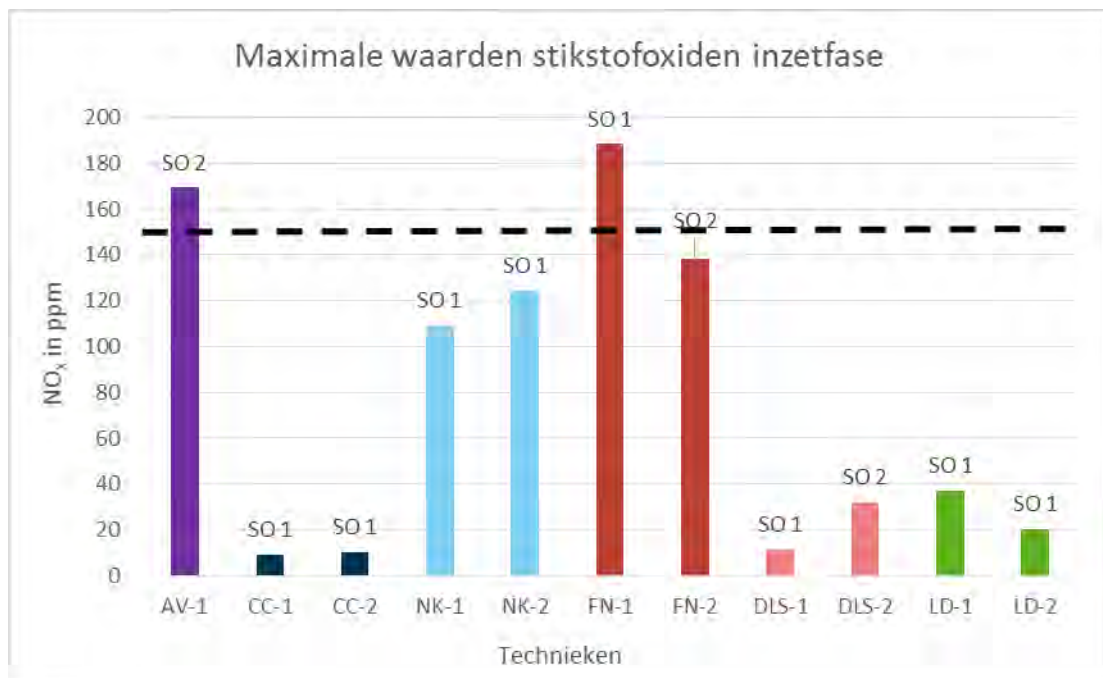
Als gekeken wordt naar het laagste O₂-percentage (figuur 4-7), is te zien dat deze bij de nulmeting en één inzet met FN (FN-1) de grenswaarde van 6% heeft overschreden. Bij de

andere technieken blijft het O₂-gehalte ruim boven de grenswaarde. Er is een wisselend beeld te zien welk slachtoffer het betreft. Bij de nulmeting is het percentage veruit het laagst.



Figuur 4-7. Laagste O₂-gehalte tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV)

De maximale waarde van NO_x zijn het hoogst bij de nulmeting, de NK en FN. De technieken die lage waarden hadden, zijn ook de technieken die zorgden voor een snelle koeling (CC, DLS, LD). De maximale waarden zijn te zien in figuur 4-8.



Figuur 4-8. Maximale waarde van NO_x tijdens inzet van de verschillende technieken en de nulmeting (AV)

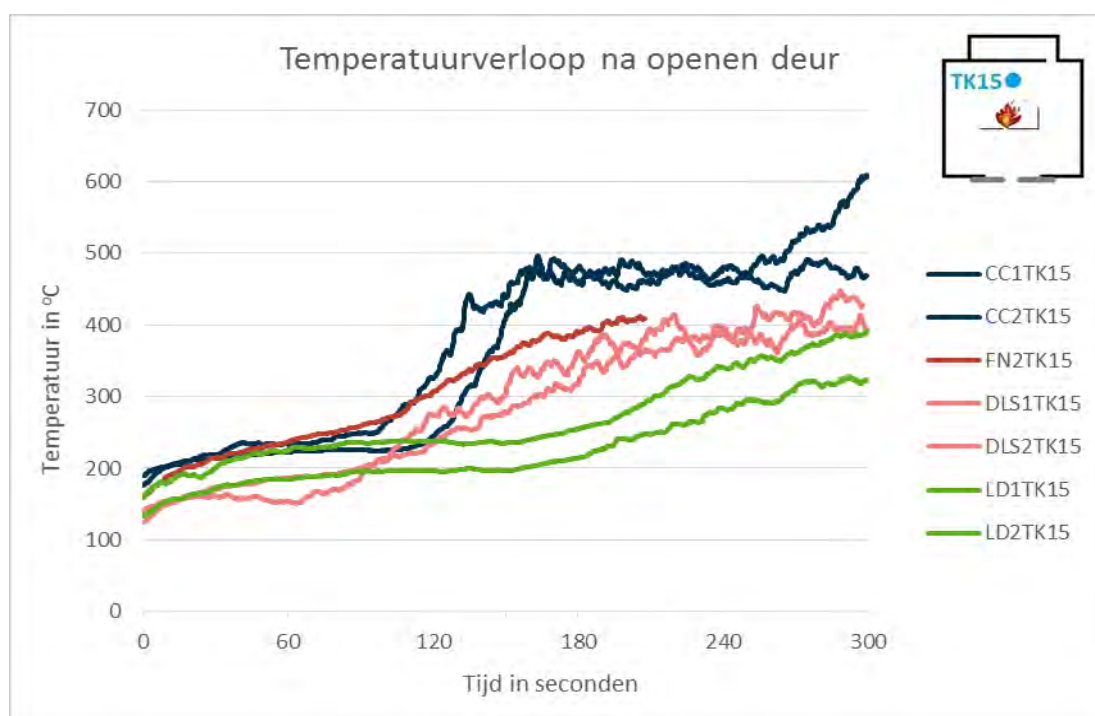
4.4 Effect na inzet

Er is een vergelijking gemaakt van het effect na de offensieve buiteninzet, om te bepalen wat het effect is van het openen van een deur ten behoeve van het overschakelen op de offensieve binneninzet. Uit tabel 4-3 blijkt dat er bij alle vier technieken die de temperatuur onder de 150°C wisten te brengen (CC, DLS, LD en één inzet met FN), heroplaaiing van de brand plaats vindt na het openen van de deur na de inzet. Als de heroplaaiing plaatsvindt, blijkt de temperatuur in korte tijd sterk te stijgen.

Tabel 4-3. Overzicht van heroplaaiing, moment van heroplaaiing en bijzonderheden

	Heroplaaiing	Moment heroplaaiing na einde inzet
CC	Ja	90-100 seconden
FN-2	Ja	Direct na openen deur
DLS	Ja	35-70 seconden
LD	Ja	90-100 seconden

In figuur 4-9 is het temperatuurverloop vanaf het openen van de deur te zien. Bij alle technieken is een stijging van de temperatuur te zien, die oploopt tot tussen de 300 en 600°C. Gedurende de eerste 90 seconden is de stijging relatief beperkt.



Figuur 4-9. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet

4.5 Waterverbruik

In de tabel is het waterverbruik weergegeven bij de inzet in de brandruimte. Deze gegevens zijn opgenomen als achtergrondinformatie bij de interpretatie van de voorgaande resultaten.

Tabel 4-4. Waterverbruik per inzettechniek bij inzet in de brandruimte

Techniek	Experiment	Waterverbruik (dm ³)
CC	CC-1	106
	CC-2	111
NK	NK-1	10500
	NK-2	10720
FN	FN-1	3106
	FN-2	2790
DLS	DLS-1	429
	DLS-2	687
LD	LD-1	1441
	LD-2	1412

5 Conclusies

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag en de deelvragen zoals beschreven in de inleiding. Bij de duiding van de conclusies is het belangrijk te weten dat in het onderzoek uitsluitend één proefopzet met één scenario onderzocht. Dit betekent dat de conclusies van het onderzoek geldig zijn voor de onderzochte proefopzet en scenario, en alleen met de nodige voorzichtigheid en verstand mogen worden gegeneraliseerd of toegepast op andere omstandigheden.

De hoofdvraag in dit onderzoek luidde:

In hoeverre kunnen met de gekozen offensieve buiteninzet technieken de beoogde effecten voor een offensieve buiteninzet worden bereikt bij een ventilatie gecontroleerde brand in een groot (industrie)pand met een realistische en uitbreidbare vuurlast en in hoeverre blijven deze effecten in stand na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?

De offensieve buiteninzet kent een drietal doelen. Met een offensieve buiteninzet:

1. kan de brand van buitenaf worden geblust
2. kunnen de rookgassen binnen voldoende worden gekoeld zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninzet
3. kan het niveau van de parameters voor overleefbaarheid verbeterd worden

De hoofdvraag wordt aan de hand van vier deelvragen beantwoord.

In deelvraag 1 tot en met 3 wordt ingegaan op de mate waarin de offensieve buiteninzettechnieken de doelen van een offensieve buiteninzet hebben bereikt.

Bij de beantwoording van deelvraag 4 wordt ingegaan op de mate waarin de beoogde doelen in stand blijven na het beëindigen van een geslaagde offensieve buiteninzet wanneer wordt overgeschakeld naar een offensieve binneninzet.

Deelvraag 1. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat de brand in het pand te blussen?

Het eerste doel van de offensieve buiteninzet (de brand van buitenaf blussen) wordt bereikt door CC, DLS en LD. Weliswaar zijn alle technieken in staat binnen 45 seconden een knockdown te bereiken, maar niet bij alle inzettechnieken blijft deze knockdown gedurende de inzet in stand. Zowel bij inzet van de NK als bij inzet van de FN laaide het vuur tijdens de inzet weer op. De andere inzettechnieken waren wel in staat om gedurende hun inzet een blijvende knockdown te bewerkstelligen.

Offensieve inzettechnieken met een grotere worplengte lijken dan ook meer effectief te zijn in het blussen van de brand. Het debiet lijkt daarbij van ondergeschikt belang, aangezien het debiet van de CC vele malen lager is dan bij LD en DLS en toch vergelijkbare resultaten bereikt. Wel blijven bij alle blussende technieken nog gloeibranden in de vuurhaard over.

Doel offensieve buiteninzet	CC	NK	FN	DLS	LD
Met een offensieve buiteninzet kan de brand van buitenaf worden geblust	✓	✗	✗	✓	✓

Deelvraag 2. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat om de rookgassen in het pand dusdanig te koelen dat een offensieve binneninzet mogelijk is?

Het tweede doel van de offensieve buiteninzet (rookgassen koelen) wordt bereikt door CC, DLS en LD. Alle drie zijn in staat om de temperatuur in de brandruimte binnen 3 minuten onder de grenswaarde van 150°C te brengen. De technieken met een relatief korte worplengte (NK en FN) waren op basis van één tankautospuiter niet in staat binnen 10 minuten continue inzet de temperatuur onder de grenswaarde te brengen. Ook na opschaling naar een tweede tankautospuiter en wederom 10 minuten continue inzetten lukt het niet, met uitzondering van één inzet met FN na 18 minuten.

Doel offensieve buiteninzet	CC	NK	FN	DLS	LD
Met een offensieve buiteninzet kunnen de rookgassen binnen voldoende worden gekoeld zodat een veilige situatie wordt gecreëerd voor een offensieve binneninzet	✓	✗	✗ ✓	✓	✓

Deelvraag 3. In hoeverre zijn de offensieve buiteninzettechnieken in staat om het niveau van de parameters voor overleefbaarheid (temperatuur, straling, CO, O₂, NO_x op slachtofferniveau) in de verschillende ruimten te verbeteren?

Het blijkt dat er een aantal factoren van invloed zijn op de overschrijding van de grenswaarden voor overleefbaarheid. Het gaat daarbij niet alleen om de offensieve buiteninzettechniek zelf, maar ook om de locatie van het slachtoffer ten opzichte van de vuurhaard en de lay-out van de ruimte(n). Bij zowel de nulmeting als bij alle experimenten van de offensieve buiteninzettechnieken worden één of meer grenswaarden voor overleefbaarheid overschreden voor beide slachtoffers in de brandruimte. Hierin maken de offensieve buiteninzetten in deze opzet voor de slachtoffers dus niet het verschil. Op één test na zijn *geen* van de grenswaarden voor overleefbaarheid voor slachtoffer 3 in de kantoorruimte (welke in verbinding stond met de brandruimte) gedurende de hele brand/inzet overschreden. Een daadwerkelijk slachtoffer in deze aangrenzende ruimte zou een reële kans hebben om deze brand te overleven.

Hoewel één of meerdere grenswaarden in de brandruimte overschreden zijn, zowel bij de offensieve buiteninzetten als bij de nulmeting, is het toch interessant te kijken naar de mate van overschrijding van de grenswaarden. Hiermee worden eventuele positieve of negatieve effecten van de offensieve buiteninzet ten opzichte van de nulmeting alsnog zichtbaar.

Temperatuur

In de brandruimte wordt de grenswaarde voor temperatuur overschreden bij alle technieken. Hoewel de grenswaarde wordt overschreden, is de overschrijding bij alle offensieve buiteninzettechnieken minder groot dan bij de nulmeting. De onderzochte technieken lijken daarom een positief effect te hebben op de parameter temperatuur ten opzichte van de nulmeting (circa 10 minuten lang niet inzetten).

Straling

In de brandruimte was bij alle technieken en de nulmeting een overschrijding. Wat echter opvalt, is dat bij alle technieken direct vanaf de start van de inzet de straling sterk stijgt op slachtofferniveau. Bij de nulmeting is er een gestage stijging van de straling. Bij de inzet van de offensieve buiteninzettechnieken neemt de straling na verloop van tijd af, waarschijnlijk als gevolg van de bereikte knockdown.

Een offensieve buiteninzet heeft daarom in eerste instantie een negatief effect op de overleefbaarheid voor het slachtoffer op het gebied van straling, waarschijnlijk als gevolg van opmenging of werveling van de rookgaslaag waardoor deze daalt en dichter bij het slachtoffer komt.

Koolmonoxide (CO)

Bij de nulmeting en de onderzochte technieken komt de concentratie CO in de brandruimte ruim boven de grenswaarde. Als gekeken wordt naar de mate van overschrijding, dan laten de offensieve buiteninzettechnieken tijdens de inzet lagere waarden voor CO zien dan in de nulmeting. Omdat er echter ook al voor de inzet sprake is van een toename, is niet met zekerheid vast te stellen wat de invloed is van de offensieve buiteninzet op de slachtoffers in de brandruimte.

In de onderzochte proefopstelling blijft in de kantoorruimte (met uitzondering van één inzet met DLS) het CO-gehalte gedurende de gehele inzet onder de grenswaarde.

Zuurstof (O₂)

Tijdens de nulmeting komt het O₂-gehalte in de brandruimte ruim onder de grenswaarde. Bij vier van de vijf onderzochte technieken (CC, NK, DLS en LD) wordt de grenswaarde voor O₂ bij geen enkel slachtoffer overschreden tijdens de inzet. Deze inzettechnieken hebben een positieve invloed op de parameter O₂ voor de overleefbaarheid van mogelijke slachtoffers. Bij inzetten met de FN is een wisselend beeld te zien: bij de eerste inzet is de grenswaarde overschreden, bij de tweede inzet niet.

Stikstofoxiden (NO_x)

Bij de nulmeting en één van de experimenten met FN wordt de grenswaarde voor NO_x overschreden in de brandruimte. Bij de grenswaarden voor NO_x is een positief effect te zien van de technieken die in staat zijn om een blijvende knockdown te creëren. Ook bij het andere experiment met FN en de experimenten met de NK zijn de gemeten waarden voor NO_x echter aanmerkelijk hoger dan de technieken die in staat zijn een blijvende knockdown te creëren (CC, LD en DLS) en min of meer vergelijkbaar met de nulmeting.

In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van de effecten van de offensieve buiteninzettechnieken op de parameters voor overleefbaarheid.

Effect van offensieve buiteninzettechniek op overleefbaarheidsparameters ten opzichte van niets doen (nulmeting)					
	CC	NK	FN	DLS	LD
Temperatuur (°C)	+	+	+	+	+
Straling	-	-	-	-	-
CO	?	?	?	?	?
O ₂	+	+	+/-	+	+

NO _x	+	+/-	+/-	+	+
-----------------	---	-----	-----	---	---

- + = positief effect
- = negatief effect
- +/- = neutraal effect
- ? = effect van de inzettechniek is niet vast te stellen

Deelvraag 4. In hoeverre blijven de effecten op brand- en rookontwikkeling en parameters voor overleefbaarheid *in stand* na het beëindigen van de offensieve buiteninzet?

Tijdens dit onderzoek is ook onderzocht wat er gebeurt wanneer na een succesvolle offensieve buiteninzet (rookgaslaag < 150°C) een deur wordt geopend om over te schakelen naar een offensieve binneninzet. Alleen technieken die tijdens de offensieve buiteninzet succesvol waren op rookgaskoeling (temperatuur < 150°C) zijn onderzocht (CC, LD, DLS en in één van de twee FN experimenten). Bij alle onderzochte technieken was er een heroplaaiing na het openen van de deur. De tijdsduur waarbinnen deze heroplaaiing optrad, verschilde echter wel. Bij de FN is er een directe heroplaaiing, bij de andere drie technieken begon de vuurhaard na een halve tot anderhalve minuut weer te branden. Na circa 2 minuten is er een relatief snelle temperatuurstijging, waardoor na het overschakelen op de offensieve binneninzet relatief snel ingrijpen vereist is.

Met de toename van de temperatuur neemt ook de straling toe. Het gehalte CO neemt na het openen van de deur af, terwijl het O₂-gehalte in eerste instantie toeneemt en later (veelal na de heroplaaiing) een wisselend beeld geeft.

Hoe effectief en veilig een daadwerkelijke offensieve binneninzet is nadat er een offensieve buiteninzet is gepleegd, is geen onderdeel van het onderzoek.

Eindconclusie

Voor het blussen van de brand en voor het uitvoeren van rookgaskoeling in de geteste omstandigheden (een afgeschermd brandhaard diep in het gebouw), zijn de offensieve buiteninzettechnieken met een grote worplengte (CC, DLS en LD) het meest effectief wanneer zij worden ingezet bij een offensieve buiteninzet. Technieken met een relatief korte worplengte lijken de vuurhaard onvoldoende te bereiken en onvoldoende diep in de rookgaslaag door te dringen.

In de onderzochte proefopstelling is er na de geslaagde offensieve buiteninzetten tijd om veilig over te schakelen op een offensieve binneninzet. Een vlotte overschakeling op een offensieve binneninzet richting de vuurhaard is echter wel noodzakelijk, omdat de eenmaal oploeiende brand leidt tot een snelle stijging van de temperatuur.

Zowel in de nulmeting (zonder ingrijpen) als bij alle offensieve buiteninzettechnieken wordt voor de slachtoffers in de brandruimte tenminste één van de grenswaarden voor overleefbaarheid overschreden. Dat wil echter niet zeggen dat de offensieve buiteninzettechnieken een negatief effect hebben: de temperatuur-, O₂- en NO_x-waarden zijn bij de offensieve buiteninzetten over het algemeen gunstiger dan in de situatie waarin niet wordt ingezet. Het effect is het sterkst bij de technieken met een grote worplengte. De stralingswaarden op slachtofferniveau worden door de offensieve buiteninzetten negatief beïnvloed. Het effect voor CO is dusdanig wisselend, dat hierover geen uitspraken gedaan kunnen worden.

Opvallend is dat in vrijwel alle gevallen bij slachtoffer 3 in de kantoorruimte de grenswaarde *niet* wordt overschreden gedurende de gehele brand en inzet. Dit ondanks dat die ruimte in

directe verbinding staat met de brandruimte. Het is dus in de praktijk altijd de moeite waard om een offensieve buiteninzet te doen, als het onmogelijk is om het pand bij aankomst te betreden. Er kunnen namelijk ruimten in het pand zijn, waar een overleefbare situatie is en mogelijke slachtoffers gered kunnen worden. Een offensieve buiteninzet kan de kans op een succesvolle redding in de aangrenzende ruimte vergroten door veilige binnentreding voor redding mogelijk te maken.

De resultaten van de projecten OBI 1 tot en met 5 worden verwerkt tot één integraal document, met daarin een algemene analyse over de offensieve buiteninzet. Ook wordt hierin een concreet handelingsperspectief voor de brandweer geboden. Dit rapport wordt medio 2016 verwacht.

6 Discussie

In deze discussie wordt ingegaan op de waarde, validiteit, betrouwbaarheid en beperkingen van het onderzoek. De discussie sluit af met een duiding van de resultaten voor de wetenschap en de brandweerpraktijk.

6.1 Waarde van het onderzoek

Dit onderzoek is een laatste stap in een traject van vijf uitgevoerde OBI-experimenten. Aanvullend op de eerder uitgevoerde onderzoeken komt deze onderzoeksopzet (groot gebouw, relatief grote vuurlast, slechte bereikbaarheid van de vuurhaard en een mogelijke ondergeventileerde brand) het meest overeen met praktijkscenario's waarvoor een offensieve buiteninzet gewenst is. De omvang van het pand in combinatie met de uitgevoerde metingen, onder andere op het gebied van overleefbaarheid, maakt dit experiment uniek in zijn huidige vorm. Ook internationaal gezien zijn de uitkomsten van waarde voor het begrijpen van de effecten van blustechnieken op de brand, rookgastemperatuur en de parameters voor overleefbaarheid.

6.2 Validiteit

De validiteit van het onderzoek gaat over de vraag of de metingen daadwerkelijk het beoogde effect meten. De waargenomen temperatuurdalingen zijn daadwerkelijk het gevolg van de inzetten met de verschillende technieken. Doordat er een nulmeting is uitgevoerd, konden de technieken worden vergeleken met een situatie waarin er niet wordt ingegrepen. De nulmeting laat zien dat als de deur dicht wordt gelaten en er niet wordt ingezet, de temperatuur in de brandruimte gestaag stijgt tot circa 600°C. Blijkbaar waren de ventilatiecondities – ondanks dat er een ventilatiegecontroleerde brand was – in dit geval toch nog zodanig dat de brand zich kon onderhouden. Dat hoeft niet altijd zo te zijn, maar is afhankelijk van de dichtheid van de constructie.

De inzettechniek (bijvoorbeeld straalpijpvoering) is gebaseerd op gangbare werkwijzen uit de praktijk. Brandweerkorpsen uit Nederland, die op regelmatige basis werken met de onderzochte technieken, zijn gevraagd om de inzetten conform hun toepassingswijze uit te voeren. Deze toepassingswijzen zijn niet altijd gebaseerd op eerder onderzoek. Dat wil niet zeggen dat de toepassingswijze per definitie de meest effectieve is met de betreffende techniek. De dagelijkse brandweerpraktijk is hierbij leidend geweest.

In de onderzoeksopzet is, vergelijkbaar met eerdere OBI-experimenten, een grenswaarde gesteld van 150°C op het referentiethermokoppel voor veilige binnentreding. Wanneer de temperatuur beneden deze grens kwam, werd de inzet afgebroken en werd er overgeschakeld naar de 'deur open fase'. De ondergrens van 150°C is via expert judgement vastgesteld. Daarbij moet bedacht worden dat de grenswaarde in dit onderzoek als harde grens is aangenomen. In de praktijk zal echter de mate waarin veilig binnentreden mogelijk is, van meer afhankelijk zijn dan alleen de temperatuur (zoals de samenstelling van de rookgaslaag).

Om data te verkrijgen en verzamelen is er tijdens de experimenten gebruikgemaakt van verschillende meetapparatuur. In bijlage B zijn de verschillende meetapparatuur en hun kenmerken nader beschreven. Elke meter kent een eigen bereik en bijhorende gevoeligheid. Voorafgaand aan ieder experiment is de werking van meetapparatuur gecontroleerd en zijn

deze gereedgemaakt voor het experiment. Na afloop is vooral de stralingsmeter onderwerp van discussie geweest, omdat het apparaat een vertragingstijd kent die groter is dan het aantal metingen dat per seconde werd verzameld. In de analyse is daarom gekozen om een trendlijn te trekken door de meetresultaten van de stralingsmeter, om zo de meetfout te corrigeren en een meer valide grafiek te presenteren.

6.3 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van het onderzoek gaat over de vraag of dezelfde resultaten gevonden zouden worden, als het experiment opnieuw zou worden uitgevoerd.

Om de betrouwbaarheid te vergroten is geprobeerd om ieder experiment zo goed als mogelijk onder dezelfde omstandigheden uit te voeren. Daarvoor is voorafgaand aan de experimenten een experimentprotocol opgesteld, is vuurlast gebruikt die afkomstig is uit één levering en onder dezelfde condities is opgeslagen. Tot slot is met dezelfde stokers gewerkt. Voor het toepassen van de verschillende inzettechnieken zijn ervaren brandweermensen ingezet. De configuratie van het pand en proefopstelling waren voor elk experiment hetzelfde en ook werd na iedere inzet het pand weer geconditioneerd tot dezelfde omstandigheden. Ondanks bovenstaande maatregelen, zijn er verschillen mogelijk in de branden, bijvoorbeeld als gevolg van weersomstandigheden. In bijlage C is een nadere analyse uitgewerkt van de reproduceerbaarheid van de experimenten, waarin wordt aangetoond dat de verschillen in starttemperatuur niet significant zijn geweest. Om de eventuele bias van deze verschillen enigszins te verkleinen en de betrouwbaarheid van de gemeten effecten te kunnen bepalen, zijn voor elke inzettechniek twee experimenten uitgevoerd. Dit is gebaseerd op eerdere experimenten die vijf keer zijn uitgevoerd, waarbij bleek dat de reproduceerbaarheid met deze werkwijze zeer goed was. Veelal kwamen uit beide testen dezelfde resultaten, er zijn echter ook verschillen gezien tussen twee min of meer identiek uitgevoerde experimenten. Voor toekomstig onderzoek is het daarom raadzaam het minimum aantal herhalingen van twee te heroverwegen.

6.4 Beperkingen van het onderzoek

Net als elk ander onderzoek kent ook dit onderzoek een aantal beperkingen.

De belangrijkste beperking is dat binnen dit onderzoek slechts in één configuratie, met één vuurlast en één manier van inzetten is onderzocht. Wanneer andere gebouwconfiguraties, vuurlasten, objecten of inzetwijzen worden toegepast, kan dit tot andere resultaten en daarmee conclusies leiden. De in dit rapport gepresenteerde resultaten moeten worden gezien binnen de gekozen onderzoeksopzet, toegepaste technieken en werkwijzen en scenario's. Generaliseren dient daarom met de nodige voorzichtigheid en verstandigheid te worden gedaan. Voor wat betreft de parameters voor overleefbaarheid zijn nadrukkelijk de volgende kanttekeningen te plaatsen:

- > De ingeschatte overleefbaarheid heeft betrekking op gezonde, volwassen personen. Andere leeftijdsgroepen of personen met een grotere gevoeligheid zullen mogelijk eerder overlijden. De genoemde grenzen richten zich op 50% van de bevolking.
- > De overleefbaarheid is weergegeven per parameter en daarmee gebaseerd op enkele factoren. De combinatie van factoren kan slecht worden gekwantificeerd, maar zal in de praktijk een (negatief) effect hebben op de werkelijke overleefbaarheid.
- > De grenswaarden van de losse factoren zijn ontleend aan literatuur (zie bijlage D). Op basis hiervan is een inschatting gemaakt van de grenswaarden, waarbij zoveel mogelijk is aangesloten bij internationaal geldende richtlijnen voor Fire Safety Engineering.
- > Bij irriterende stoffen zoals NO_x, leidt overschrijding van de grenswaarde niet meteen tot sterfte. Langdurige blootstelling of blootstelling aan hoge concentraties kan leiden tot

- longoedeem, verlaging van de bloeddruk en bloedschade. Afhankelijk van de ernst en eventuele complicaties leidt dit tot langdurige gezondheidsschade of overlijden.
- > De (extra) kans op overleven door een succesvolle reanimatie is niet in dit onderzoek opgenomen.
 - > Het effect van (grote hoeveelheden) schuim of water op het menselijk lichaam, bijvoorbeeld door chemische samenstelling of effecten door bijvoorbeeld onderkoeling, zijn niet meegenomen.
 - > Andere parameters dan temperatuur, straling, O₂, CO en NO_x zijn niet gemeten, terwijl parameters als blauwzuur en luchtvochtigheid ook een rol spelen in de overleefbaarheid van slachtoffers.
 - > De parameters voor overleefbaarheid (en ook temperatuur en straling) zijn maar op een beperkt aantal plaatsen in de ruimte gemeten. Situaties kunnen binnen het gebouw dermate verschillen dat het mogelijk is dat op andere locaties de overleefbaarheid zowel positief als negatief verschilt met de gepresenteerde cijfers. Ditzelfde geldt voor de hoogte waarop overleefbaarheid is gemeten. In de experimenten is het slachtofferniveau op 50 centimeter hoogte gesteld. De overleefbaarheid kan op een andere hoogte zowel positief als negatief verschillen met de gemeten situatie.

Daarnaast moet worden opgemerkt dat alleen de temperatuur van de rookgaslaag gemeten is en niet de samenstelling ervan. Ook mogelijke inertisering is niet onderzocht.

Er is er geen inzicht in de brandbaarheid van de rookgaslaag. Doordat er geen inzicht is in de samenstelling van de rookgaslaag is niet met zekerheid vast te stellen dat er sprake was van een ventilatiegecontroleerde brand. Mogelijk, gezien de omvang en beperkingen in de geslotenheid van het pand, was er voldoende (aanvoer van) O₂ aanwezig om de brand gedurende 15 minuten volledig te laten branden.

6.5 Duiding

Binnen de onderzoeken van de Brandweeracademie naar de 'offensieve buiteninzet' is dit rapport het vijfde deel. De resultaten uit de voorgaande vier onderzoeken hebben vormgegeven aan de doelstelling van het huidige en voorlopig laatste onderzoek naar de offensieve buiteninzet. Op basis van de kennis uit alle vijf uitgevoerde OBI-experimenten, zal er een overall analyse worden uitgevoerd, waarin ook uitgebreid het handelingsperspectief voor de brandweer voor een offensieve buiteninzet beschreven zal worden. Vooruitlopend daarop, wordt een eerste duiding op basis van de resultaten van OBI 5 gegeven.

Het blijkt dat de technieken die een grotere worplengte hebben, beter in staat zijn om de vuurhaard te koelen en de temperatuur in de ruimte sneller naar beneden krijgen. Het debiet lijkt hierbij van ondergeschikt belang. Met de twee inzettechnieken met een relatief kleine worplengte, de NK en FN, is het moeilijk om ook achterin de loods een koelend effect te hebben en de knockdown van de vuurhaard in stand te houden. Voor branden in vergelijkbare omstandigheden als het experiment, wordt dan ook geadviseerd in te zetten met technieken met een grote worplengte, ofwel om indien mogelijk door een buitenverkenning een inzetplaats op te zoeken die zo dicht mogelijk bij de brandhaard is. Verder is het van belang om na afloop van de offensieve buiteninzet relatief snel over te schakelen op een offensieve binneninzet, om zo de resterende gloeibranden en/of heroplaiingen af te blussen.

Anders dan vaak wordt gedacht, mag men er in een dergelijk scenario niet per definitie van uitgaan dat aanwezigen in het pand de brand niet hebben overleefd bij aankomst van de brandweer. Ook is er een reële kans dat een reddingspoging voor slachtoffers in een dergelijk groot pand in aangrenzende ruimtes, ook als ze in rechtstreekse verbinding met de brandruimte staan, succesvol kunnen zijn.

De effecten van de offensieve buiteninzet op de parameters voor slachtoffers in de brandruimte zijn wisselend: over het algemeen een positief effect op temperatuur, O₂ en

NO_x, maar een duidelijk negatief effect op straling. Zeer waarschijnlijk wordt de stralingstoename veroorzaakt door opmenging van en wervelingen in de rooklaag. Daarbij is het vermoeden dat de onderste grens van de rooklaag zakt, waardoor een verhoogde concentratie van gassen en energie in de rooklaag richting slachtofferniveau worden verplaatst en daardoor de straling op slachtofferniveau toeneemt. Hierbij lijkt het van belang te zijn wat de worplengte van een systeem is. Bij de technieken met een kleine worplengte is een verhoging van de straling vooral dichterbij de inzetplek zichtbaar. Bij een grotere worplengte neemt de gemeten straling juist achter in de ruimte toe.

Of een offensieve buiteninzet in een dergelijke specifieke situatie eerder positief of negatief zal zijn voor een aanwezig slachtoffer in de brandruimte, is daarom sterk afhankelijk van de precieze situatie. Dit is daarom moeilijk in te schatten voor een ter plaatse komende bevelvoerder. Het onderzoek heeft echter ook laten zien dat niets doen (of een defensieve buiteninzet) zeker niet zo schadelijk is voor een eventueel slachtoffer binnen. Een offensieve buiteninzet uitvoeren ten behoeve van redding (via het mogelijk maken van een veilige offensieve binneninzet), is daarom over het algemeen aan te bevelen.

Een aandachtspunt daarbij is nog dat tijdens de experimenten kan worden gemeten, waardoor het van buitenaf mogelijk is te bepalen of aan de voorlopige waarden voor veilige binnentreding werd voldaan. In de dagelijkse praktijk is het vrijwel onmogelijk te bepalen wanneer de offensieve buiteninzet geslaagd is, zodat overgeschakeld kan worden op een veilige offensieve binneninzet. Het is daarom wenselijk om naar manieren te zoeken, waarop het voor bevelvoerders mogelijk wordt om een betrouwbare inschatting voor een geslaagde offensieve buiteninzet te maken.

Bijlage A

Overzicht OBI experimenten

Binnen het OBI project zijn meerdere experimenten uitgevoerd. In hoofdstuk 1 zijn deze al kort benoemd. In onderstaande tabel is te zien hoe de verschillende experimenten tot elkaar in verhouding staan en welke variabelen er bijvoorbeeld tijdens de experimenten zijn onderzocht. Van de verschillende experimenten zijn deelrapportages beschikbaar.

Tabel A-1.

		OFFENSIEVE BUITENINZET PROJECTFASE				
		Verkennde test	OBI I (verkennde test)	OBI II+III	OBI IV	OBI V
GEBOUW	GEBOUWTYPE	Container	Industrieloofs	Woning	Kantoorgebouw (klein)	Industrieloofs
	LAY-OUT GEBOUW	Eenvoudig	Eenvoudig	Complex	Complex	Eenvoudig
	MATERIAAL GEBOUW	Staal	Staal met isolatie	Staal met deels stenen wand	Staal	Staal met isolatie
BRAND	OMVANG VUURLAST	Laag	Laag	Hoog	Hoog (beperkt oppervlak)	Hoog (groot oppervlak)
	VUURHAARD BEREIKBAAR	Bereikbaar	Bereikbaar	Niet bereikbaar	Niet bereikbaar	Bereikbaar
	VUURHAARD UITBREIDBAAR	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja
INZET	ONDERZOCHE TECHNIEKEN	Coldcutter Hoge druk	Coldcutter Hoge druk	Coldcutter Hoge druk	Coldcutter	Coldcutter
			Nevelkogel	Nevelkogel	Nevelkogel	Nevelkogel
		Fognail	Fognail	Fognail	Fognail	
		Drukluchtschuim	Drukluchtschuim	Drukluchtschuim	Drukluchtschuim	
		Lage druk	Lage druk	Lage druk	Lage druk	
	Repressieve ventilatie	Repressieve ventilatie	Repressieve ventilatie	Repressieve ventilatie		
	INZET IN	Brandruimte	Brandruimte	Buiten brandruimte	Buiten brandruimte	Brandruimte
ONDERZOEK	GEMETEN VARIABELEN	Temperatuur	Temperatuur	Temperatuur	Temperatuur	Temperatuur
			Visueel beeld	Visueel beeld	Visueel beeld	Visueel beeld
					Straling	Straling
				Zuurstof	Zuurstof	
				Koolmonoxide	Koolmonoxide	
				Stikstofoxiden	Stikstofoxiden	
	EINDCRITERIUM	Knockdown vlammen	Rookgaslaag <150°C	3 x 1 minuut inzetten systeem	Rookgaslaag <150°C	Rookgaslaag <150°C
	NA BEREIKEN EINDCRITERIUM	Afblussen	Afblussen	Afblussen	Effect op binneninzet	Effect op binneninzet

Bijlage B

Begrippenlijst en afkortingen

Begrippenlijst

Blijvende knockdown

Een knockdown die gedurende de inzet van de techniek in stand blijft.

Brandruimte

Ruimte in het gebouw waar zich de vuurhaard in bevindt.

Gloeibrand

Een brand waarbij de (brandbare) stof verbrandt en de stof hoofdzakelijk gloeit. Er hoeven daarbij geen vlammen zichtbaar te zijn.

Heroplaaien/oplaaien

Het (plotseling) heviger beginnen te branden en zich weer gaat ontwikkelen van een brand, waarbij (meer) vlammen zichtbaar worden.

Hotspot

Een punt binnen de brandhaard, waar nog een duidelijke verhoging van temperatuur (gloeï) zichtbaar is zonder dat er vlammen bij vrijkomen.

Instantane overschrijding grenswaarde

Overschrijding van de grenswaarde van een stof welke (volgens literatuur) ogenblikkelijk dodelijk is.

Knockdown

De vlammen zijn neergeslagen en zijn niet meer zichtbaar. De brand kan zich nog wel in een gloeistadium bevinden.

Kwadrantenmodel

Het model waarin meerdere tactieken staan om een brand te bestrijden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen offensieve en defensieve brandbestrijding en het binnen het gebouw of buiten het gebouw bestrijden van de brand. De vier tactieken die daarbij horen zijn: een offensieve binneninzet, een defensieve binneninzet, een offensieve buiteninzet en een defensieve buiteninzet.

Offensieve buiteninzet

Een inzet waarbij brandweermensen buiten het gebouw worden ingezet, met als doel de overlevingscondities te verbeteren, veilige betreding voor brandweermensen mogelijk te maken, uitbreiding te voorkomen en/of de brand te blussen.

Overleefbaarheid

Een indicatie van de kans weergegeven dat een persoon een brand wel of niet zou overleven. Er is geen 100 procent eenduidigheid in de definiëring van 'overleefbaarheid'. In literatuur worden verschillende begrippen genoemd als letaliteit, levensbedreigende waarde,

et cetera. Enkele definities noemen echter een situatie letaal als 1 procent van de bevolking overlijdt; andere definities gaan uit van 50 procent van de bevolking.

Pyrolyse

Pyrolyse is een scheikundige proces waarbij een stof ontleedt ten gevolge van verhitting. Hierbij komen (brandbare) gassen vrij die kunnen ontbranden wanneer hun ontbrandingstemperatuur is bereikt.

Realistische omstandigheden

Omstandigheden zoals die in de brandweerpraktijk voor kunnen komen.

Referentiethermokoppel

Thermokoppel die gebruikt is om af te lezen wanneer het eindcriterium van de inzetfase werd bereikt. Hiertoe is vooraf bepaald dat de inzet van een techniek gestopt zou worden, wanneer op het referentiethermokoppel de temperatuur gedaald was tot 150°C.

Rookgaskoeling

Het koelen (verlagen van de temperatuur) van de aanwezige zichtbare en onzichtbare rookgassen.

Rookgasontbranding

Een ontbranding van niet of gedeeltelijk verbrande pyrolysegassen. Bij een rookgasontbranding is er brandstof aanwezig, maar ontbreekt warmte of O₂. Dit wordt ook wel een *fire gas ignition* genoemd.

Rookgassen

Gassen die overblijven na de verbranding van een brandstof. Afhankelijk van de samenstelling van de brandstof en de omstandigheden waaronder de stof verbrandt, komen de rookgassen in verschillende hoeveelheden vrij en kan het verschillende componenten bevatten. In de juiste verhouding en bij de juiste ontstekings temperatuur kunnen rookgassen tot ontbranding komen en vormen daarmee een gevaar tijdens onder andere het repressieve optreden van de brandweer.

Stikstofoxiden (NO_x)

NO_x is een verzamelnaam voor de (binaire) verbindingen tussen O₂ en stikstofatomen. De verzamelnaam voor de mono-NO_x (NO, NO₂ en NO₃) is NO_x.

Straling

Een vorm van energie, waarbij de stralingsintensiteit wordt uitgedrukt in de eenheid kW/m². Straling is in dit rapport alleen gebruikt als warmtestraling en dus bijvoorbeeld niet als radioactieve straling.

Thermisch beeld

Een weergave van warmte op basis van infraroodbeelden. Deze opnames worden gemaakt met een warmtebeeldcamera. De beelden visualiseren alleen de temperatuur op het oppervlak van objecten. Voor meer informatie zie 'warmtebeeldcamera'.

Thermokoppel

Een thermokoppel is een temperatuursensor, welke bestaat uit twee draden van verschillende metalen of metaallegeringen die aan elkaar zijn verbonden. Het meetinstrument 'ziet' dus een temperatuur die eigenlijk bestaat uit twee opgetelde temperaturen (spanningen), namelijk die van de warme las en die van de koude las. Door van de totaal gemeten temperatuur de temperatuur van de koude las af te trekken, leest men de werkelijke temperatuur van het meetpunt af. Met behulp van thermokoppels kan temperatuur in een brede range nauwkeurig worden gemeten.

Veilige situatie brandweerpersoneel

De situatie wordt verondersteld veilig te zijn als de rookgassen niet plotseling kunnen ontbranden. Rookgassen kunnen op twee manieren ontbranden:

1. als ze warm genoeg zijn om tot zelfontbranding te komen, en dat komt zeer waarschijnlijk niet voor onder 150°C
2. ze kunnen ontbranden, als ze tussen de explosiegrenzen komen. Daarvoor hoeven ze niet warm te zijn, kan ook koud, maar dan is er een ontstekingsbron nodig.

In dit rapport wordt een veilige situatie gedefinieerd als een situatie waarbij de temperatuur van de rookgaslaag lager is dan 150 °C.

Ventilatiegecontroleerde brand

Een brand is ventilatiegecontroleerd als de condities zodanig zijn, dat de omvang en het vermogen van de brand worden bepaald door de hoeveelheid toetredende O₂.

Vermogen

Vermogen is een hoeveelheid energie per tijdseenheid, meestal per seconde. Vermogen wordt dan ook uitgedrukt in Joules per seconde, oftewel Watt (afkorting W).

Visueel beeld

Het visuele beeld is een opname van de ruimte, zoals we het ook met het 'blote oog' zouden zien. Het visuele beeld komt voort uit opnames met zogenaamde Zepcam camera's. Deze camera's werken volgens het normale principe van een videocamera.

Vuurlast

Het totaal aan materiaal dat bij een brand dient als brandstof en tijdens deze brand energie afgeeft. De vuurlast staat dus voor de totale verbrandingswaarde (bij volledige verbranding) van alle brandbare materialen in, op of aan een ruimte.

Warmtebeeldcamera

Met de warmtebeeldcamera kunnen temperaturen op het oppervlak van objecten worden weergegeven. Hiertoe heeft het apparaat een detector, welke gevoelig is voor infrarood straling. De detector registreert de straling en zet dit om in een elektrisch signaal. Aan elk signaal wordt een bepaalde kleur gegeven. Deze kleuren worden in het display van de warmtebeeldcamera weergegeven. Vaak wordt hierbij een schaal aangegeven van welke kleur met welke temperatuur correspondeert.

Worplengte

Met worplengte wordt de afstand bedoeld, die een blusmiddel kan overbruggen tussen de straalpijp en de plaats waar het water neerkomt.

Afkortingenlijst

AV	Anti Ventilatie
CC	Coldcutter
CFBT	Compartment Fire Behavior Training
CO	Koolmonoxide
DLS	Drukluchtschuim
FN	Fognail(s)
HD	Hoge Druk (inzetsysteem brandweer)
LD	Lage Druk (inzetsysteem brandweer)
NK	Nevelkogel
NO _x	Stikstofoxiden
OBI	Offensieve Buiteninzet
O ₂	Zuurstof
PPM	Parts Per Million (maat voor concentratie van een stof per miljoen delen)
TK	Thermokoppel

Bijlage C

Gebruikte meetapparatuur

Camera's

Tabel C-1.

Video	Reguliere camera's	Warmtebeeldcamera
Recorder	ZepCam T1-RUA recorder	Argus 4 – P7150 camera P7030EPVA – Argus 4 External Power & Video Adapter
Camera's	2x Compact camera (T1-CCA) 4x Bullet Camera (T1-BCA)	2x Argus 4 – P7150 camera
Resolutie	720x560 pixels	320x240 pixels
Framerate	25/30 fps	30 fps, 60 Hz
Range	-	-40°C tot 800°C 8-14 µm
Opname	Stream incl. opslaan op cloud Back-up opname op recorder (8 GB)en pc	CCTV to data
Datatransfer	UTP bekabeling	75 Ohm Coax BNC naar BNC kabel ABUS CCTV BNC station

Thermokoppels

Tabel C-2.

	Kenmerken
Type	K-270 L221152-034 K (chromel / alumel) standaard NF EN 60584-2
Max. temperatuur	1150 °C
Gevoeligheid	-40 tot 333 °C: ± 2,5 °C; van 333 °C tot 1200 °C ± 0,0075 x T °C.
Beschikbaarheid gegevens	De thermokoppels werden gekoppeld aan een datalogger met een meetprogramma. Hierdoor waren alle temperaturen ter plaatse beschikbaar.

Straling

Tabel C-3.

Stralingsmeter	
Merk	Hukseflux thermal sensors
Type	SGB 01 water-cooled heatflux sensor, type 50 (working range)
Aantal	5
Range	0 – 200 kW/m ² , range .50 50-75 kW/m ²
Koelwater	10 – 30 °C, vat 30 liter
Respons time	<250 ms (63%)
Elect. output	>5 mV
Data output	.txt, .xls
Meetmethode	BRON – sensor - amplifier 200x – NI DAQ module - LABVIEW

CO, O₂ en NO_x

Tabel C-4.

Gasanalyse	
Merk	Testo
Type	Testo 350 Portable Emission Analyzer
Aantal	3
Gebruikte sensoren	CO (H ₂), NO ₂ , NO, O ₂
Probetype	Standard gas sampling probe 28 inch
Toegepaste verdunning	40x
Filters	Filterset 0554 3381 3x vuilfilter 'langwerpig' (sonde, 0 meting, verdunning) 1x vuilfilter 'nonwoven' (probe) 1x vuilfilter 'woven' (condensator) 1x synthebus (probe)
Schoonmaakregime	<i>Voor iedere meting worden alle filters gecontroleerd</i> Synthebus probe – iedere meting Vuilfilter probe – iedere meting Vuilfilter condensator – iedere meting Vuilfilter sonde, 0 meting en verdunning – wanneer vuil Probe buis – wanneer vuil of bij storing

Bijlage D

Reproduceerbaarheid

Reproduceerbaarheid van de experimenten

Voordat de resultaten van het onderzoek zijn vergeleken is eerst gekeken in hoeverre de branden en de interventies tussen de verschillende experimenten en technieken met elkaar vergelijkbaar waren.

Om het gemeten temperatuurverloop met elkaar te kunnen vergelijken zijn twee correcties uitgevoerd. Allereerst is het werkelijke inzetmoment bepaald aan de hand van beelden van de reguliere en warmtebeeldcamera's. In sommige gevallen is de inzet namelijk vanwege de reactietijd niet exact op het door de onderzoeksleider aangegeven moment gestart, maar enkele seconden later.

Reproduceerbaarheid van de brandontwikkeling

Na het aansteken van de brand werd op basis van het bereiken van een temperatuur van ten minste 400°C op TK10 als mede de visuele waarneming van de rookgaslaag besloten of het experiment kon worden gestart. De temperatuur waarbij dit gebeurde is de starttemperatuur.

In tabel B1 zijn de starttemperaturen voor de experimenten weergegeven, alsmede de gemiddelde tijdsduur van de opstartfase. De analyse is uitgevoerd op thermokoppel 15 (TK15) aangezien deze zich het dichtst bij de vuurhaard bevindt.

Tabel D-1. Starttemperatuur (°C) brandruimte (TK15) en gemiddelde tijdsduur van de opstartfase(s) per techniek

Techniek	Gemiddelde Starttemperatuur TK15	Minimum Starttemperatuur TK15	Maximum Starttemperatuur TK15	Gemiddelde Tijdsduur Opstartfase In seconden
Nulmeting	418	-	-	524
CC	406	379	432	438
NK	507	497	517	549
FN	482	446	517	520
DLS	411	368	453	430
LD	514	447	580	515

Statistische toets

Uit een statistische analyse blijkt dat de starttemperaturen en de tijdsduur van de opstartfase niet significant verschillen (starttemperatuur: $F=1.427$; $p=0.353$; tijdsduur opstartfase: $F=1.143$; $p=0.444$).

Bijlage E

Bepaling grenswaarden³²

Om vast te kunnen stellen welke grenswaarden gehanteerd moeten worden voor parameters voor overleefbaarheid van mensen bij brand, moet eerst gedefinieerd worden welke factoren van invloed zijn. Het gaat daarbij expliciet niet om de mogelijkheid om te kunnen vluchten: Ook al raakt een persoon bedwelmd, de situatie is pas ‘verloren’ als een slachtoffer door de effecten van de brand komt te overlijden. Een belangrijke overweging hierbij is dat de grenswaarden om meerdere redenen arbitrair zijn:

- > Er is geen 100 procent eenduidigheid in de definiëring van ‘overleefbaarheid’. In literatuur worden verschillende begrippen genoemd als letaliteit, levensbedreigende waarde, et cetera. Enkele definities noemen echter een situatie letaal als 1 procent van de bevolking overlijdt; andere definities gaan uit van 50 procent van de bevolking.
- > Niet alle effecten van brand op mensen zijn bekend en er is discussie over de wijze waarop de bekende effecten gemeten zijn. Zo is bijvoorbeeld het effect van hitte op mensen onderzocht voor de tijdsduur waarin een persoon bereid is om in een bepaalde omgevingshitte te verblijven, maar het effect van verbrandingsgassen is bijvoorbeeld voornamelijk op proefdieren getest (muizen, ratten, primaten). De vraag is in hoeverre deze meetgegevens toepasbaar zijn op mensen.
- > Bovendien wordt overleefbaarheid niet alleen bepaald door ‘harde’ instantane grenswaarden, maar ook door de totale dosis van het betreffende effect (hitte of verbrandingsgassen) waaraan een persoon wordt blootgesteld.
- > Bij brand wordt de gezondheid van slachtoffers maar zelden slechts door één factor bedreigd. Wanneer er bijvoorbeeld koolmonoxide (CO) aanwezig is, zijn er veelal ook stikstofdioxide (NO_x) en andere verbrandingsgassen aanwezig. Waar een hoge temperatuur is, is veelal ook hittestraling (en CO en NO_x). De onderlinge invloed van deze factoren op elkaar is amper kwantificeerbaar.

Voor het bepalen van de grenswaarden voor overleefbaarheid wordt uitgegaan van de meetbare/gemeten parameters in het onderzoek. Dit zijn:

- > Hitte in de vorm van temperatuur in graden Celsius (°C)
- > Hitte in de vorm straling in kilowatt per vierkante meter (kW/m²)
- > Verstikkende rookgassen in de vorm van CO in parts per million (ppm)
- > Verstikkende omstandigheden in de vorm van een te laag O₂-percentage (%).
- > Irriterende rookgassen in de vorm van NO_x in parts per million (ppm).

Van bovenstaande parameters zal een beknopt overzicht gegeven worden van de gevonden literatuur, waarmee de uiteindelijke keuze voor de grenswaarde gemotiveerd wordt. Er is aansluiting gezocht bij grenswaarden in internationaal geldende richtlijnen voor Fire Safety Engineering.

³² Een deel van deze tekst is eerder gepubliceerd in ‘Gebrand op inzicht’ (Groenewegen & Kobes, 2015) en ‘Het kan verkeren’ (Hazebroek e.a., 2015).

Temperatuur

Voor overleving zijn er geen uniforme grenswaarden voor temperatuur bekend. Aangenomen wordt op basis van Purser (2002) dat een temperatuur van 120 °C³³ op slachtofferniveau (50 cm) leidt tot het niet kunnen overleven van de brand.

Straling

Wat betreft straling wordt gekozen voor een grenswaarde van 6 kW/m², omdat blijkt dat een persoon aan deze straling slechts 7 seconden kan worden blootgesteld.

Koolmonoxide (CO)

Voor grenswaarden voor overleefbaarheid zijn geen duidelijke grenswaarden gesteld. Eén van de gebruikte methoden is het gebruik van de waarden van AEGL-3. De Committee on Acute Exposure Guidelines (AEGL) gaat bij verschillende blootstellingsduren uit van drie niveaus van grenswaarden. In onderstaande tabel zijn de verschillende AEGL-niveaus beschreven.

Tabel E-1. AEGL-niveaus³⁴

Niveau	Beschrijving
AEGL-1	De concentratie in de lucht (in ppm of mg / m ³) van een stof waarvan verwacht kan worden dat de algemene bevolking, met inbegrip van gevoelige personen, opmerkelijke ongemak, irritatie, of bepaalde asymptomatische niet-sensorische effecten ervaren. Echter, de effecten van de gevolgen zijn beperkt en van voorbijgaande aard. Er is geen blijvend effect na beëindiging van de blootstelling. Symptomen: Lichte verbranding van de ogen, lichte hoofdpijn, benauwdheid of moeizame ademhaling bij inspanning voor 7 van de 13 astmapatiënten.
AEGL-2	De concentratie in de lucht (in ppm of mg / m ³) van een stof waarvan verwacht kan worden dat de algemene bevolking, met inbegrip van gevoelige personen, onomkeerbare of andere ernstige, langdurige schadelijke gevolgen voor de gezondheid ervaren of een verminderd vermogen om te vluchten. Symptomen: Brandend gevoel in neus en borst, hoesten, kortademigheid, speekselproductie
AEGL-3	De concentratie in de lucht (in ppm of mg / m ³) van een stof waarvan verwacht kan worden dat de algemene bevolking, met inbegrip van gevoelige personen levensbedreigende gevolgen voor de gezondheid of de dood ervaren. Symptomen: Duidelijke irritatie, histopathologische veranderingen in de longen, fibrose en oedeem van hartweefsel, necrose in de lever.

De grenswaarden voor de AEGL-niveaus voor CO zijn als volgt:

Tabel E-2. AEGL-niveaus CO

	10 minuten	30 minuten
AEGL-1	Onvoldoende data	Onvoldoende data
AEGL-2	420 ppm	150 ppm
AEGL-3	1700 ppm	600 ppm

³³ Hazebroek e.a. 2015 gaat uit van 150 °C.

³⁴ Bron: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/define.htm>

Daarnaast blijkt uit de literatuur dat bij een hoge concentratie er ook sprake is van een onmiddellijk effect. Er is in de wetenschappelijk literatuur geen eenduidigheid over de hoogte van deze grenswaarde.

Zo stelt Hazebroek e.a. (2015) op basis van literatuur grenswaarden op een blootstelling van 3 minuten aan een concentratie van 12.800 ppm. Het Belgisch Antigifcentrum stelt de grenswaarde op een blootstelling van meer dan 10 minuten aan een concentratie van 6400 ppm³⁵. In Brown & Cheng (2000) wordt genoemd dat een concentratie van 8000 ppm acuut dodelijk is.

Vanwege de onduidelijke grenzen voor overleefbaarheid voor CO en het feit dat het experiment maximaal 10 minuten duurde waardoor er geen sprake is van langdurige blootstelling is gekozen voor de waarde van Brown & Cheng (2000) van een acute dosis van 8000 ppm.

Zuurstof (O₂)

Uit de rapportage De veiligheids- en gezondheidseffecten van werken in een besloten omgeving met te weinig O₂ (Van Raaij & Schefferlie, 2006) is de hierna volgende informatie ontleend. Bij afname van het percentage O₂ doen de volgende symptomen zich voor, waarbij de ernst oploopt naarmate het percentage O₂ in de lucht daalt:

- > Verhoogde ademfrequentie (en ademvolume)
- > Verhoogde hartfrequentie/hart-output
- > Verminderd nachtzicht
- > Lichte neurologische verschijnselen (verminderd zichtvermogen, reductie visuele discriminatie, toename reactietijd, toename in fouten tijdens neurologische testen)
- > Hoofdpijn
- > Verminderd vermogen tot fysieke prestatie
- > Duizeligheid, misselijkheid, hyperventilatie
- > Vermoeidheid, slaapproblemen
- > Uitputting, geheugenverlies
- > Bewusteloosheid, onregelmatige ademhaling
- > Ademhaling stopt, hartfalen, letaliteit

Lippsett et al. (1994) geeft de niveaus van omgevingshypoxie en gezondheidseffecten weer. Dezelfde cijfers wordt ook gepresenteerd door de Canadian Centre of Occupational Health and Safety (CCOHS). Blootstellingstijden zijn door de CCOHS niet gemeld bij deze tabel.

Tabel E-3. Percentage O₂ en gezondheidseffecten

Zuurstof %	Gezondheidseffecten
12-16	Adem- en hartfrequentie zijn verhoogd. Coördinatie van de spieren is licht verminderd.
10-14	Abnormale vermoeidheid, bij uitputting onregelmatige ademhaling, emotionele reacties.
6-10	Misselijkheid en braken, onvermogen om vrij te bewegen, mogelijk bewusteloosheid.
< 6	Stuiprekkings, naar adem snakken, ademhaling stopt na een paar minuten gevolgd door hartfalen.

Volgens Alarie (2002) zal zich verspreidende rook, waarin het O₂-niveau lager is dan 7

³⁵ Bron: <http://www.antigifcentrum.be/co-vergiftiging/co-wetenschappelijk-bekeken/wat-zijn-toxische-gehaltenes-aan-co>

procent, een primaire oorzaak zijn van gebrek aan mobiliteit en dood. Een zodanig laag O₂-percentage komt echter niet voor als er niet tegelijkertijd sprake is van rook met een zeer hoge temperatuur. Hierdoor treedt het effect van O₂-tekort tegelijkertijd op met verbranding van de huid en warmtestuwing. Dit effect treedt extreem snel op. Een O₂-percentage van 6 procent wordt als letaal aangemerkt.

Stikstofoxiden (NO_x)

Voor overleving wordt in de literatuur (o.a. Guillaume 2014) uitgegaan van de AEGL-3 waarde. Hierbij wordt uitgegaan van de AEGL-niveaus van stikstofdioxiden (NO_x). Voor NO_x wordt 50 procent letaliteit onder de bevolking pas bij zeer hoge waarden bereikt, maar een concentratie NO_x vanaf AEGL-3 geeft (zonder medische behandeling) wel een grote kans op lange termijn gezondheidsschade of voor gevoelige groepen zelfs vertraagd overlijden. Zie ook tabel E-4. In onderstaande tabel zijn de waarden voor de verschillende AEGL-niveaus weergegeven voor NO_x.

Tabel E-4. Grenswaarden voor AEGL voor NO_x

Niveau	Stikstofoxiden (NO _x)	
	10 min	30 min
AEGL-1	0,5 ppm	0,5 ppm
AEGL-2	20 ppm	15 ppm
AEGL-3	34 ppm	25 ppm

Echter, de AEGL gaat uit van een minimale blootstelling van 10 minuten. Aangezien de inzettijd maximaal 20 minuten was en er hogere waarden gemeten konden worden dan de in de tabel genoemde, is dit voor dit onderzoek een bruikbare grenswaarde.

Een alternatief is het gebruik van de waarden uit de safety worksheet voor NO_x. Daarin heeft de Committee AEGL grenswaarden opgesteld. Daarbij is aangegeven dat een blootstelling aan 150 ppm of meer niet *direct* dodelijk is, maar als gevolg van de opgelopen longschade na enkele uren wel. Daarom is deze grenswaarde voor dit onderzoek gehanteerd.

Samengevat

Samengevat gelden de volgende grenswaarden voor ontvluchting en overleving:

Tabel E-5. Parameters en grenswaarden

Parameter	Grenswaarde
Temperatuur	$T \geq 120^{\circ}\text{C}$
Straling	$\geq 6,0 \text{ kW/m}^2$
CO	$\geq 8000 \text{ ppm}$
O ₂	$\leq 6,0 \%$
NO _x	$> 150 \text{ ppm}$

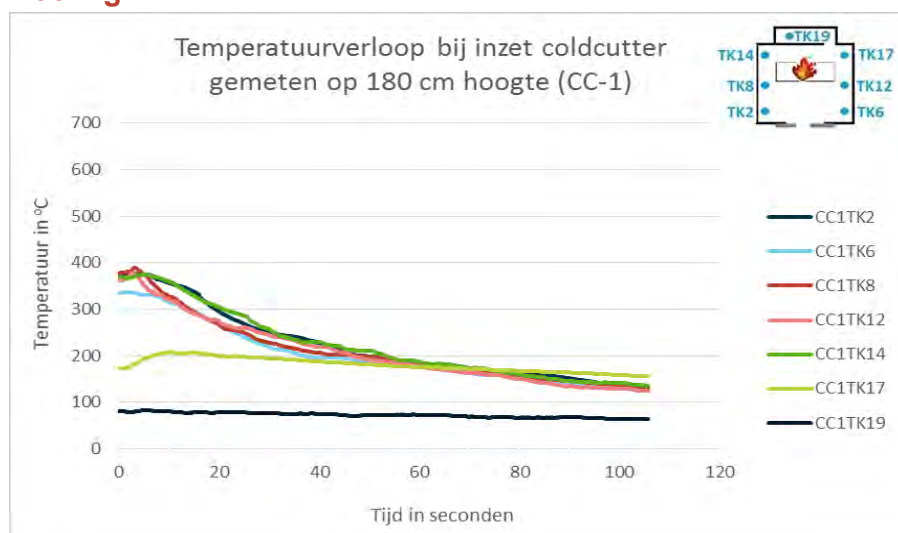
Bijlage F

Grafieken

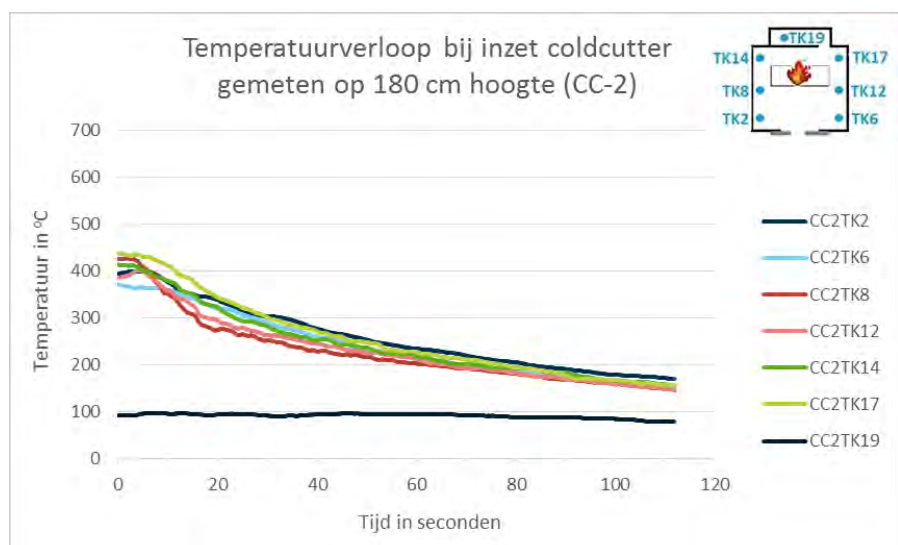
In deze bijlage staan voor alle technieken de grafieken die niet in het hoofdrapport zijn opgenomen. Daarbij gaat het om het temperatuurverloop gemeten op 180 centimeter voor zowel de inzetfase als de deur open fase. Verder zijn er verschillende grafieken van overleefbaarheid in deze bijlage terug te vinden. Bij deze grafieken zijn de grenswaarden voor overleefbaarheid niet overschreden.

Grafieken coldcutter (CC)

Koeling



Grafiek F-1.



Grafiek F-2.

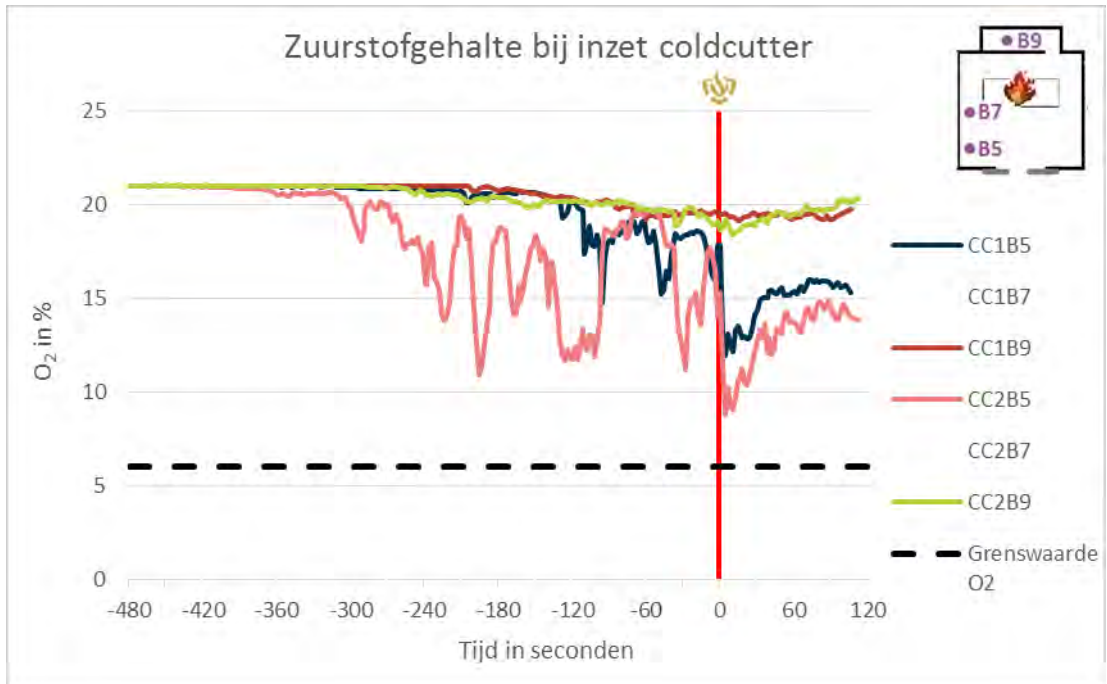
Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

Tabel F-1.

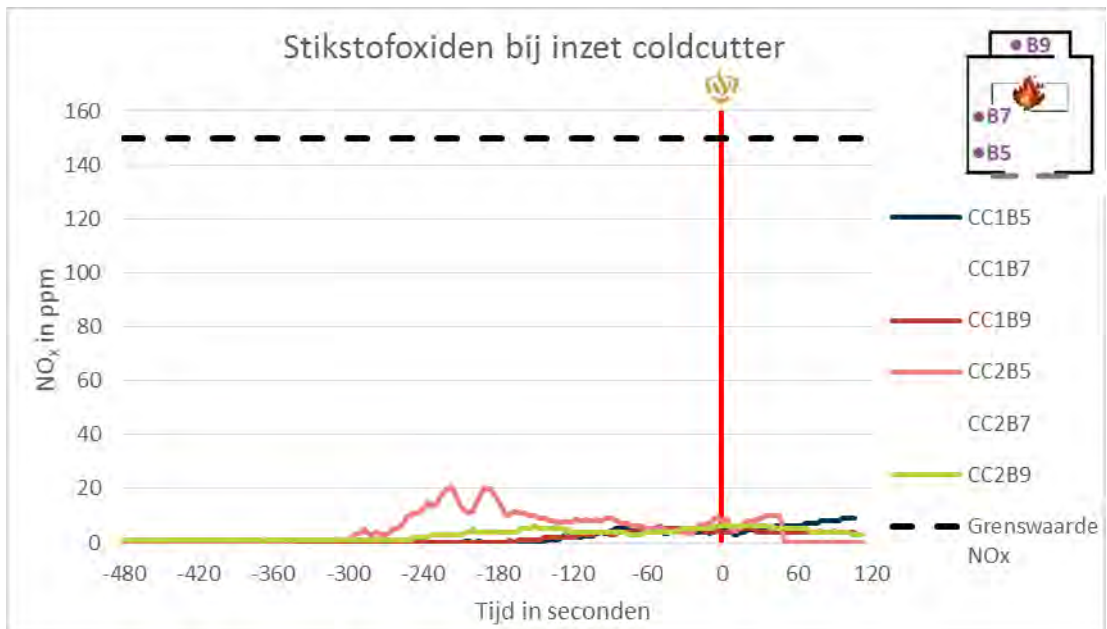
		Temperatuur in °C		Straling in kW/m ²		CO in ppm		O ₂ in % ³⁶		NO _x in ppm	
		CC-1	CC-2	CC-1	CC-2	CC-1	CC-2	CC-1	CC-2	CC-1	CC-2
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	114	135	7,2	8,2	8060	16603	14,8	10,9	5	21
	Maximale waarde inzetfase	163	173	9,8	10,9	15152	31434	12,0	8,8	9	10
	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	115	117	6,9	8,5	373	265	20,4	20,6	1	0
	Maximale waarde inzetfase	174	208	17,6	19,9	1147	914	20,4	20,7	0	0
	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	_37	_37	_37	_37	_37	_37
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	21	25	0,4	0,5	2775	9796	19,2	18,9	6	6
	Maximale waarde inzetfase	22	25	0,4	0,5	4243	5153	19,2	18,4	5	6
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (O)	Nee	Nee	Nee	Nee

³⁶ Voor de parameter zuurstof is het minimale zuurstofgehalte opgenomen

³⁷ Metingen niet betrouwbaar wegens storing in verdunningsfactor meetapparatuur

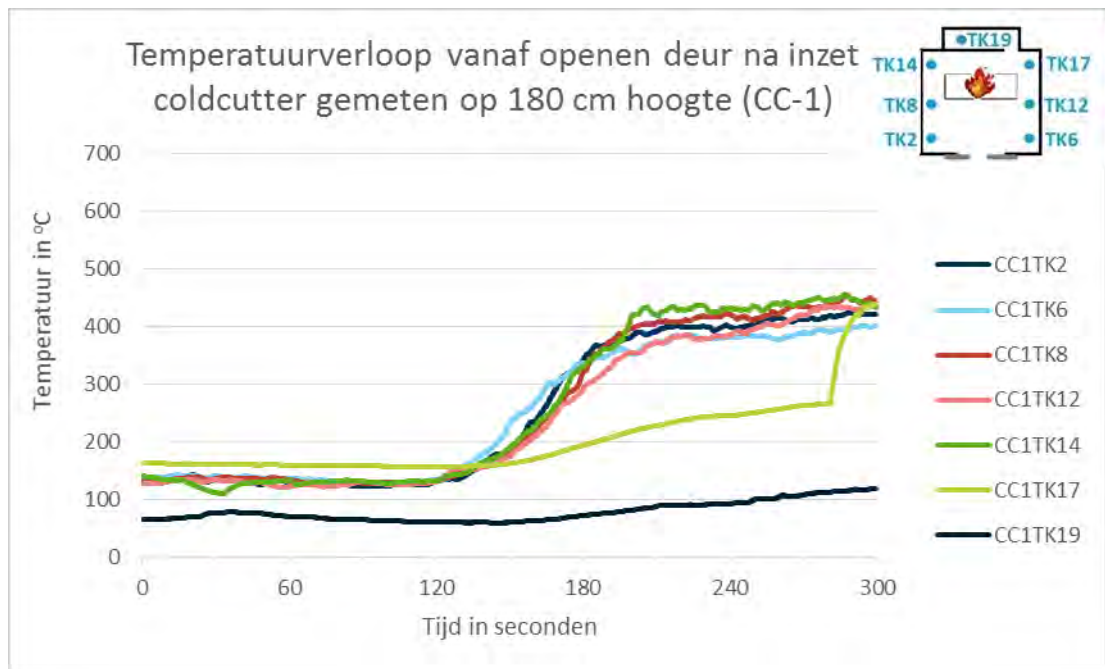


Grafiek F-3.

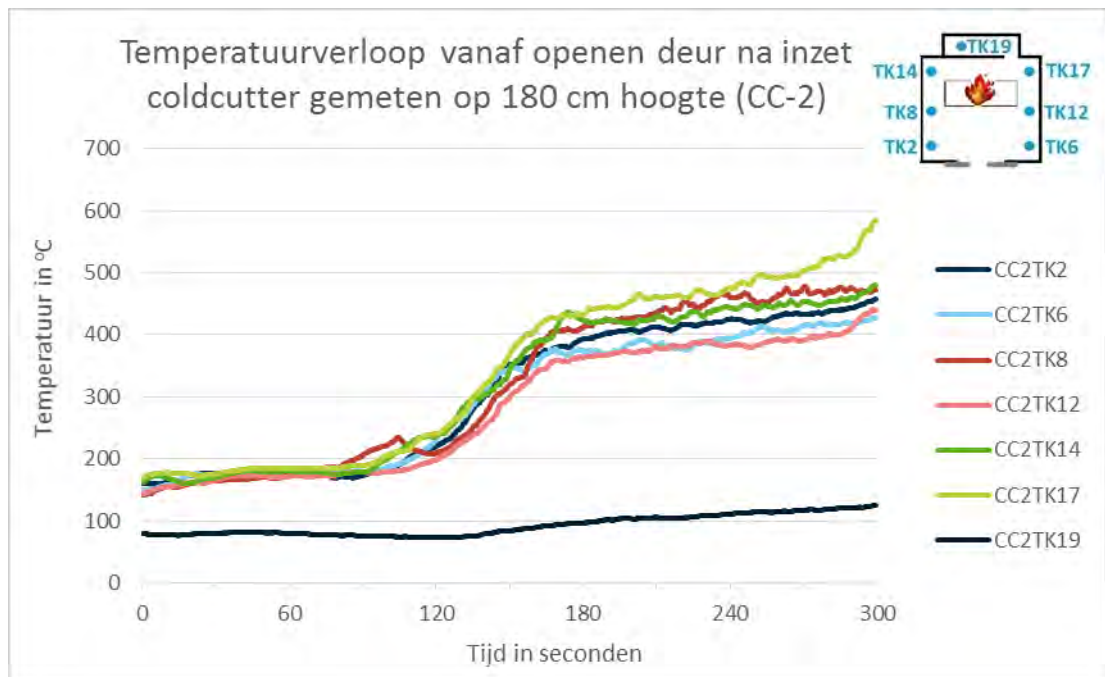


Grafiek F-4.

Effect na inzet



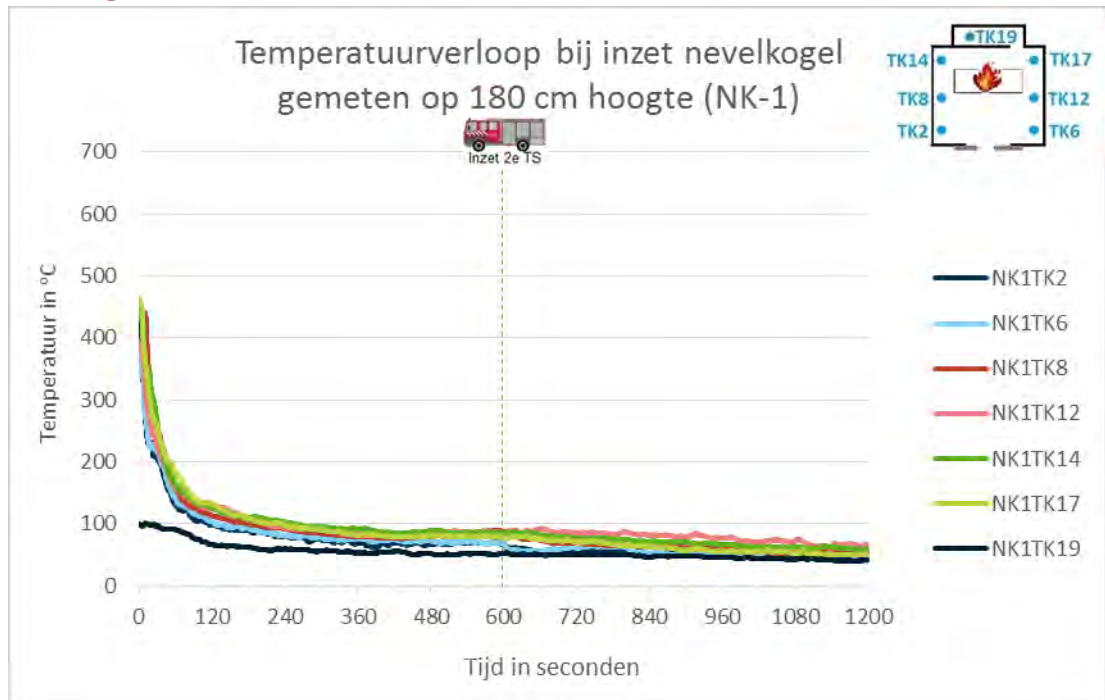
Grafiek F-5.



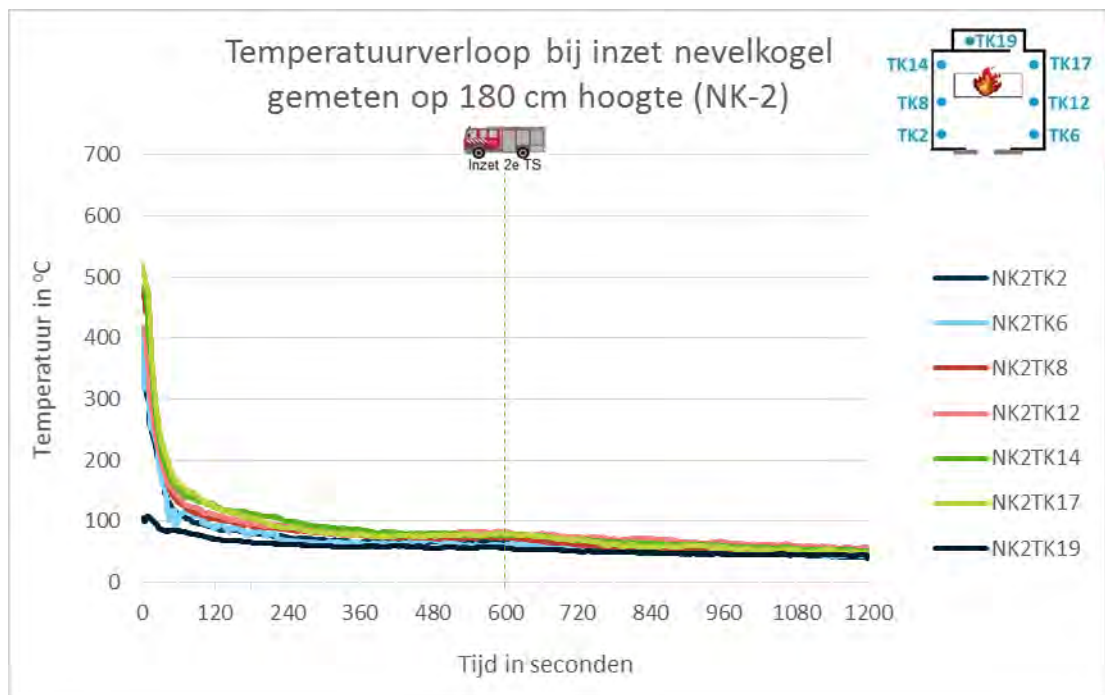
Grafiek F-6.

Grafieken nevelkogel (NK)

Koeling



Grafiek F-7.



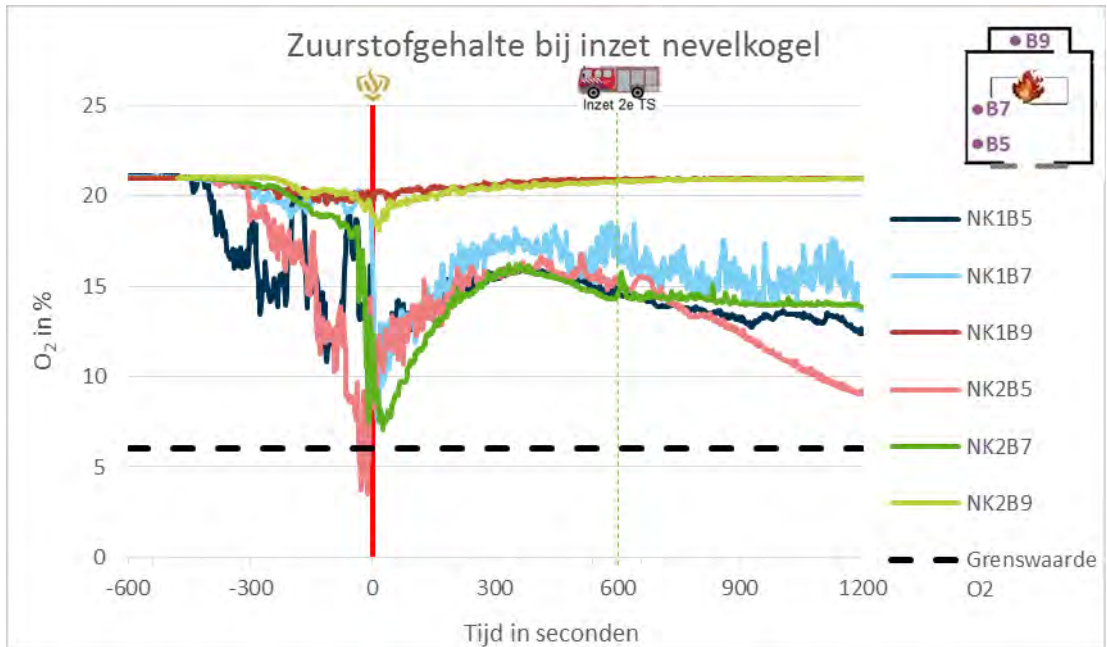
Grafiek F-8.

Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

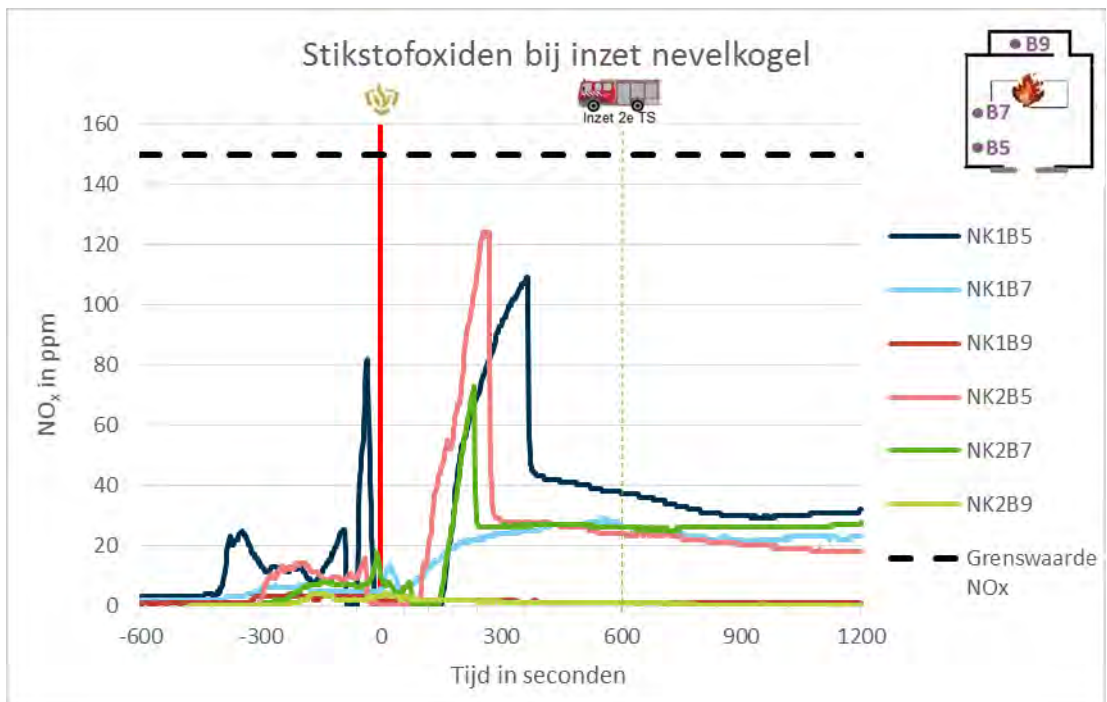
Tabel F-2.

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m ²		CO in ppm		O ₂ in % ³⁸		NO _x in ppm	
		NK-1	NK-2	NK-1	NK-2	NK-1	NK-2	NK-1	NK-2	NK-1	NK-2
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	143	163	9,1	16,9	24814	32582	10,8	3,5	82	16
	Maximale waarde inzetfase	144	181	15,2	16,9	24499	27364	9,2	8,3	109	124
	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (O)	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	136	161	9,9	16,4	5187	12830	18,1	7,5	7	18
	Maximale waarde inzetfase	138	176	16,5	16,6	21449	27345	7,4	7,0	29	73
	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	28	31	0,5	0,4	1011	2050	19,6	19,0	4	4
	Maximale waarde inzetfase	29	32	0,5	0,3	1079	3676	19,6	18,2	3	4
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

³⁸ Voor de parameter zuurstof is het minimale zuurstofgehalte opgenomen

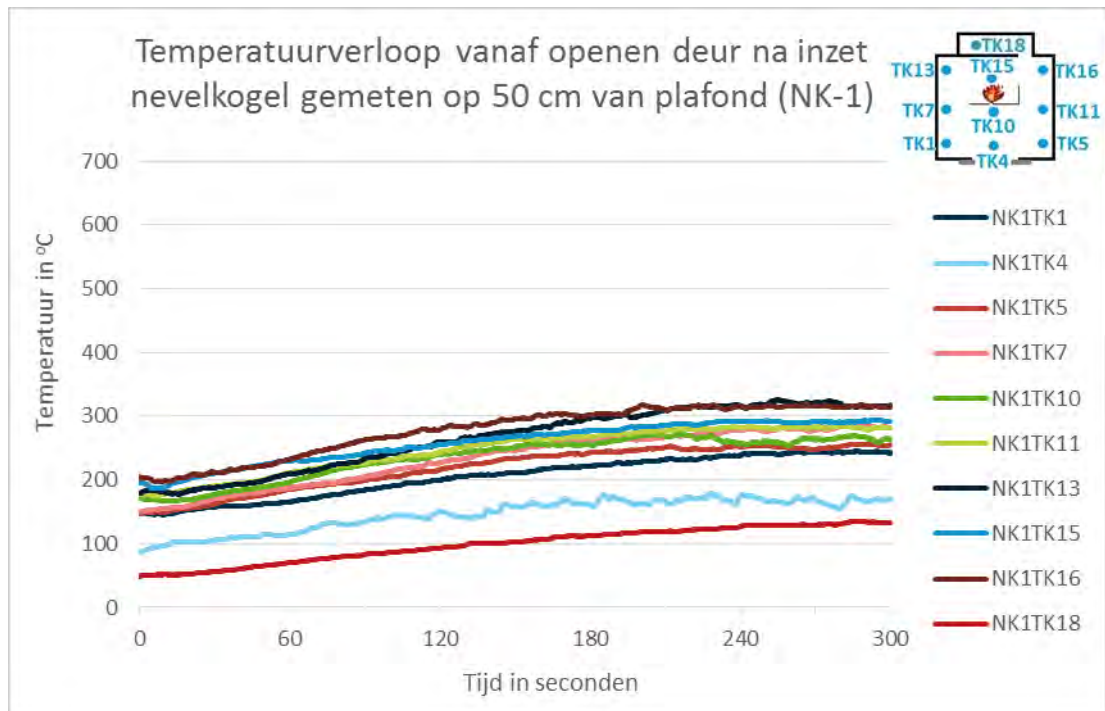


Grafiek F-9.

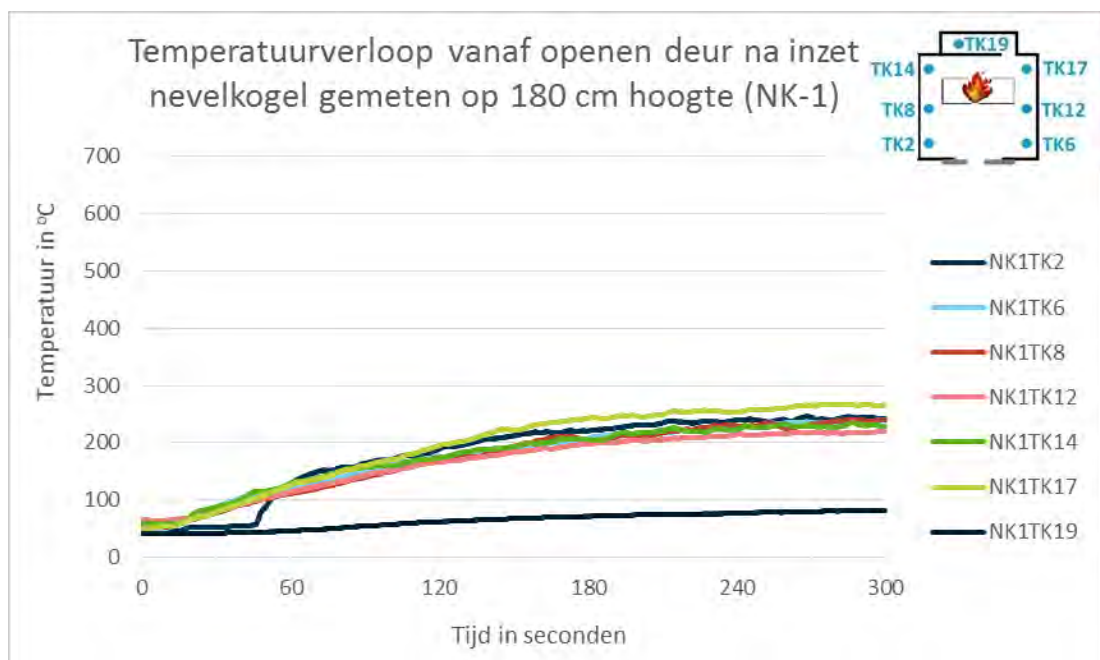


Grafiek F-10.

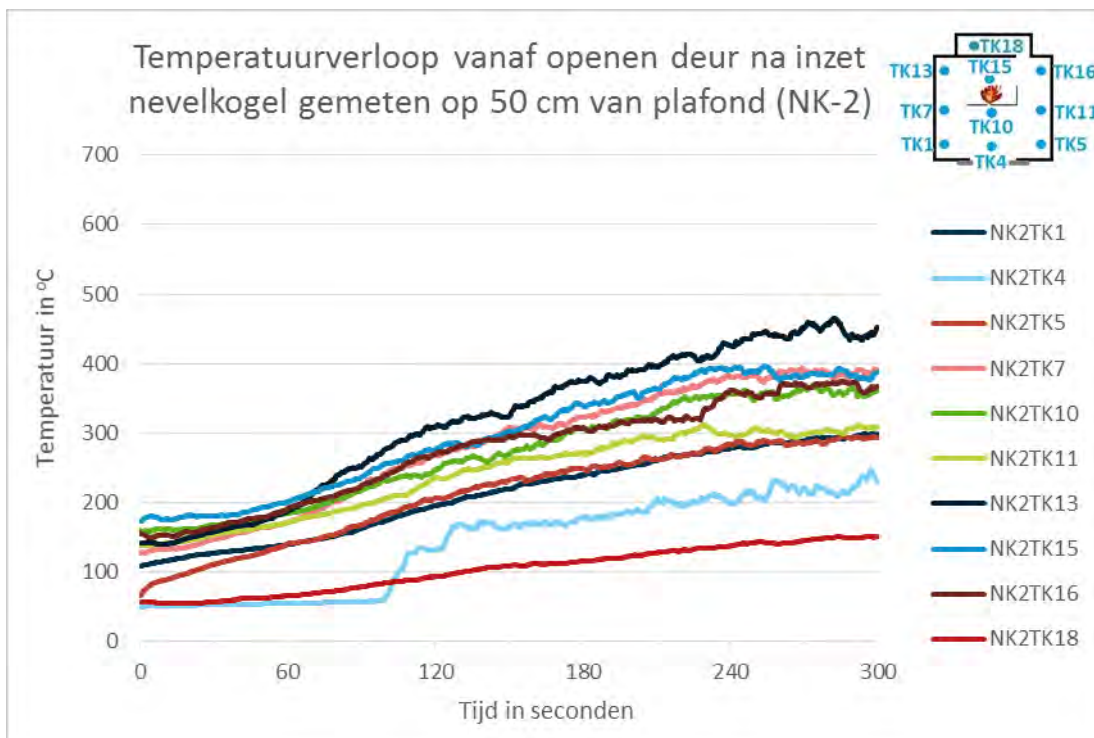
Effect na inzet



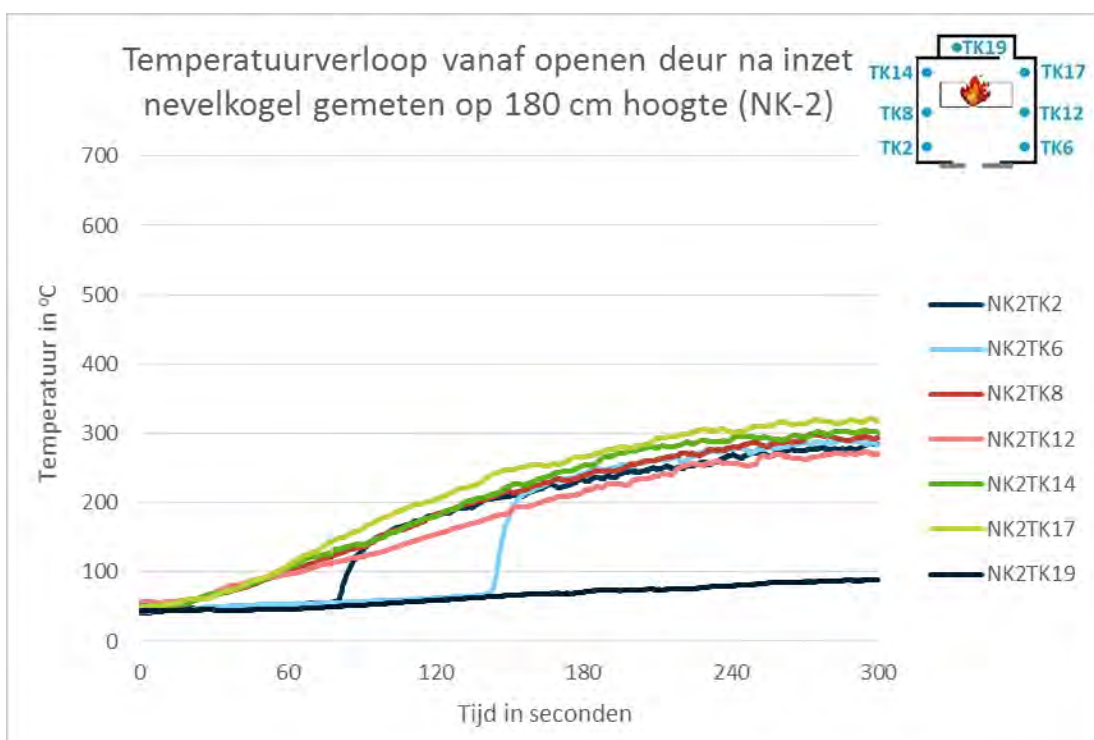
Grafiek F-11. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet NK (NK-1)



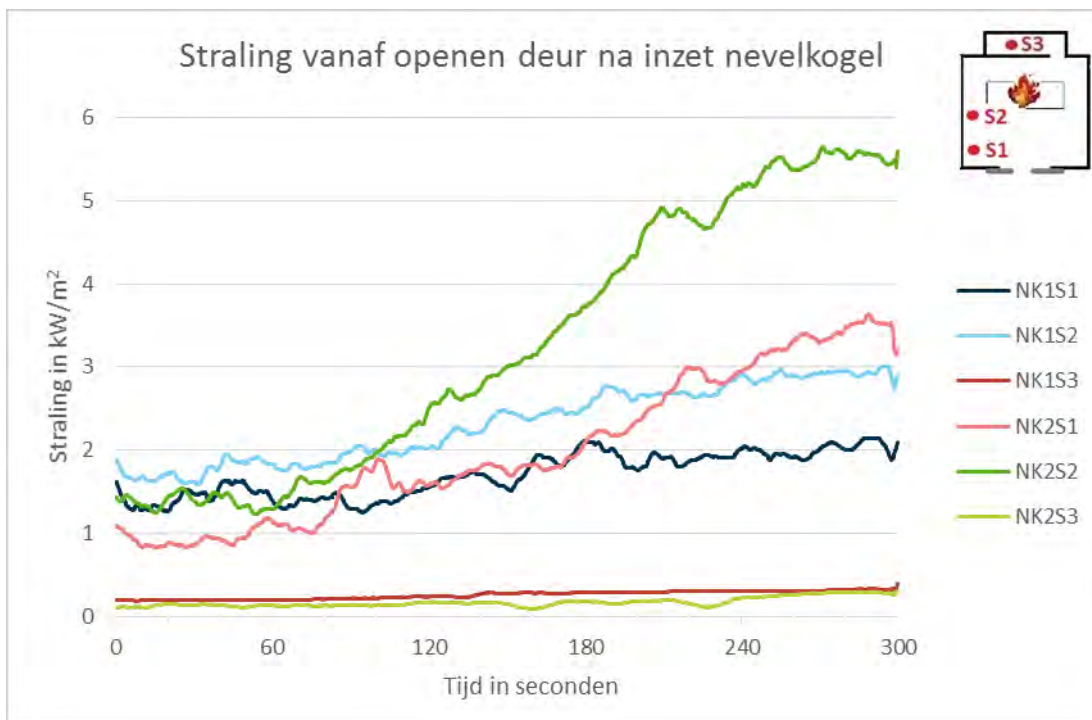
Grafiek F-12. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet NK (NK-1)



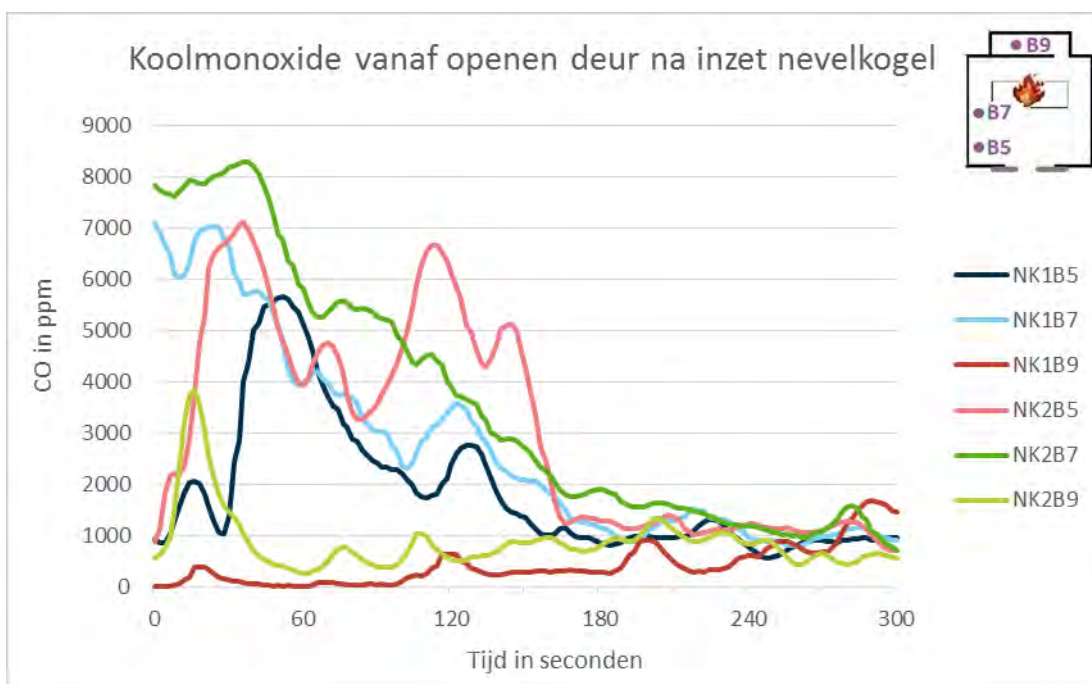
Grafiek F-13. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet NK (NK-2)



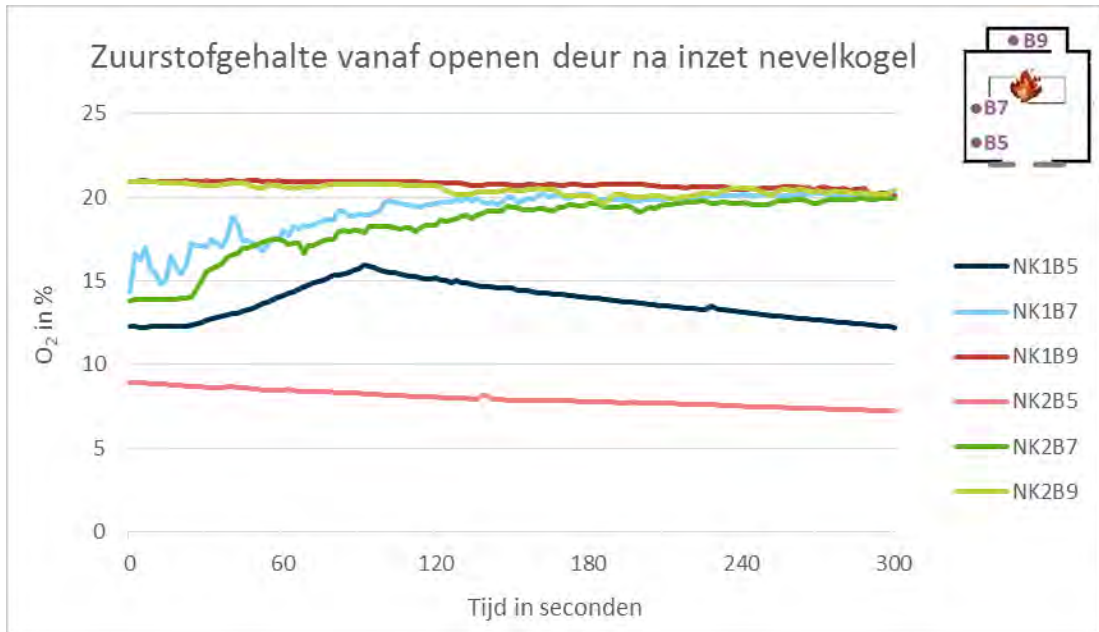
Grafiek F-14. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet NK (NK-2)



Grafiek F-15. Straling vanaf openen deur na inzet NK



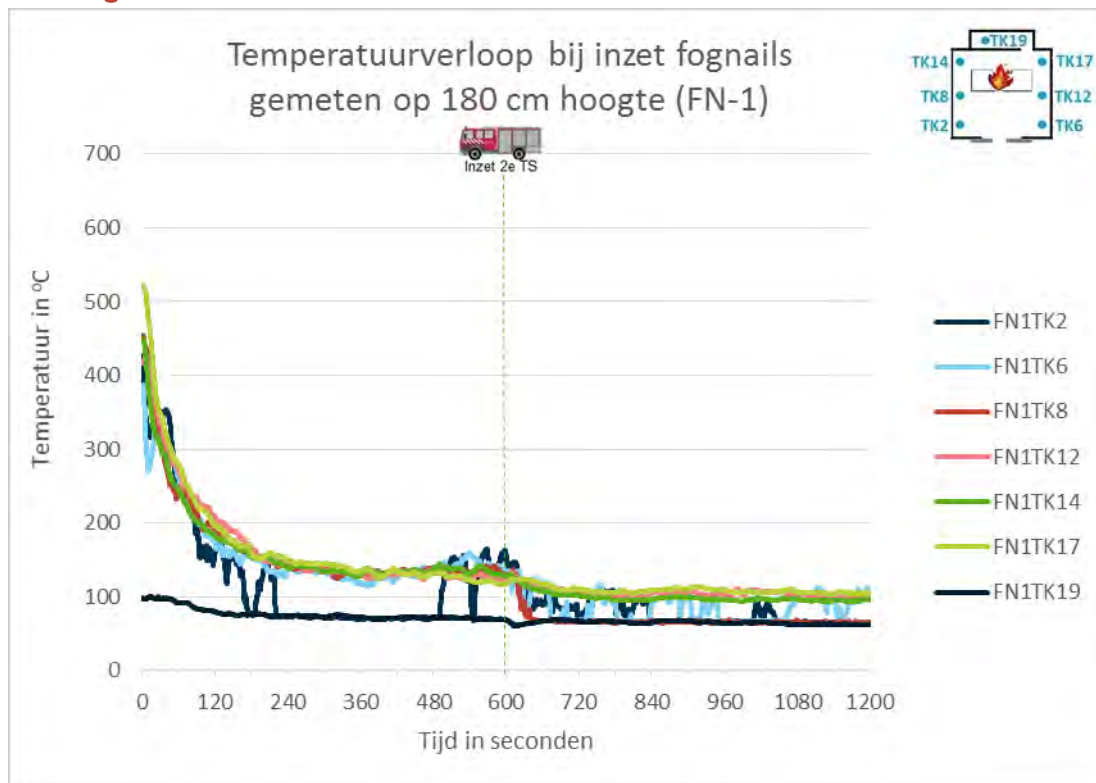
Grafiek F-16. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet NK



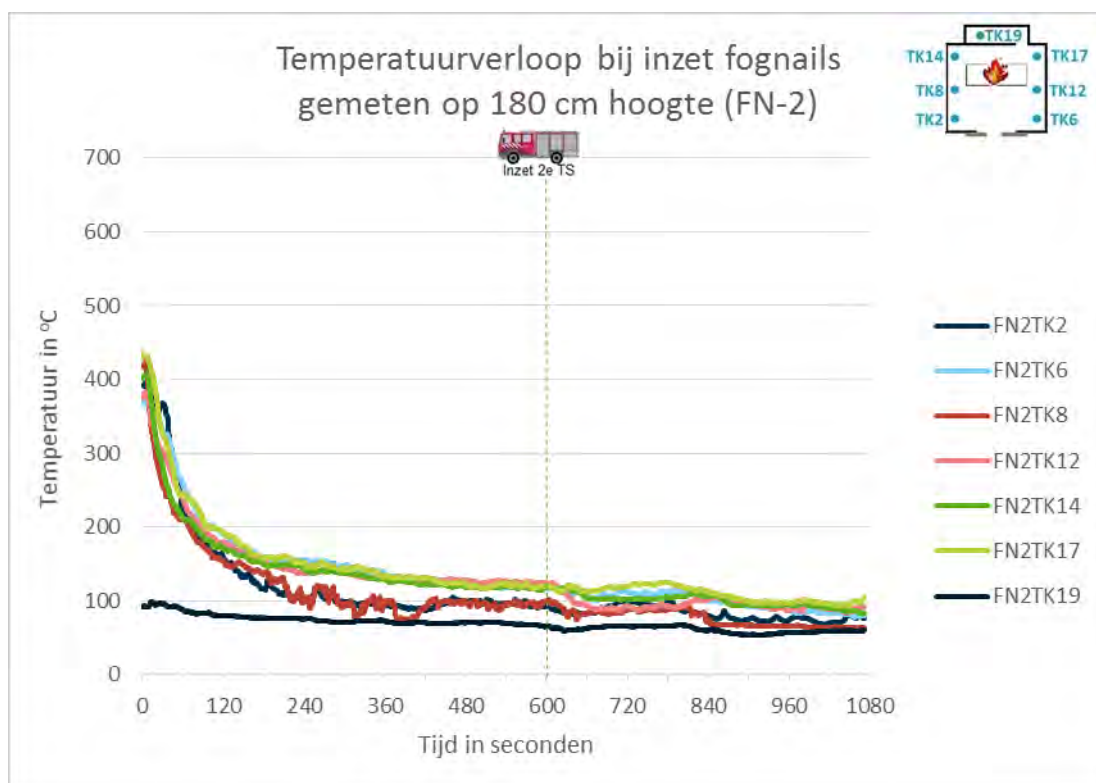
Grafiek F-17. O₂-gehalte vanaf openen deur na inzet NK

Grafieken fognails (FN)

Koeling



Grafiek F-18.



Grafiek F-19.

Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

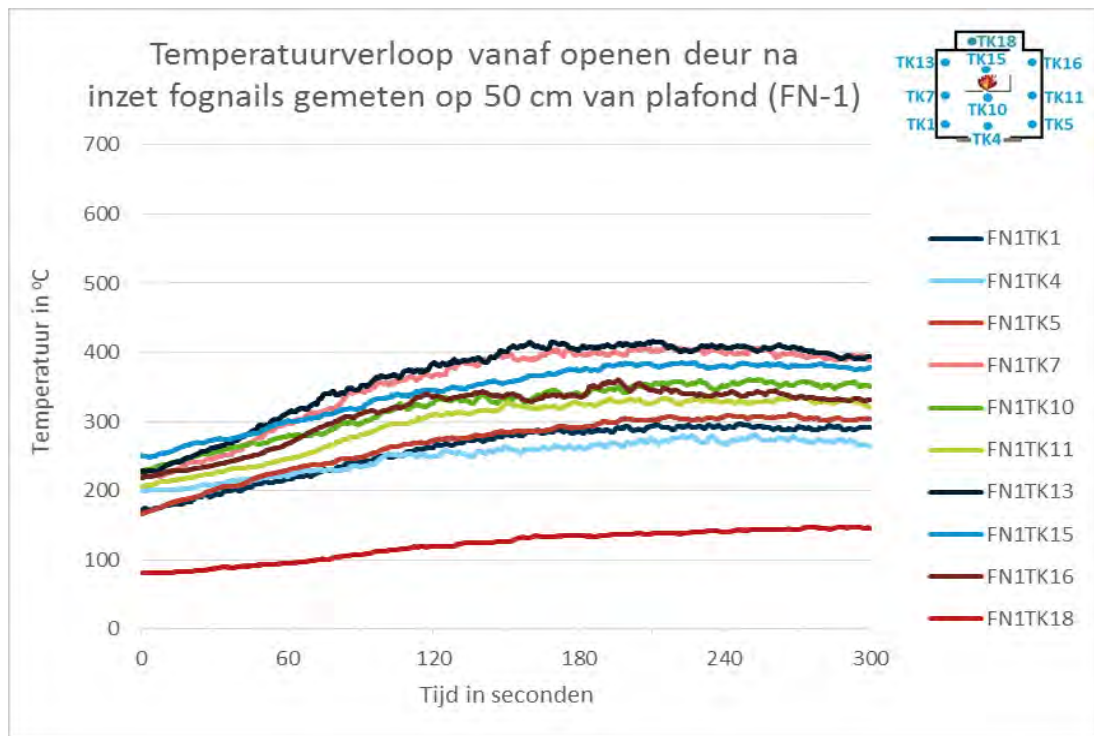
Tabel F-3.

	Temperatuur in °C		Straling in kW/m ²		CO in ppm		O ₂ in % ³⁹		NO _x in ppm		
	FN-1	FN-2	FN-1	FN-2	FN-1	FN-2	FN-1	FN-2	FN-1	FN-2	
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	163	123	12,5	8,8	24345	14865	1,4	12	36	21
	Maximale waarde inzetfase	171	127	25,4	11,1	40392	26729	3,5	11,3	188	128
	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Ja (I)	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	159	128	10,5	7,7	14513	5967	5,6	11,8	14	7
	Maximale waarde inzetfase	195	157	18,8	16,6	42191	40877	3,0	6,9	94	138
	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	23	22	0,6	0,5	1696	603	19,6	19,8	5	4
	Maximale waarde inzetfase	23	25	0,5	0,5	3069	3356	19,3	19,6	4	3
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

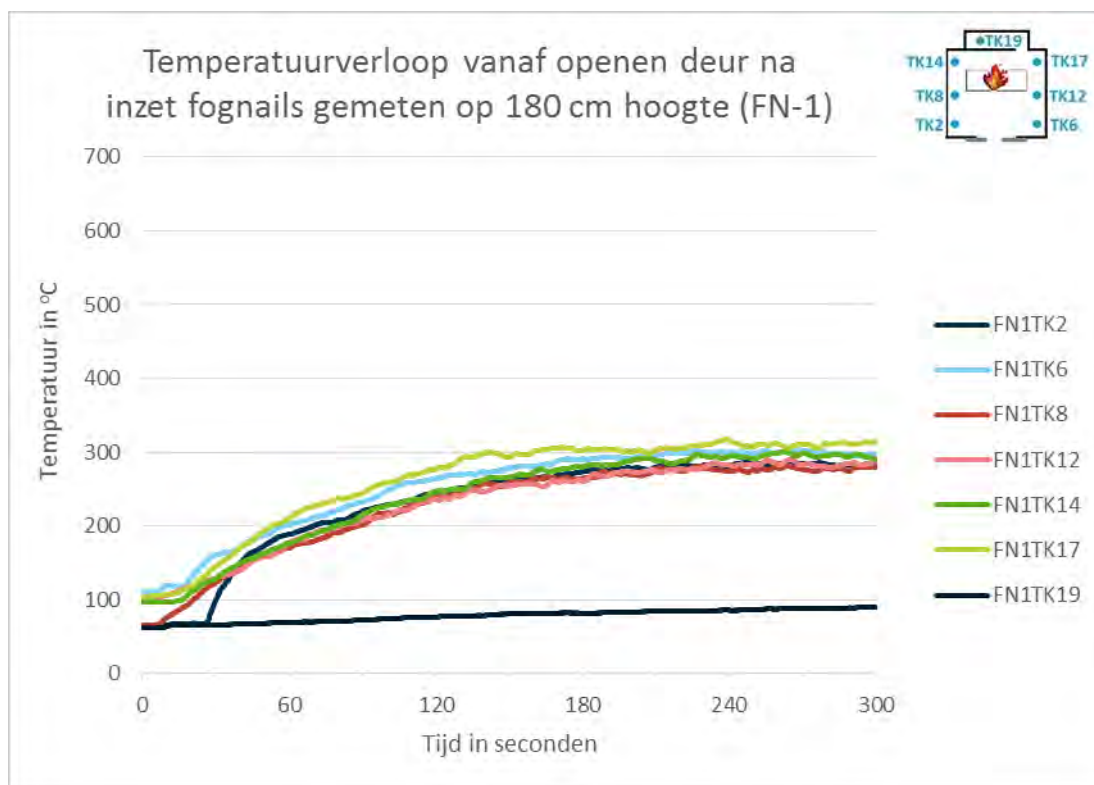
Alle grafieken voor overleefbaarheid bij inzet van de FN zijn terug te vinden in hoofdstuk 3.5 van het hoofdrapport.

³⁹ Voor de parameter zuurstof is het minimale zuurstofgehalte opgenomen

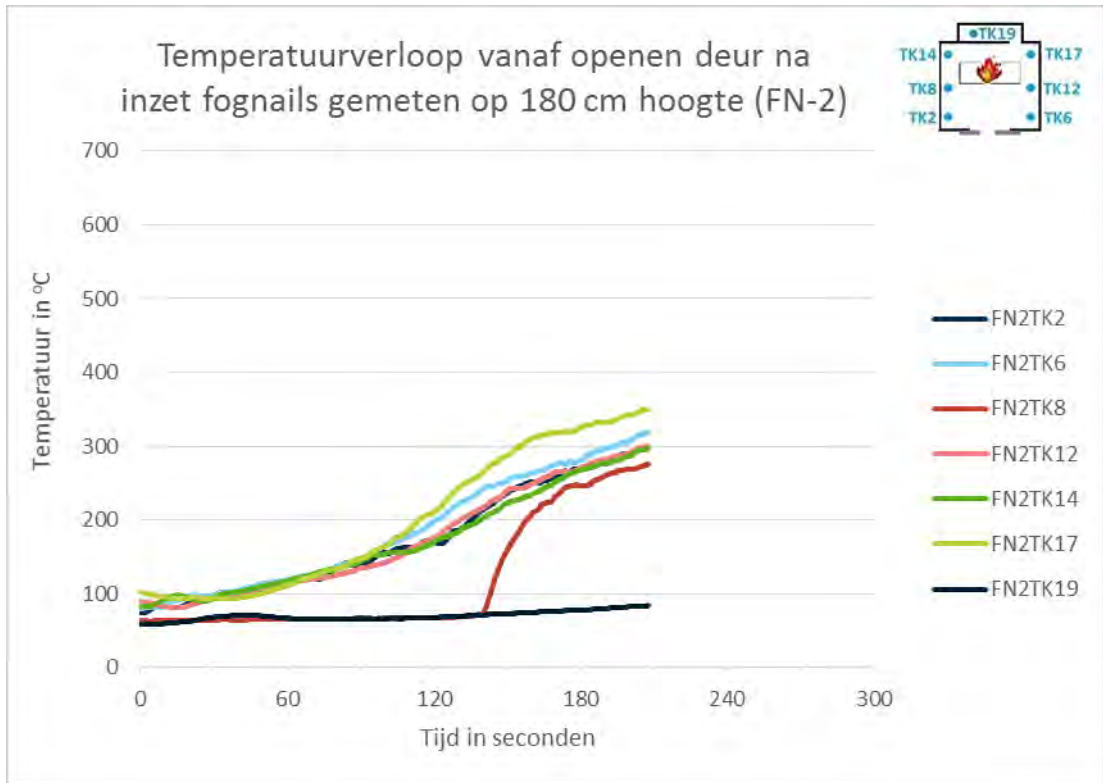
Effect na inzet



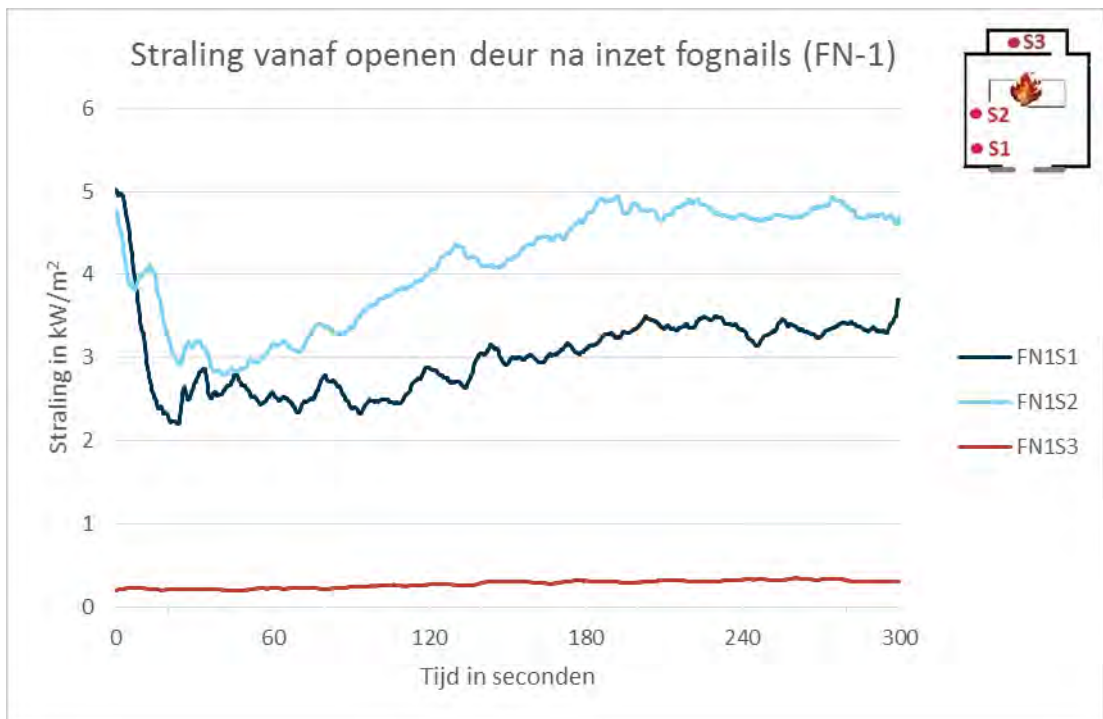
Grafiek F-20. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet na inzet FN (FN-1)



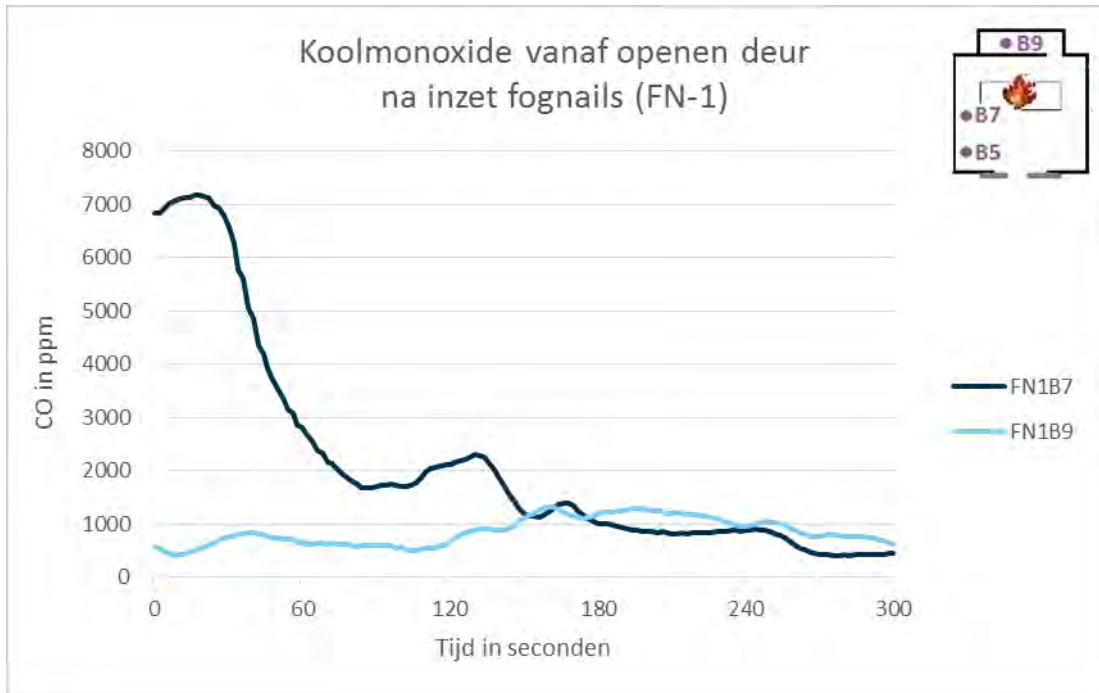
Grafiek F-21. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet na inzet FN (FN-1)



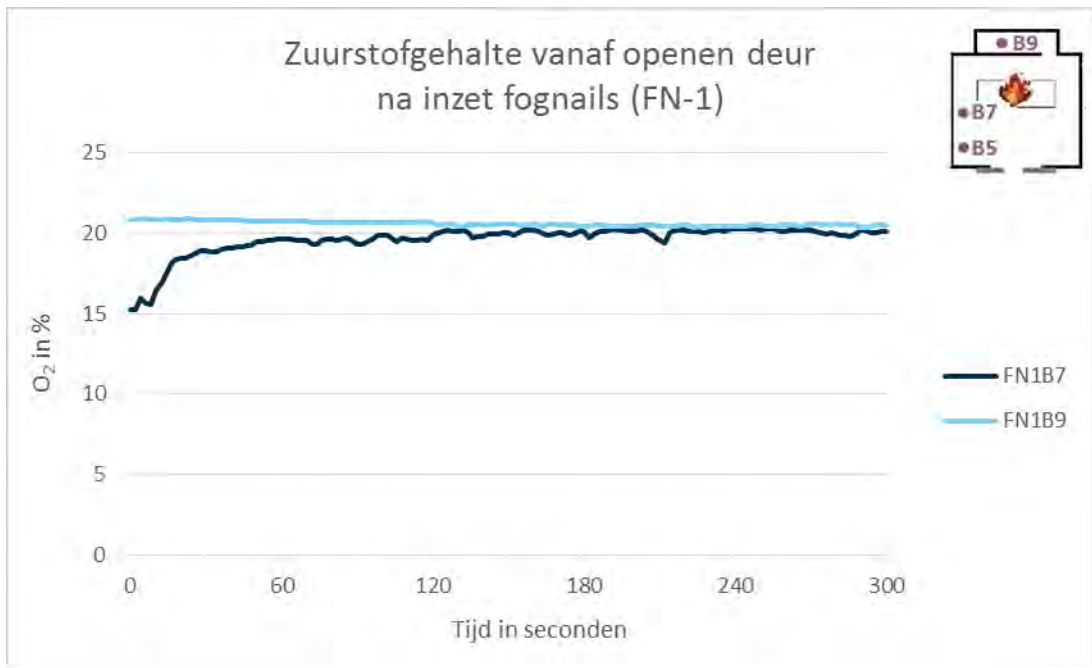
Grafiek F-22. Temperatuurverloop vanaf openen deur na inzet na inzet FN (FN-2)



Grafiek F-23. Straling vanaf openen deur na inzet FN (FN-1)



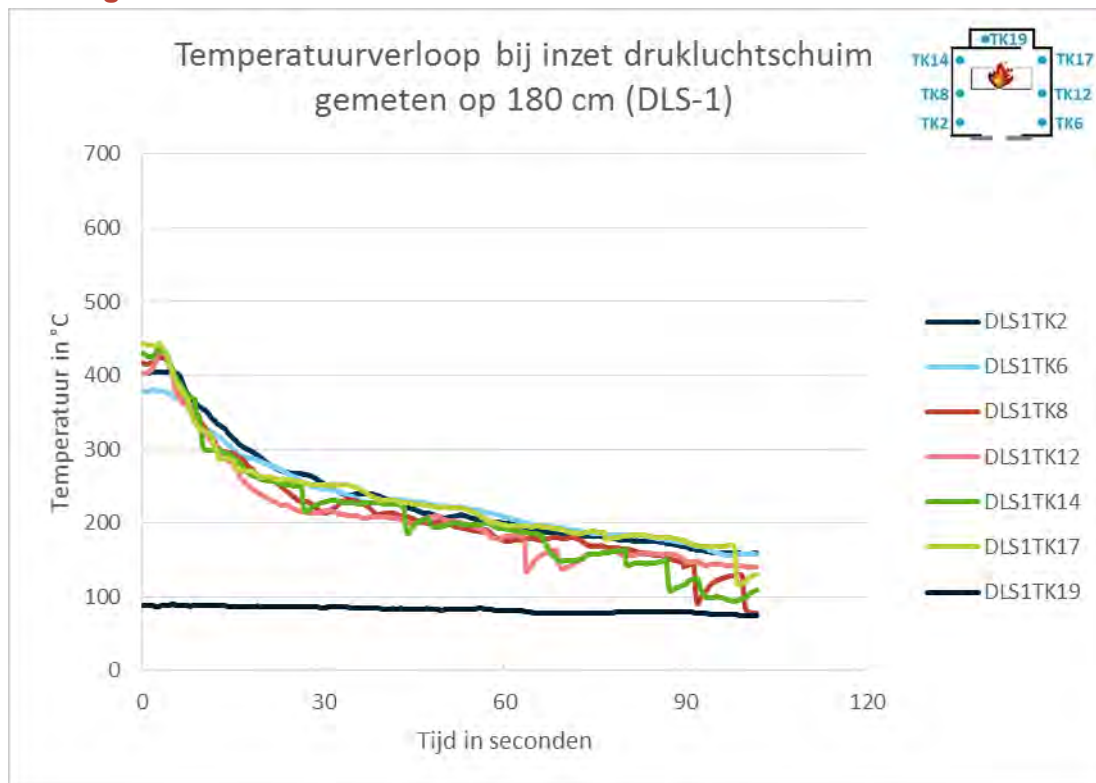
Grafiek F-24. Concentratie CO vanaf openen deur na inzet na inzet FN (FN-1)



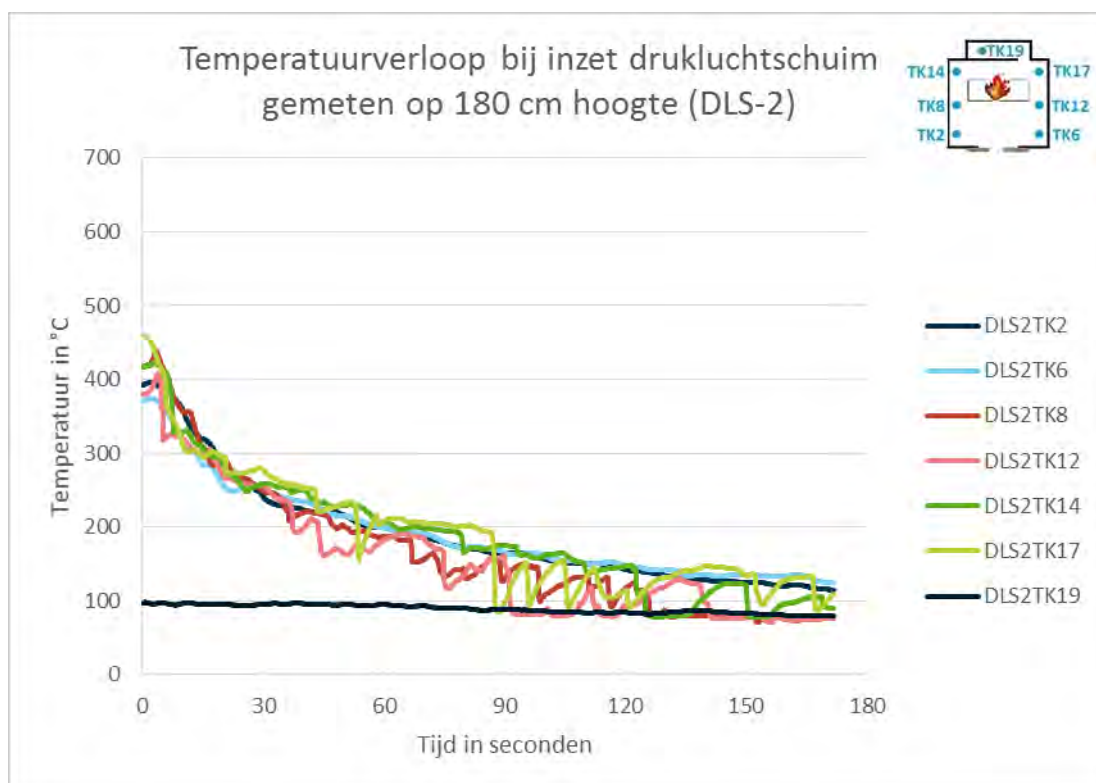
Grafiek F-25. O₂-gehalte vanaf openen deur na inzet na inzet FN (FN-1)

Grafieken drukluchtschuim (DLS)

Koeling




Grafiek F-26.



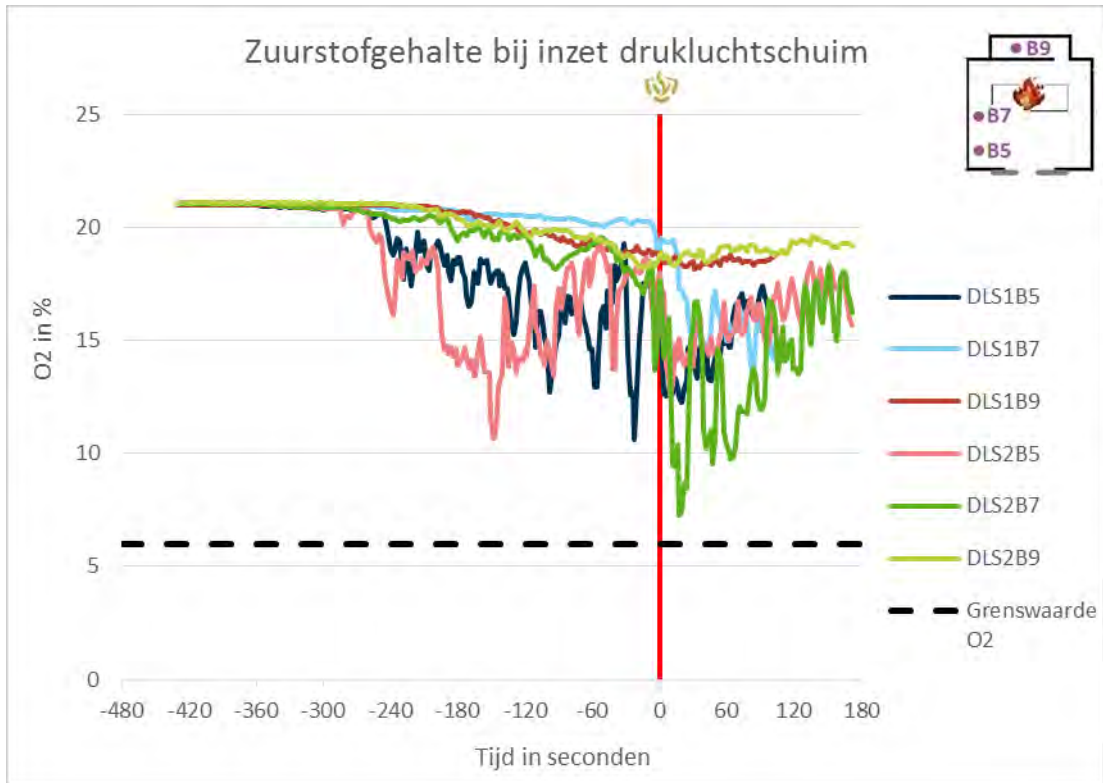
Grafiek F-27.

Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

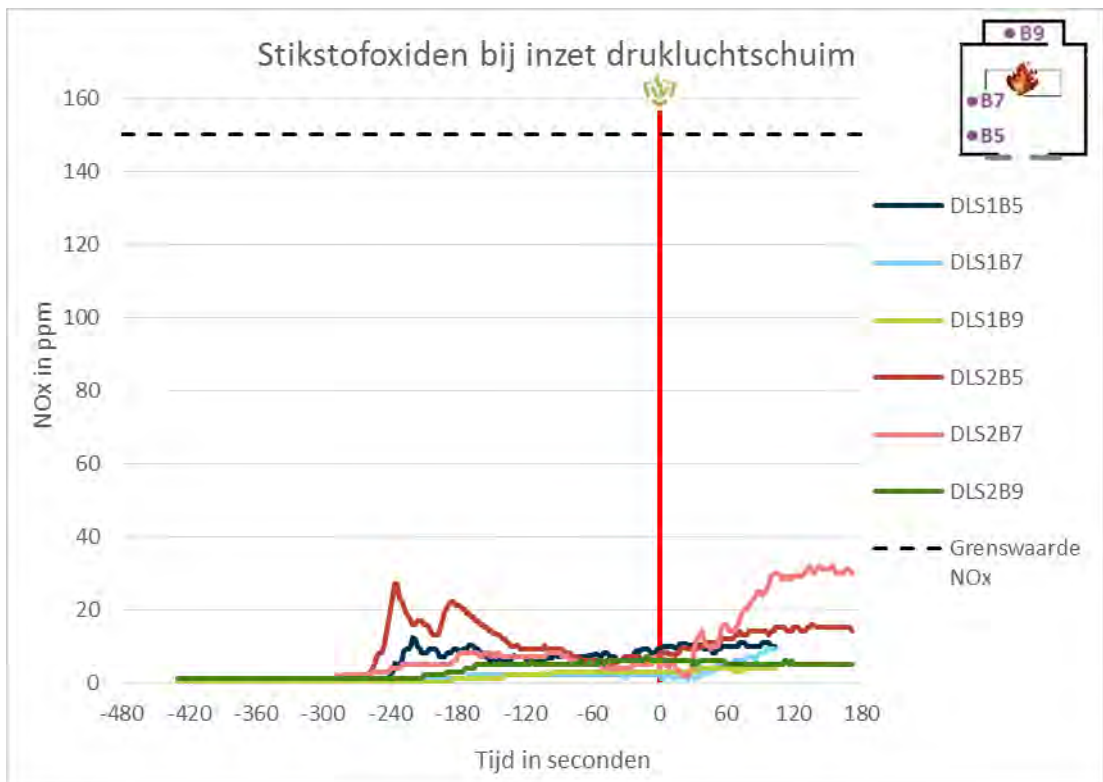
Tabel F-4.

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m ²		CO in ppm		O ₂ in % ⁴⁰		NO _x in ppm	
		DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2	DLS-1	DLS-2
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	115	129	7,7	7,4	18276	15584	10,6	10,6	12	27
	Maximale waarde inzetfase	145	145	8,5	8,3	18034	20812	12,2	12,6	11	16
	Grenswaarde overschreden?	Ja (I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	123	125	8,0	9,2	7509	14512	18,8	13,7	2	8
	Maximale waarde inzetfase	173	165	17,1	18,0	16337	34913	13,6	7,3	9	32
	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	20	27	0,4	0,4	4547	6071	18,7	18,2	3	7
	Maximale waarde inzetfase	21	28	0,4	0,4	6310	9203	18,2	18,3	4	6
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja (I)	Nee	Nee	Nee	Nee

⁴⁰ Voor de parameter zuurstof is het minimale zuurstofgehalte opgenomen.

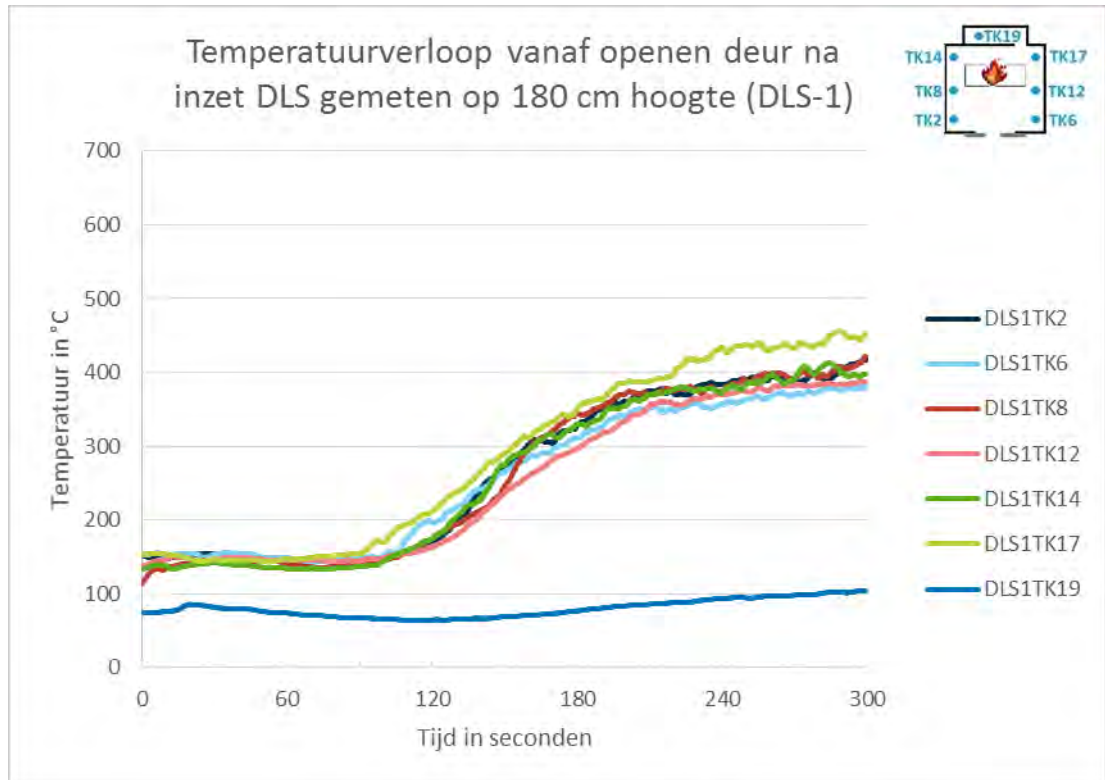


Grafiek F-28.

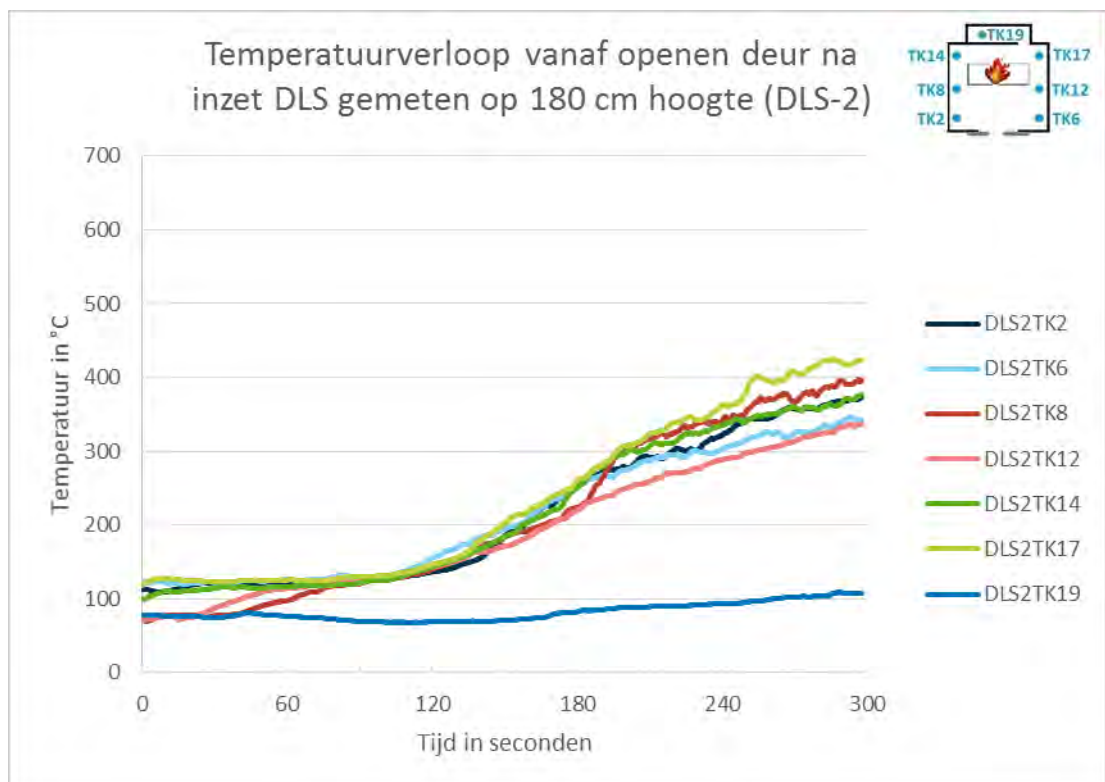


Grafiek F-29.

Effect na inzet



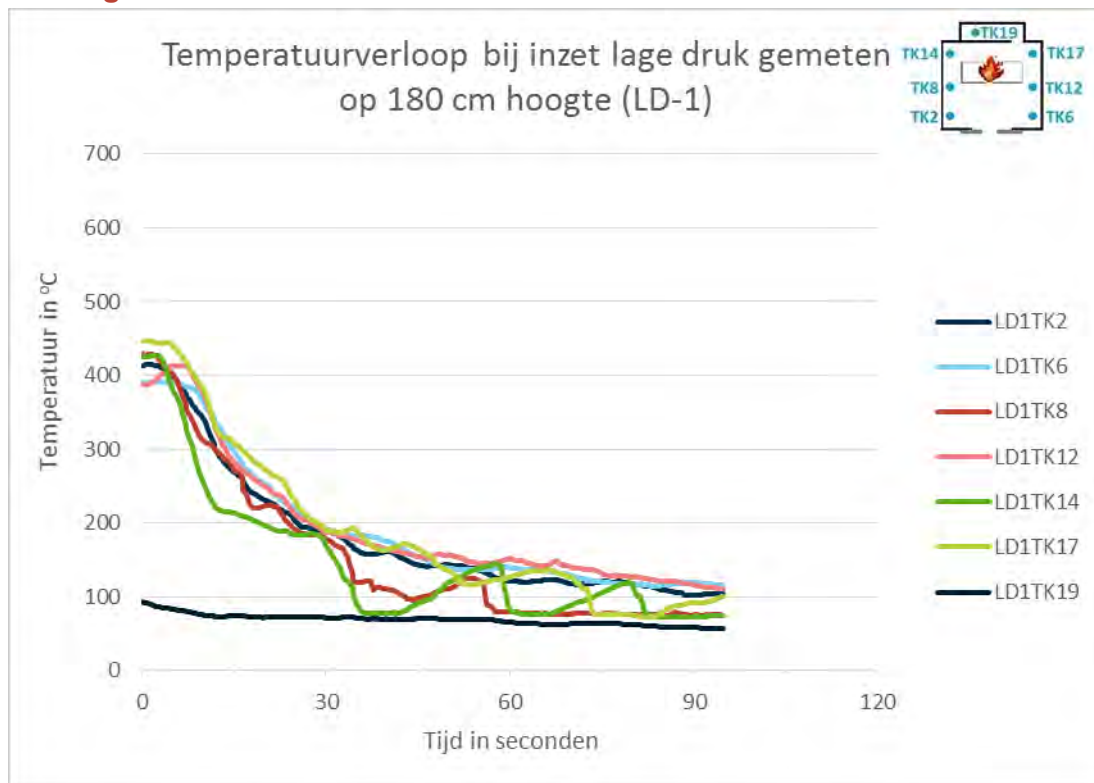
Grafiek F-30.



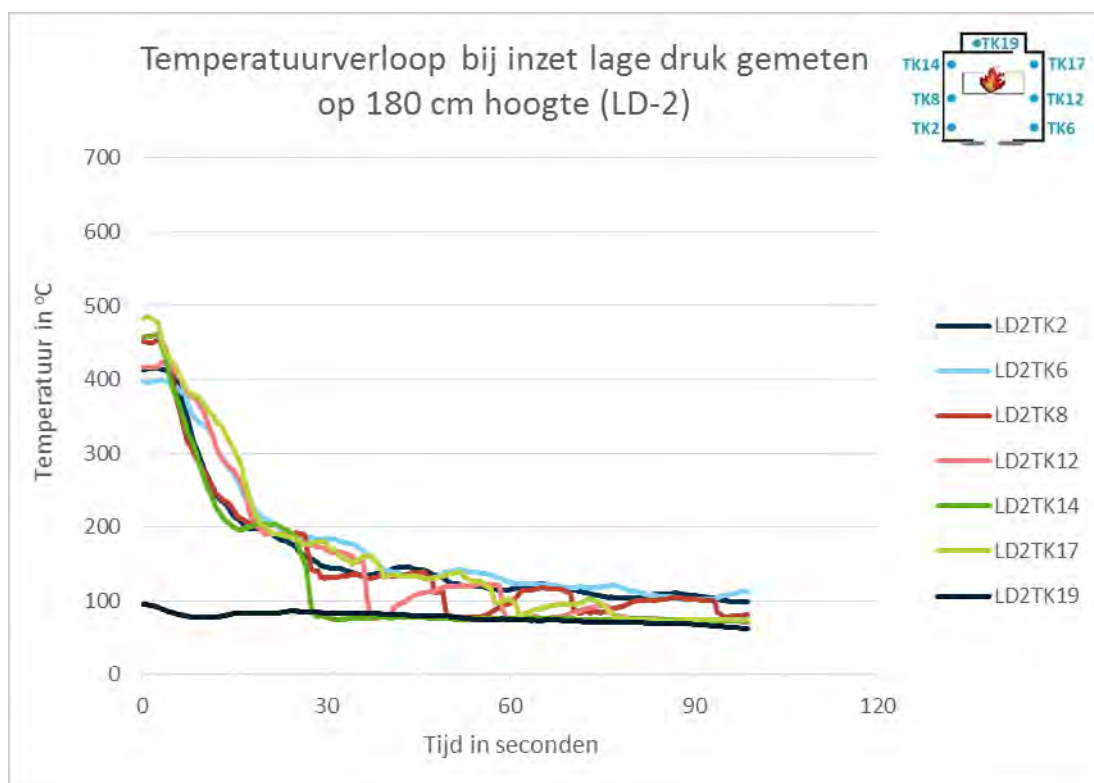
Grafiek F-31.

Grafieken lage druk (LD)

Koeling



Grafiek F-32.



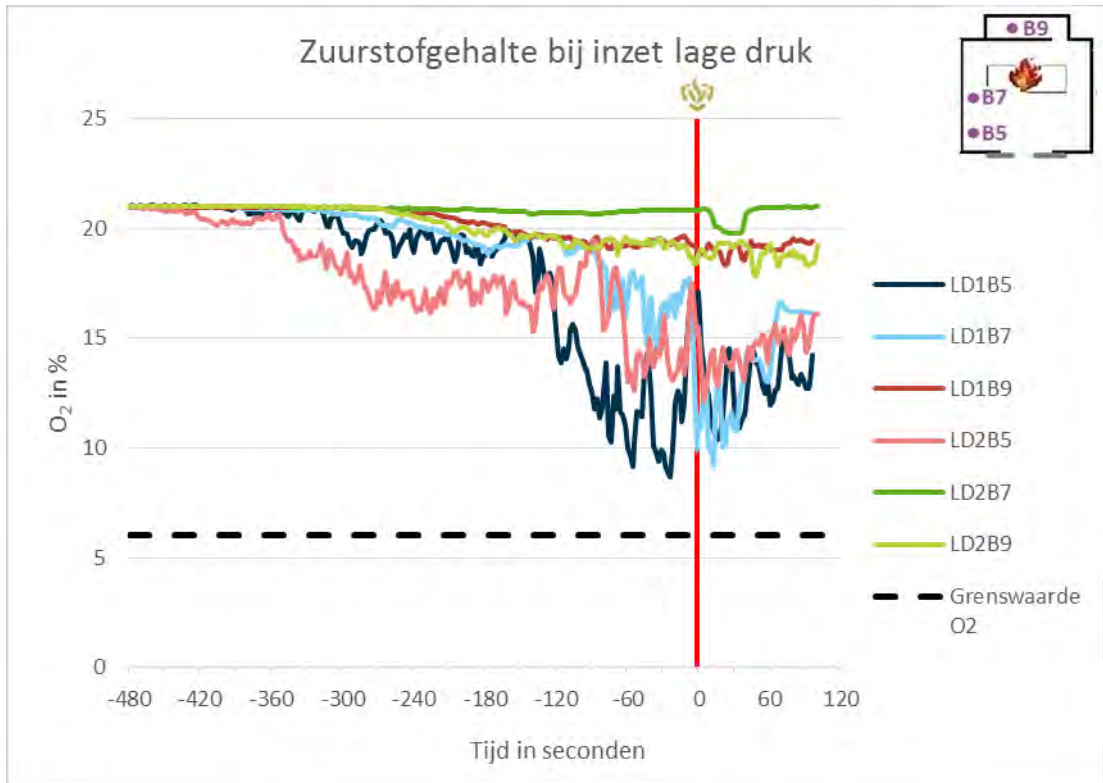
Grafiek F-33.

Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

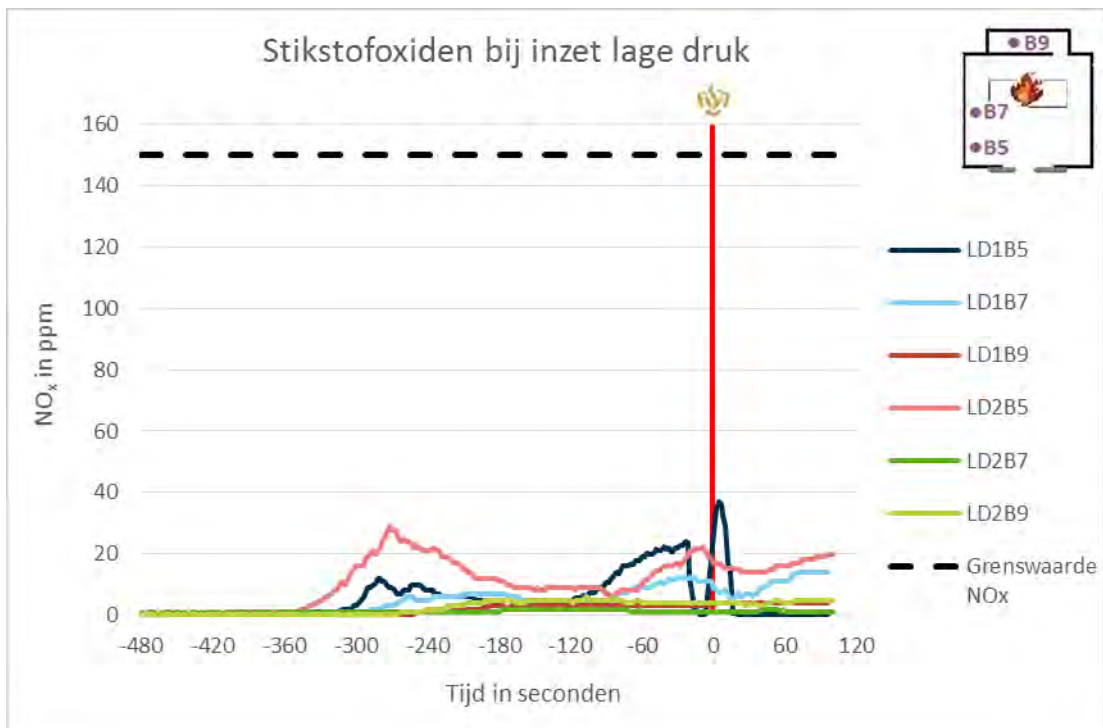
Tabel F-5.

		Temperatuur in °C		Straling in kW/m ²		CO in ppm		O ₂ in % ⁴¹		NO _x in ppm	
		LD-1	LD-2	LD-1	LD-2	LD-1	LD-2	LD-1	LD-2	LD-1	LD-2
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	162	131	10,3	10,9	26611	15750	8,7	12,6	24	29
	Maximale waarde inzetfase	162	134	15,1	15,8	25872	16681	10,4	12,1	37	20
	Grenswaarde overschreden ?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	156	127	12,2	9,0	10550	-	9,9	20,6	12	2
	Maximale waarde inzetfase	162	146	23,5	23,6	24716	-	9,2	19,8	14	2
	Grenswaarde overschreden ?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	-	Nee	Nee	Nee	Nee
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	22	21	0,5	0,5	1352	1501	19,1	18,4	3	6
	Maximale waarde inzetfase	28	27	0,5	0,6	2678	3769	18,3	17,8	4	5
	Grenswaarde overschreden ?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

⁴¹ Voor de parameter zuurstof is het minimale zuurstofgehalte opgenomen.

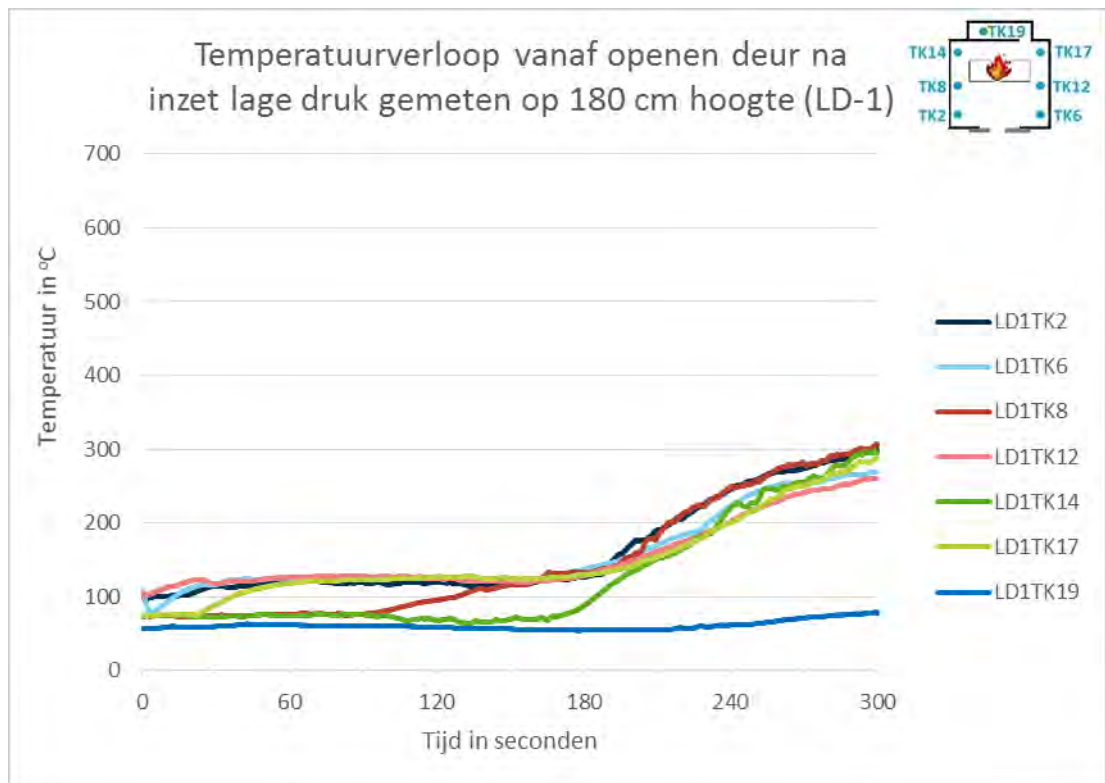


Grafiek F-34.

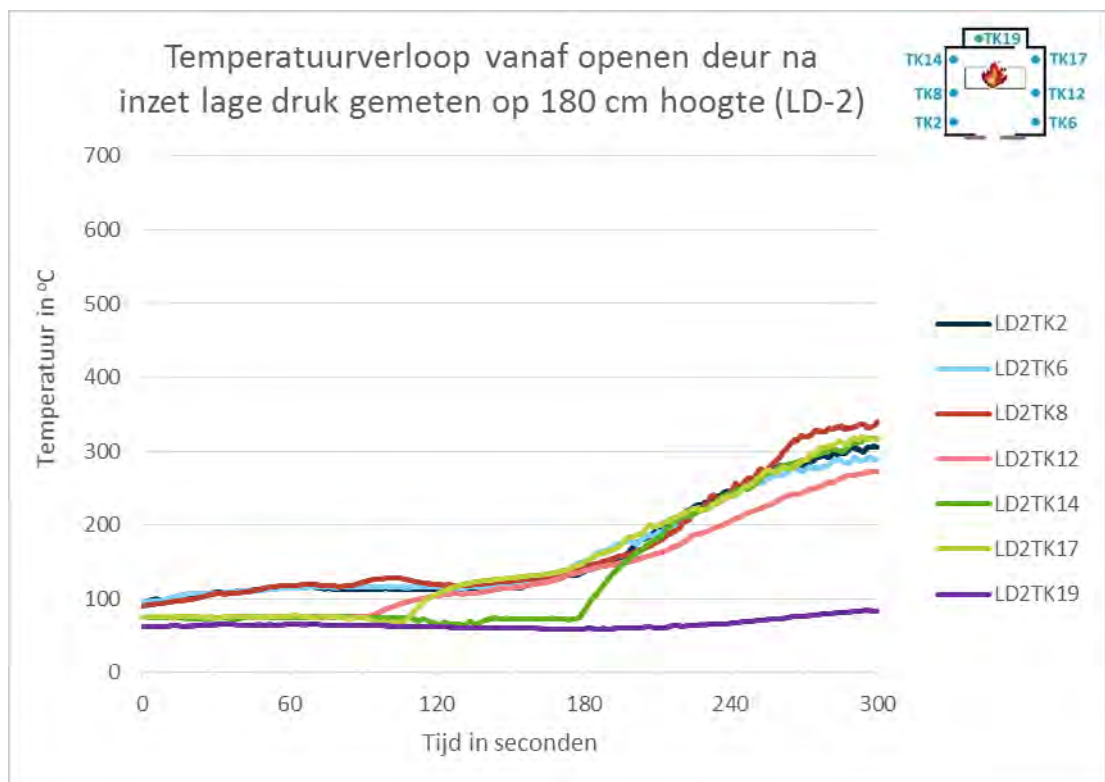


Grafiek F-35.

Effect na inzet



Grafiek F-36.



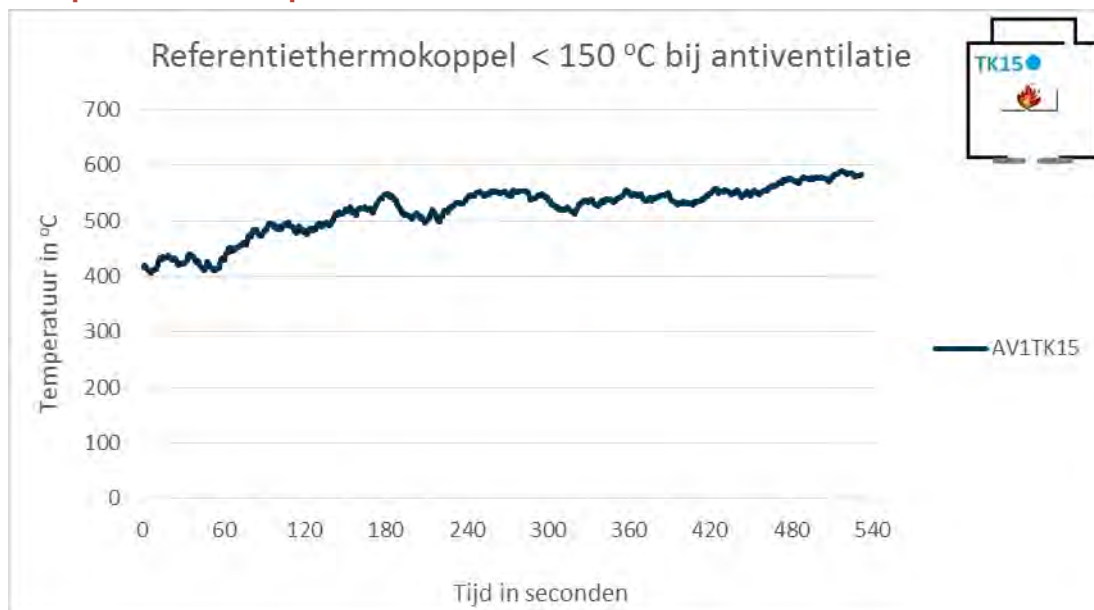
Grafiek F-37.

Bijlage G

Antiventilatie

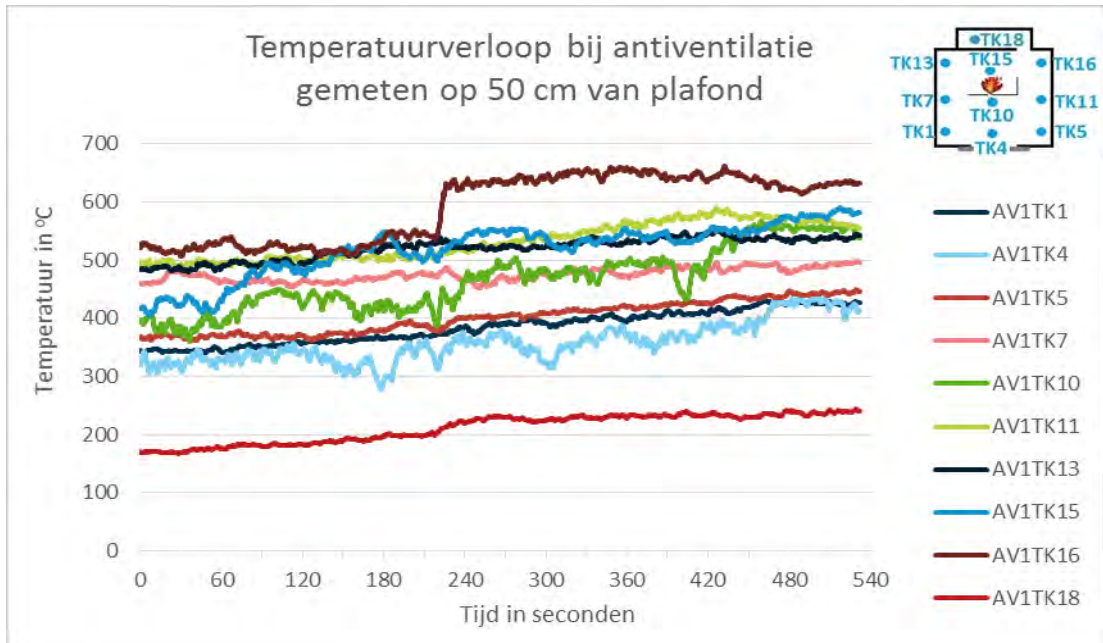
Omdat er geen inzet gedaan is wordt alleen het temperatuurverloop en de parameters voor overleefbaarheid weergegeven.

Temperatuurverloop

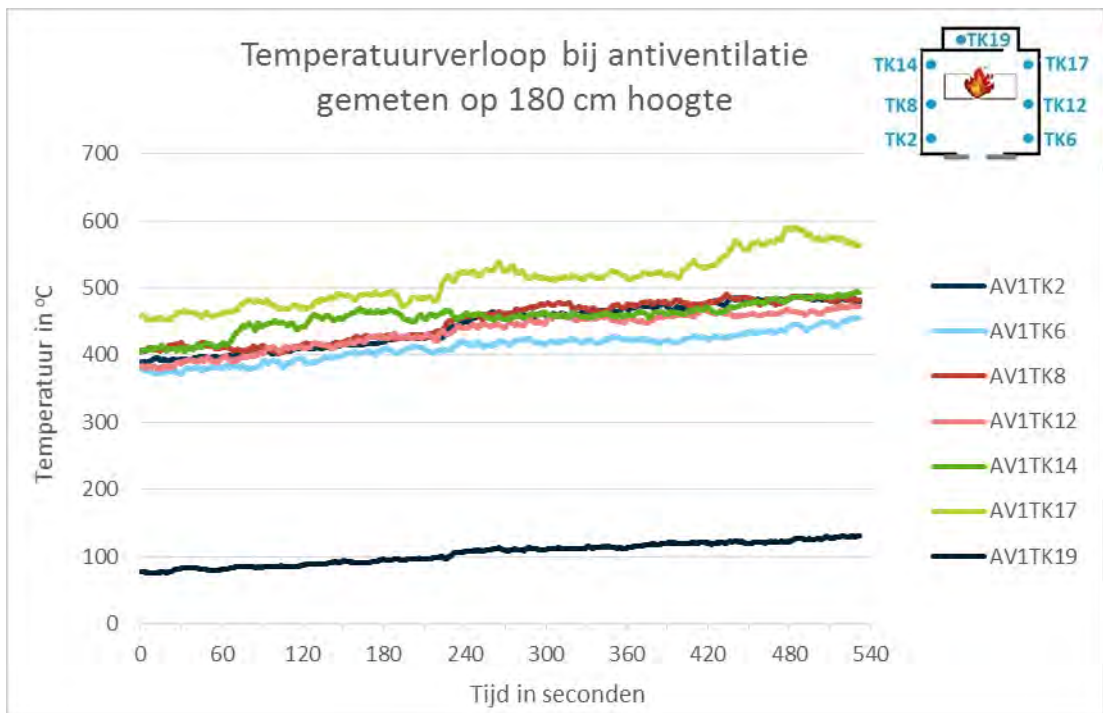


Figuur G-1. Temperatuurverloop op referentiethermokoppel 15 bij antiventilatie

In figuur G-1 is te zien wat er gebeurt als op het moment dat normaal de offensieve buiteninzet start, de deur gesloten blijft. Te zien is dat bij antiventilatie de temperatuur langzaam stijgt naar circa 600 °C. Hetzelfde beeld is te zien in figuur G-2 en figuur G-3. Op alle thermokoppels is een stijging van de temperatuur waargenomen.



Figuur G-2. Temperatuurverloop op 50 cm van het plafond tijdens antiventilatie




Figuur G-3. Temperatuurverloop op 180 cm hoogte tijdens antiventilatie

Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid

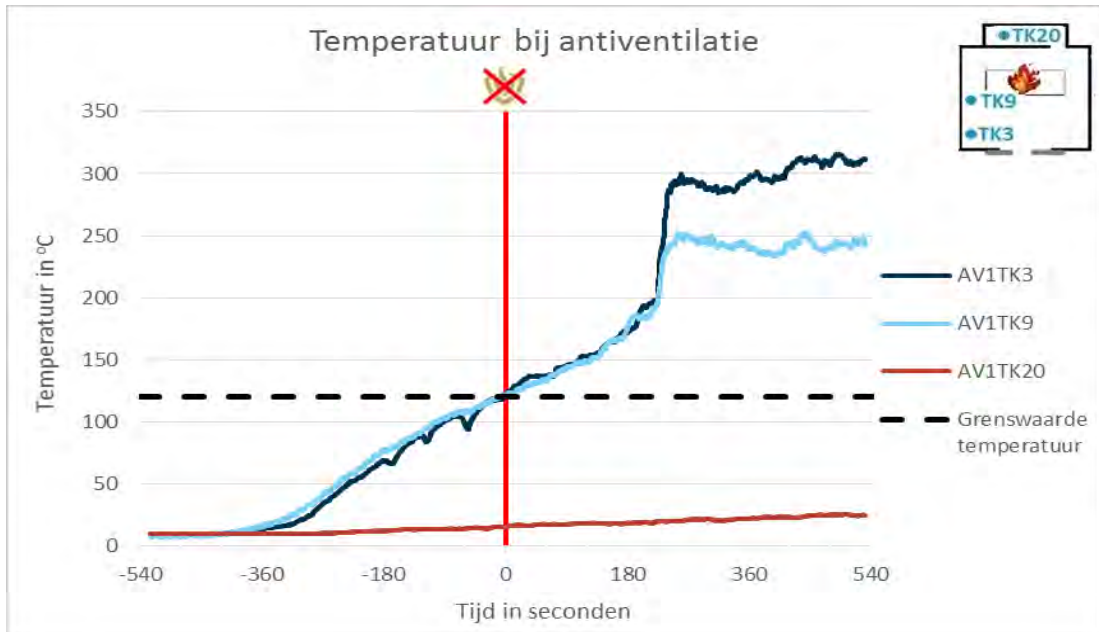
In tabel G-1 is aangegeven of de grenswaarden voor overleefbaarheid zijn overschreden, en zo ja, of dit in de opstartfase of in de inzetfase is. Uit de tabel blijkt dat tijdens de nulmeting de grenswaarden voor overleefbaarheid voor slachtoffer 3 niet worden overschreden. Voor slachtoffer 1 en 2 ligt dit anders. De grenswaarden voor temperatuur, straling en CO worden zowel in de opstartfase als tijdens de antiventilatie overschreden. Daarnaast worden de O₂- en NO_x-grenswaarden overschreden gedurende de inzetfase.

Tabel G-1. Overschrijden van grenswaarden voor overleefbaarheid tijdens antiventilatie

		Temperatuur in °C	Straling in kW/m ²	CO in ppm	O ₂ in % ⁴²	NO _x in ppm
Slachtoffer 1	Maximale waarde opstartfase	123	6,9	11612	13,6	10
	Maximale waarde inzetfase	316	20,3	48704	0,7	72
	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Nee
Slachtoffer 2	Maximale waarde opstartfase	122	7,4	8209	16,9	11
	Maximale waarde inzetfase	253	17,5	44874	1,1	169
	Grenswaarde overschreden?	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (O+I)	Ja (I)	Ja (I)
Slachtoffer 3	Maximale waarde opstartfase	16	0,3	2103	18,5	8
	Maximale waarde inzetfase	26	0,8	7214	17,1	7
	Grenswaarde overschreden?	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

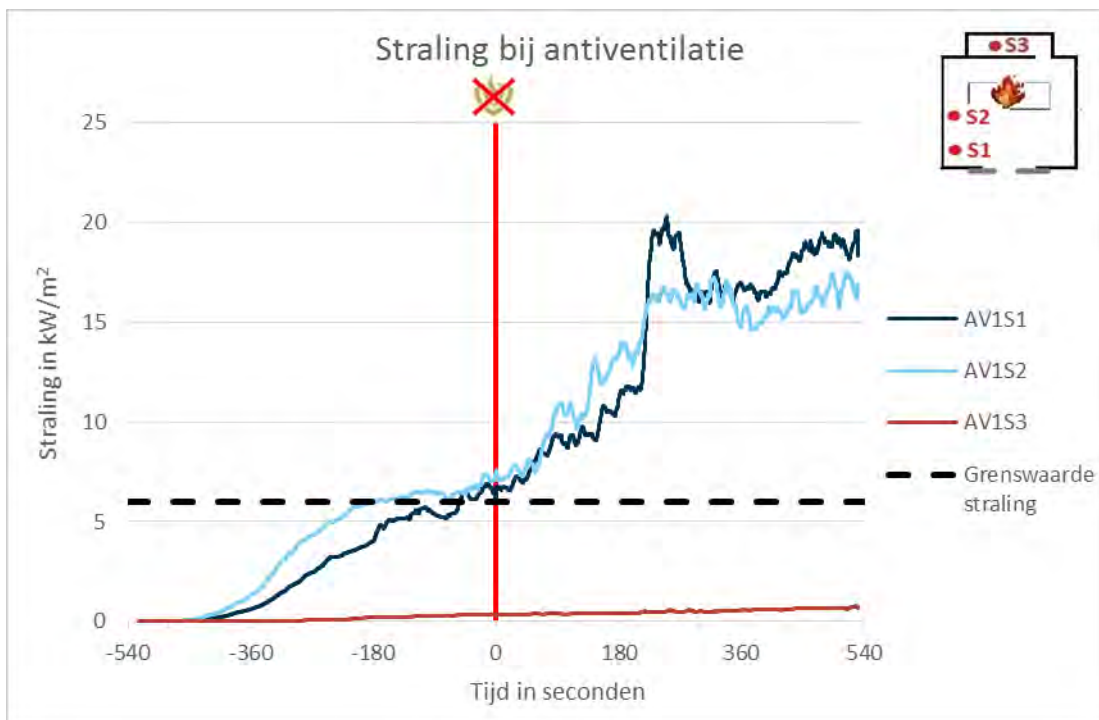
Als gekeken wordt naar de temperatuur op slachtofferniveau, is in figuur G-4 te zien dat de temperatuur al in de opstartfase de grenswaarde van 120 °C overschreden. Na de start van de antiventilatie (verticale rode lijn) blijft de temperatuur stijgen. Na ongeveer 210 seconden is er een snelle toename zichtbaar die ongeveer een minuut duurt. Na deze minuut vlakt de stijging af en stijgt de temperatuur nog nauwelijks. In de kantoorruimte blijft de temperatuur ruim onder de grenswaarde.

⁴² Voor de parameter zuurstof is de laagste waarde opgenomen in de tabel.



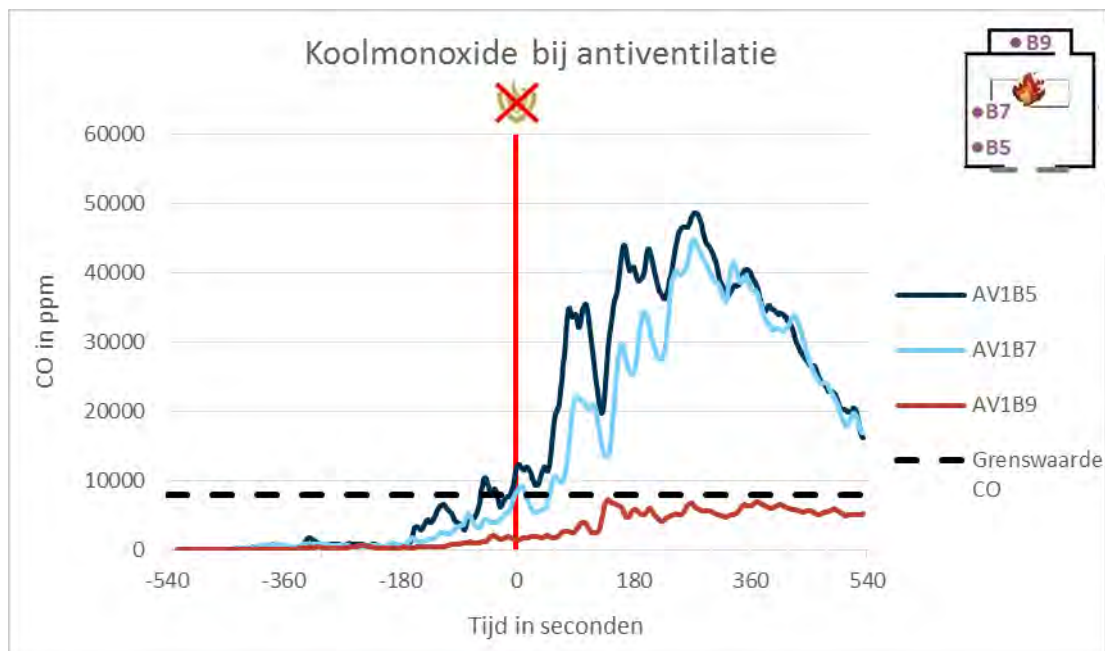
Figuur G-4. Temperatuurverloop op slachtofferniveau tijdens antiventilatie

In figuur G-5 is te zien dat het stralingsniveau hetzelfde patroon volgt als de temperatuur. De grenswaarde wordt in de opstartfase overschreden en de straling neemt alleen maar toe. Ook hier is na ongeveer 210 seconden een snelle stijging waargenomen die na ongeveer een minuut weer afvlakt. In de kantoorruimte komt de straling niet boven 1,1 kW/m².



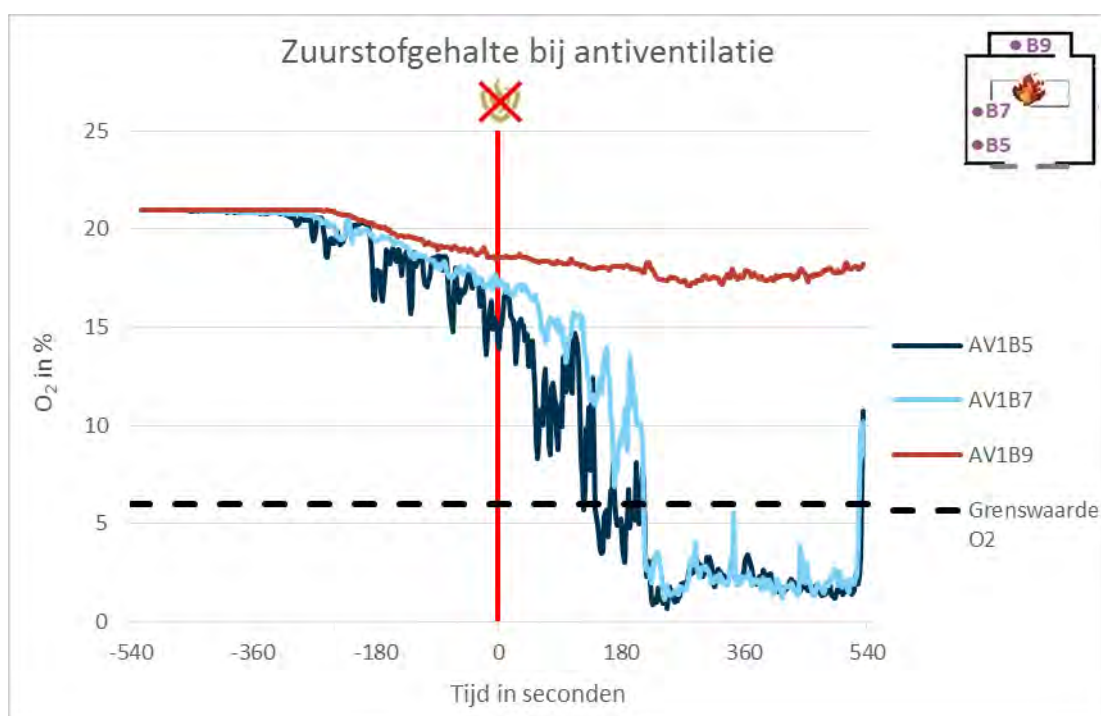
Figuur G-5. Straling op slachtofferniveau tijdens antiventilatie

Als gekeken wordt naar het CO-gehalte in de ruimte (figuur G-6), is te zien dat na de start van de antiventilatie er een lichte daling plaatsvindt in de brandruimte gevolgd door een sterke stijging tot ruim boven de grenswaarde. Na ongeveer 300 seconden bereikt het CO-gehalte zijn piek, waarna er een daling volgt tot ongeveer 16.000 ppm. De concentratie CO in de kantoorruimte blijft onder de grenswaarde.



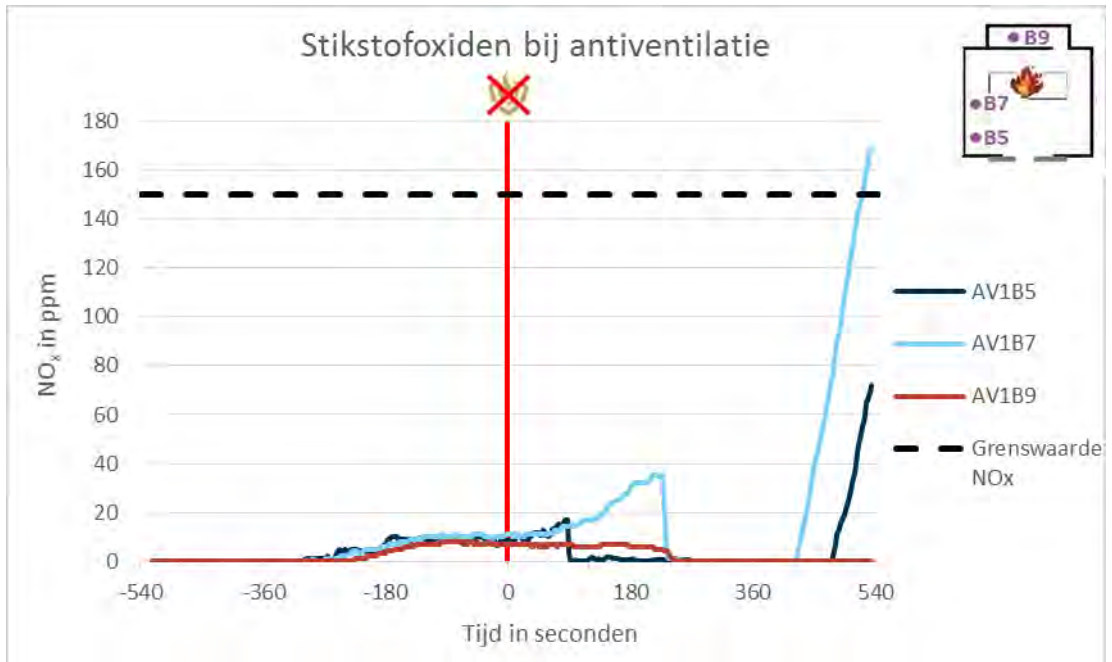
Figuur G-6. Concentratie CO op slachtofferniveau tijdens antiventilatie

In figuur G-7 is te zien dat op het moment dat het CO-gehalte stijgt, het O₂-percentage daalt tot circa 2%. Dat is ruim onder de grenswaarde van 6%. Door de branduitbreiding wordt O₂ verbruikt en wordt CO afgegeven door de brand als gevolg van onvolledige verbranding.



Figuur G-7. O₂-gehalte op slachtofferniveau tijdens antiventilatie

In figuur G-8 is weergegeven dat de concentratie NO_x vlak na de start van de antiventilatie bij beide slachtoffers toeneemt tot een maximum van 36 ppm. Op 2 minuten voor het einde van de nulmeting is bij slachtoffer 2 een zeer sterke stijging zichtbaar tot ruim boven de grenswaarde. Ook bij slachtoffer 1 is er een sterke stijging waarneembaar, maar dan vanaf 1 minuut voor het einde. Hierbij wordt de grenswaarde niet overschreden. Bij slachtoffer 3 in de kantoorruimte blijft de concentratie NO_x laag.



Figuur G-8. Concentratie NO_x op slachtofferniveau tijdens antiventilatie